



# ASTRONOMÍA MADE IN SPAIN

UN PROYECTO DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE ASTRONOMÍA  
PARA CONMEMORAR EL AÑO INTERNACIONAL DE LA ASTRONOMÍA 2009

BENJAMÍN MONTESINOS COMINO  
EMILIO J. ALFARO NAVARRO









# ASTRONOMÍA MADE IN SPAIN

UN PROYECTO DE LA **SOCIEDAD ESPAÑOLA DE ASTRONOMÍA**  
PARA CONMEMORAR EL **AÑO INTERNACIONAL DE LA ASTRONOMÍA 2009**

Segunda edición



© Primera edición, Sociedad Española de Astronomía (SEA), 2009  
© Segunda edición, Sociedad Española de Astronomía (SEA), 2010  
Facultad de Física  
Universidad de Barcelona  
Av. Martí Franquès, 1  
08028 Barcelona  
e-mail: [contacto@sea-astronomia.es](mailto:contacto@sea-astronomia.es)  
<http://www.sea-astronomia.es>

© Ilustraciones:  
Páginas 16, 32, 40, 48, 64, 90, 94, 104, 114, 122, 126 y 130: NASA, ESA, The Hubble Heritage Team (STScI/AURA)  
Páginas 24 y 134: NASA/JPL/Universidad de Arizona  
Página 52: Real Academia de Ciencias de Suecia  
Páginas 56 y 108: TRACE Project y NASA  
Página 78: SOHO/EIT (ESA, NASA)  
Página 86: NASA/CXC/SAO/S. Murray, M. García  
Página 118: Lawrence Berkeley National Laboratory  
Página 142: ESA/Consortios LFI y HFI  
Página 146: Apolo VIII (NASA)

Edita: Sociedad Española de Astronomía (SEA)  
Diseño y maquetación: Proyectos y Producciones Editoriales, CYAN, S.A.

El contenido de cada uno de los capítulos de este libro es propiedad del investigador que lo elaboró. Para usar y reproducir por cualquier medio la totalidad o parte de uno de ellos es necesario el permiso explícito del autor, que se puede conseguir a través de la Sociedad Española de Astronomía.

## Índice

Prefacio .....	7
Jordi Isern Vilaboy .....	9
Enrique García-Berro Montilla.....	11
David Valls Gabaud .....	17
Xavier Barcons Jáuregui .....	21
Agustín Sánchez Lavega .....	25
Jorge Casares Velázquez.....	29
Eduardo Battaner López.....	33
Evencio Mediavilla Gradolph .....	35
Juan María Marcaide Osoro .....	37
Vicent Martínez García.....	41
Francisco J. Castander Serentill.....	45
Rafael Rebolo López.....	49
Carlos Westendorp Plaza .....	53
Benjamín Montesinos Comino .....	57
Ramón Oliver Herrero .....	61
José Cernicharo Quintanilla.....	65
Eduardo Martín Guerrero de Escalante.....	69
Alberto J. Castro Tirado.....	71

Pere Planesas Bigas .....	75
Héctor Socas Navarro.....	79
Vicent Quilis Quilis.....	83
Josep María Paredes Poy.....	87
José Luis Ortiz Moreno .....	91
José Luis Gómez Fernández .....	95
María Rosa Zapatero Osorio .....	97
Garik Israelian .....	99
José María Torrelles Arnedo.....	101
Luis Felipe Miranda Palacios .....	105
Javier Trujillo Bueno .....	109
Margarita Hernanz Carbó .....	115
Jordi Miralda Escudé.....	119
Josep Miquel Girart Medina.....	123
Aníbal García Hernández .....	127
María Teresa Beltrán Sorolla .....	131
Ricardo Hueso Alonso .....	135
Rafael A. García Bustinduy .....	139
Marcos Cruz Rodríguez.....	143
Enric Pallé Bago.....	147
María de Santos Lleó.....	151

## Prólogo a la segunda edición

Os presentamos la segunda edición del libro “Astronomía made in Spain”, una idea que se materializó en 2009, Año Internacional de la Astronomía, y que presentamos en formato “electrónico” de modo que pueda ser descargado con toda libertad por cualquier persona interesada en Astronomía.

Para los que no conozcáis el proyecto, “Astronomía made in Spain” es una recopilación de “conversaciones”, en forma de encuestas, con los astrónomos españoles que han publicado como primer autor en las revistas *Nature* y *Science*. Estas dos revistas fueron galardonadas con el Premio Príncipe de Asturias de Comunicación y Humanidades 2007. Tal y como quedó expresado en el acta “...constituyen uno de los canales de comunicación más solventes que tiene hoy la comunidad científica internacional para dar a conocer, tras el filtro de una irreprochable y minuciosa selección, los más importantes descubrimientos e investigaciones de muy diversas ciencias y difundir al mismo tiempo, conjugando rigor y claridad expositiva, las teorías y conocimientos más elevados. *Science* y *Nature* son fuentes indispensables de información para el periodismo especializado de todos los países. Durante más de un siglo han impulsado y difundido las grandes conquistas científicas de la Humanidad, acercando de este modo la ciencia a la vida.”

La Sociedad Española de Astronomía, con el ánimo de celebrar el Año Internacional de la Astronomía 2009, tuvo la

idea de reunir en un libro las respuestas a seis preguntas en las que se solicitaba a cada autor que describiera, de una forma lo más sencilla posible, el contexto y alcance de sus descubrimientos y diera alguna apreciación personal de la gestación del trabajo y de su impacto sobre el campo de investigación y su carrera personal. Cuando un investigador tenía publicada más de una contribución, se les dio la opción de elegir una de ellas o de refundir en su respuesta los resultados de varias o de todas ellas. Encontraréis al final de cada encuesta la referencia al artículo o artículos de los que específicamente se habla en el texto, es decir, no se listan todos los trabajos que el investigador y su equipo hayan publicado en *Nature* o *Science* sino sólo aquellos referidos en su contestación. Las contribuciones están ordenadas por orden cronológico de acuerdo al año de aparición de los artículos, así se puede tener una perspectiva histórica de la evolución de las diversas ramas en las que se enmarca cada artículo, a la luz de los avances actuales.

Nuestra primera idea fue compilar, solamente, los artículos de astrónomos afiliados a un centro o universidad española. Esta opción es relativamente fácil de llevar a cabo. Sin embargo, ampliamos este objetivo incluyendo también astrónomos españoles en centros extranjeros. Esta criba siempre tiene el riesgo de dejar alguien fuera, y así fue. Aunque fuimos cuidadosos al hacer la recopilación de artículos, una vez publicada la primera edición en papel y sin posible enmienda, llegó a nuestro conocimiento que dos trabajos, liderados por Vicente Quilis (2000) y Rafael



García (2007) escaparon a nuestra búsqueda. Ofrecemos públicamente las disculpas que ya mostramos en privado. Esta segunda edición incluye esas dos contribuciones. Además se han incorporado la de Carlos Westendorp (1997), que se animó a participar en esta segunda edición, y dos más que se han publicado durante 2009. Se han hecho pequeñas correcciones de estilo a los textos de la primera edición.

Sirva este libro como homenaje a todos los astrónomos españoles, estímulo para los estudiantes y legado de una

historia viva de descubrimientos contada de primera mano, sin intermediarios, por las personas que contribuyeron a que estos fueran posibles.

*Benjamín Montesinos Comino  
Emilio J. Alfaro Navarro,  
en nombre de la Sociedad Española de Astronomía  
Julio de 2010*



*¿Cuál era el problema al que os enfrentasteis?*

Las erupciones de supernova de tipo Ia son debidas a la explosión termonuclear de una estrella enana blanca en un sistema estelar doble. Estas explosiones se caracterizan porque su luminosidad en el máximo es muy homogénea y la dispersión existente está correlacionada con el ritmo de declive de la curva de luz. En el año 1984 todavía no estaba clara la naturaleza termonuclear o gravitatoria de estas explosiones y se desconocía la causa de la mencionada correlación (conocida como “relación de Phillips”).

*¿Cuál fue la solución a ese problema y la contribución que ese artículo hizo al campo de trabajo en el que se enmarca?*

En este artículo se proponía por primera vez que las explosiones de

supernova termonucleares y las estrellas de neutrones en fuentes de rayos X de masa pequeña podían tener el mismo origen: una enana blanca de carbono/oxígeno.

La diferencia de comportamiento se debía a la densidad central alcanzada en el momento de la ignición y a los cambios de composición química inducida por la solidificación. Si la densidad era muy elevada (caso de las estrellas inicialmente frías), las capturas electrónicas sobre las cenizas podían desencadenar el colapso a estrella de neutrones, mientras que las diferencias de composición química podían alterar la velocidad de propagación de la deflagración y explicar la pequeña dispersión de luminosidad en el máximo.

*Desde que ese artículo se publicó, ¿ha habido avances significativos en esa área específica?*

El campo ha avanzado notablemente en el campo observacional y ha culminado con el descubrimiento, gracias a las supernovas de tipo Ia, de la expansión acelerada del universo, pero todavía persiste el problema de la dispersión residual intrínseca de la luminosidad de las supernovas de tipo Ia en el máximo.

*¿Cuáles son los problemas fundamentales en la actualidad en ese campo de la Astrofísica y qué descubrimientos se esperan realizar en los próximos años?*

El problema mencionado anteriormente forma parte de un problema más general que es el del comportamiento de las estructuras estelares degeneradas, las cuales son

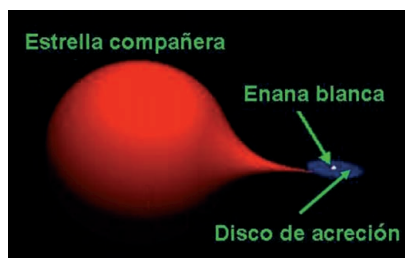


Figura 1. Un modelo para el progenitor de una supernova del tipo Ia. La materia que cae sobre la superficie de la enana blanca procedente de su compañera causa que las regiones de su interior se vuelvan inestables, produciéndose una explosión termonuclear. Imagen de Paul Ricker, Universidad de Illinois.

responsables de un gran número de fenómenos astrofísicos. La riqueza y precisión de los datos astrofísicos que nos están llegando, o que proporcionarán los telescopios del futuro, permitirán utilizar a las estrellas como grandes laboratorios de Física.

*¿Ha tenido alguna influencia sobre tu carrera profesional?, ¿has continuado en esa línea y te ha abierto nuevos campos o posteriormente te dedicaste a otros temas?*

Esta línea, la física de los interiores estelares, ha sido básica en mi carrera profesional, pues determina no sólo el comportamiento de las últimas fases evolutivas de las estrellas (supernovas y enanas blancas) sino también las propiedades de la Galaxia (nucleosíntesis y evolución química, poblaciones estelares fósiles, etc.). La simplicidad de las enanas blancas,

el paradigma de estas estructuras degeneradas, permite utilizarlas para acotar teorías físicas “exóticas” como derivas de la constante de gravitación, la masa de los axiones, el momento magnético del neutrino, la existencia de monopolos, o la compactificación de dimensiones extra.

*¿Tienes alguna anécdota relacionada con la gestación y publicación de este artículo y que consideres adecuado contar?*

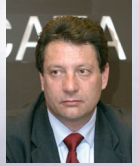
La idea de este artículo surgió durante una comida en el “Motel Empordà”, en Figueres (Alt Empordà), mientras degustábamos un asado de ciervo (fase sólida) recubierto de una jalea de membrillo (fase líquida).

---

SOLID WHITE DWARFS AS TYPE I SUPERNOVA PROGENITORS

J. ISERN, J. LABAY Y R. CANAL

1984, NATURE, 309, 431



*¿Cuál era el problema al que os enfrentasteis?*

La evolución de las enanas blancas era un problema que suscitaba un importante debate en las década de los 80. Se sabía desde hacía cierto tiempo que la evolución de las enanas blancas venía dictada por dos factores importantes. En primer lugar se conocía que la estructura mecánica de las enanas blancas estaba soportada por la presión del gas degenerado de electrones. El segundo hecho era que la evolución de este tipo de estrellas podía entenderse como un simple proceso de enfriamiento. Ambos fenómenos estaban plenamente establecidos y eran ampliamente aceptados por la comunidad astronómica.

No obstante, el número de enanas blancas para las que se disponían de

observaciones de calidad era muy reducido, lo que dificultaba sobremanera la comparación entre los modelos teóricos y las observaciones. En la segunda mitad de esa década comenzaron a obtenerse de forma sistemática y rutinaria datos observacionales de mayor calidad para un número limitado de este tipo de estrellas. En particular, se pudieron obtener distancias precisas para unas 200 enanas blancas, lo que permitió medir el número de este tipo de estrellas por unidad de magnitud bolométrica y por unidad de volumen, es decir, lo que se ha dado en llamar la “función de luminosidad de las enanas blancas”. Se trataba, pues, de comparar los modelos teóricos de enfriamiento de enanas blancas con su función de luminosidad. Los resultados de esta comparación dieron

lugar al artículo que publicamos en *Nature*.

*¿Cuál fue la solución a ese problema y la contribución que ese artículo hizo al campo de trabajo en el que se enmarca?*

El estudio de la física de de los plasmas densos predecía que el material del núcleo degenerado de una enana blanca, compuesto por núcleos de carbono y oxígeno, debía experimentar a temperaturas suficientemente bajas una transición de fase de primer orden o, dicho en otras palabras, que el interior de la enana blanca debía cristalizar, disponiéndose dichos núcleos en una red cristalina. Como consecuencia de esto, debía liberarse una energía adicional, el calor latente de cristalización. Además, existían

estudios previos que indicaban que era posible que la composición química del sólido fuera distinta de la del líquido. En particular, algunos cálculos teóricos indicaban que el sólido debía de ser más rico en oxígeno. Como consecuencia de ello y de la alta gravedad de las enanas blancas, las regiones centrales de la enana blanca se enriquecerían en oxígeno, al ser el material cristalizado más denso que el líquido, que sería rico en carbono. La separación del carbono y oxígeno da lugar a otra fuente adicional de energía que la enana blanca ha de radiar, alterando su ritmo de enfriamiento. Ello se debe a que el material ha de ser eléctricamente neutro y por tanto el material sólido rico en oxígeno arrastra consigo electrones adicionales, por lo que modifica el balance de presiones. Nuestros cálculos tuvieron en cuenta de forma detallada el consiguiente balance energético y permitieron calcular con buena precisión el ritmo de enfriamiento de las enanas blancas.

Por otra parte, también se sabía con anterioridad a nuestro trabajo que las enanas blancas podían usarse como

cronómetros estelares. Se especulaba que dado que la evolución de las enanas blancas podía considerarse como un proceso de enfriamiento, y dado que la distribución de masas de las enanas blancas es muy estrecha, si detectábamos la enana blanca más débil de la vecindad solar estaríamos viendo la más vieja y, por consiguiente, conociendo su edad, tendríamos una cota inferior a la edad de la Galaxia.

El uso de la función de luminosidad (una medida estadística) permite refinar este razonamiento simple. Es bien sabido que cuanto más frío es un objeto más tiempo tarda en enfriarse. En el caso de las enanas blancas esto se traduce en que cuanto más débil es una enana blanca más tarda en disminuir su brillo intrínseco. La probabilidad de detectar una enana blanca con una luminosidad determinada depende esencialmente del tiempo durante el cual mantiene dicha luminosidad. Por tanto, la función de luminosidad de las enanas blancas debe de ser una función monótona creciente para luminosidades decrecientes, pues a bajas luminosidades una enana blanca

tarda más en enfriarse. Las primeras determinaciones observacionales de la función de luminosidad corroboraban estas hipótesis. La sorpresa fue que las determinaciones de la función de luminosidad que se publicaron durante aquellos años presentaban una disminución muy acusada a luminosidades bajas, indicando un déficit sustancial de estas estrellas de bajas luminosidades. Esta disminución del número de enanas blancas se atribuyó rápidamente a la edad finita de la Galaxia y nuestros modelos permitieron obtener una determinación de esa edad.

*Desde que ese artículo se publicó, ¿ha habido avances significativos en esa área específica?*

Los avances en esta área de la Astronomía han sido enormes. Actualmente todos los modelos teóricos de enfriamiento de enanas incorporan la separación de fase del carbono y oxígeno. Además, como resultado de los barridos sistemáticos de cielo (2MASS, SDSS, 2dF...) el número de enanas blancas accesible a observaciones de alta calidad se incrementado muy notablemente,

habiendo pasado de unas 200 enanas blancas a más de 6000. Ello ha permitido construir funciones de luminosidad muy precisas que permiten extraer conclusiones sobre los procesos físicos que operan en el interior de las enanas blancas. En particular, sobre la emisión de partículas exóticas, como los axiones. También se pueden obtener límites estadísticos a una hipotética variación de la constante de gravitación universal que predicen algunas teorías alternativas de gravitación, pero que todavía requieren confirmación observacional.

En un futuro cercano, el satélite astrométrico Gaia de la Agencia Espacial Europea (ESA) permitirá ampliar aún más si cabe la base de datos observacional, con lo que se podrá medir con precisión el ritmo de formación estelar en la vecindad solar usando la función de luminosidad de las enanas blancas, entre otras posibles aplicaciones. Para todo ello se requerirán, sin duda, modelos perfeccionados de enfriamiento de enanas blancas. Las perspectivas de futuro que se abren en este campo son, pues, muy esperanzadoras.

*¿Cuáles son los problemas fundamentales en la actualidad en ese campo de la Astrofísica y que descubrimientos se esperan realizar en los próximos años?*

Uno de mis campos de trabajo continúa siendo la evolución de las enanas blancas. La determinación de sus propiedades observacionales y de sus características físicas es aún hoy día una línea muy activa de investigación. Es un área en el que se esperan avances muy sustanciales en los próximos años, especialmente en lo que hace referencia a las propiedades pulsacionales de las enanas blancas. También se esperan avances muy significativos en la determinación de las propiedades de las diversas poblaciones de las enanas blancas (disco y halo). Además, las observaciones desde plataformas espaciales permitirán obtener datos de altísima calidad tanto de enanas blancas de campo como de enanas blancas en cúmulos, sean éstos abiertos o globulares. Las perspectivas en este sentido son muy amplias, pues permitirán comparar diversos métodos para obtener las edades de los cúmulos. Por otro lado,

el modelado teórico de las propiedades evolutivas de las enanas blancas está experimentando notables avances.

*¿Ha tenido alguna influencia sobre tu carrera profesional?, ¿has continuado en esa línea y te ha abierto nuevos campos o posteriormente te dedicaste a otros temas?*

Sí. La respuesta es afirmativa a ambas preguntas. He mantenido una línea de investigación activa en el campo de las enanas blancas que posteriormente se ha ido ampliando a ámbitos cercanos, pero he preferido mantener una dedicación importante a este tema de investigación, con el que me siento muy cómodo y que encuentro apasionante. Naturalmente, también he trabajado en otros aspectos de la Astrofísica que no tienen que ver con la evolución de las enanas blancas. Con respecto a la pregunta de si ha tenido alguna influencia en mi carrera profesional he de manifestar que cuando publicamos el artículo no le di toda la importancia que tenía. El paso de los años me ha aportado una perspectiva distinta. Ha de tenerse en cuenta que cuando se publicó el

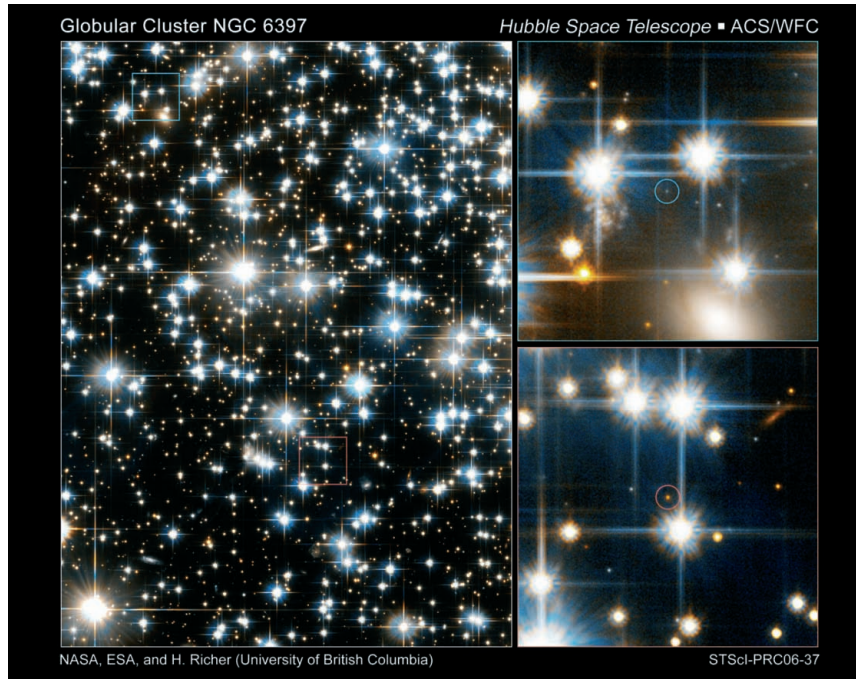


Figura 1. Imagen del cúmulo globular NGC 6397. La imagen de la izquierda corresponde al campo observado por el Hubble Space Telescope. Las estrellas más débiles en este campo son enanas rojas y enanas blancas. Las primeras son de magnitud 26, mientras que las últimas son de magnitud 28. La imagen inferior derecha muestra la enana roja más débil (en el interior del círculo). La imagen superior derecha muestra una de las enanas blancas débiles del campo, la estrella de color azul rodeada por un círculo. Nótese la diferencia de colores entre ambas estrellas.

artículo yo estaba en la última etapa de mi tesis doctoral. Ahora valoro en su justa medida esta aportación.

*¿Tienes alguna anécdota relacionada con la gestación y publicación de este artículo y que consideres adecuado contar?*

Simplemente los grandes ratos que pasé con los coautores del artículo. Fueron cálculos que se hicieron con unos medios muy distintos a los que hay en la actualidad y que en buena medida se debieron a las discusiones científicas y a la colaboración y amistad del resto de autores. Colaboración y amistad que perduran.

*ADENDA: ...23 años después...*

NGC 6791 es un cúmulo abierto bien estudiado muy próximo al Sol, por lo que se han podido obtener imágenes de sus estrellas hasta magnitudes extremadamente débiles, mayores que las del final de la secuencia de enfriamiento de las enanas blancas. Además es un cúmulo muy poblado, viejo y rico en metales. Se sabía que existía una discrepancia notable entre la edad del cúmulo obtenida ajustando la secuencia principal ( $8 \times 10^9$  años) y la obtenida a partir de

las enanas blancas ( $6 \times 10^9$  años), pero no existía ninguna hipótesis plausible que diese cuenta de dicha diferencia. Una explicación es que, dado el alto contenido en metales de este cúmulo, uno de los productos de la combustión del helio, el  $^{22}\text{Ne}$ , sedimento en el interior de las enanas blancas, liberando energía gravitatoria. Adicionalmente, y tal como sugerimos en 1988, a temperaturas aún más bajas, los principales constituyentes de una enana blanca típica ( $^{12}\text{C}$  y  $^{16}\text{O}$ ) cristalizan y se produce la separación de ambos en la fase sólida, liberando más energía y retrasando el enfriamiento de las enanas blancas. En nuestro artículo publicado en *Nature* en 2010 demostramos que si se tenían en cuenta los retrasos introducidos por ambos fenómenos las edades obtenidas usando los dos métodos coincidían. De esta forma probamos que aquello que inicialmente habíamos sugerido hace 23 años

sucedía en los interiores densos de las enanas blancas. Fue una gran satisfacción comprobar que nuestras propuestas pudieron finalmente ser corroboradas observacionalmente. A diferencia de lo que sentí en 1988, en este caso sí que valoré muchísimo ver nuestro artículo publicado... Sin duda, acumulaba 23 años más de experiencia...

*PROPERTIES OF HIGH-DENSITY BINARY MIXTURES AND  
THE AGE OF THE UNIVERSE FROM WHITE DWARF STARS*  
E. GARCÍA-BERRO, M. HERNANZ, J. ISERN  
Y R. MOCHKOVITCH,  
1988, *NATURE*, 333, 642

*A WHITE DWARF COOLING AGE OF 8 GYR FOR NGC  
6791 FROM PHYSICAL SEPARATION PROCESSES*  
E. GARCÍA-BERRO, S. TORRES, L.G. ALTHAUS,  
I. RENEDO, P. LOREN-AGUILAR, A.H. CÓRSICO,  
R.D. ROHRMANN, M. SALARIS Y J. ISERN  
2010, *NATURE*, 465, 194





David Valls Gabaud  
CNRS, Observatoire de Paris  
(Francia)



### *¿Cuál era el problema al que os enfrentasteis?*

La segunda mitad de la década de los 80 marcó un hito en la problemática de la formación de galaxias. Por primera vez se estaba desarrollando un cuadro teórico muy detallado basado en una sola hipótesis. Se postulaba que la materia oscura que rodea las galaxias observadas, y que forma unos halos que las envuelven, tendría una baja velocidad térmica (*Cold Dark Matter* o CDM en inglés) al contrario de la hipótesis alternativa, según la cual la materia oscura estaba constituida por partículas elementales más ligeras, como los neutrinos. En este marco, se puede demostrar que los halos de materia oscura se van formando de manera jerárquica: los halos menos masivos colapsan primero y van fusionando con otros, formando halos de dimensiones cada vez mayores. Una de las

predicciones de esta teoría de formación *sesgada* de galaxias es que las primeras galaxias, menos masivas y por tanto menos sesgadas con respecto a la media, debían tener una distribución espacial muy distinta a la de las galaxias más brillantes y masivas, mucho más sesgadas. El test era, por tanto, medir la distribución espacial de las galaxias más brillantes respecto a las menos brillantes.

### *¿Cuál fue la solución a ese problema y la contribución que ese artículo hizo al campo de trabajo en el que se enmarca?*

La predicción era difícil de comprobar con los catálogos más detallados de galaxias que se tenían en aquella época. Todo cambió con el catálogo de galaxias realizado por un equipo del CfA de Harvard (Huchra, Geller y De Lapparent) que mostró por primera vez los filamentos que caracterizan la

estructura a gran escala del universo. Esta distribución era precisamente la predicha por esta teoría de formación de galaxias, y era por tanto indispensable someter la teoría a pruebas más detalladas. Con el escaso número de galaxias disponible (apenas más de un millar, pero que revolucionaron la cosmología) era muy difícil medir estos efectos sutiles. El primer paso fue desarrollar un nuevo método estadístico robusto que permitiese la medida directa relativa del efecto, en vez de intentar medir el efecto de forma absoluta.

Las medidas que hicimos en el catálogo del CfA daban resultados sorprendentes, de forma que el segundo paso fue calcular analíticamente las predicciones detalladas que se podían hacer en el marco de la teoría de formación de galaxias. El resultado fue que las medidas estaban claramente en contradicción tanto con los modelos

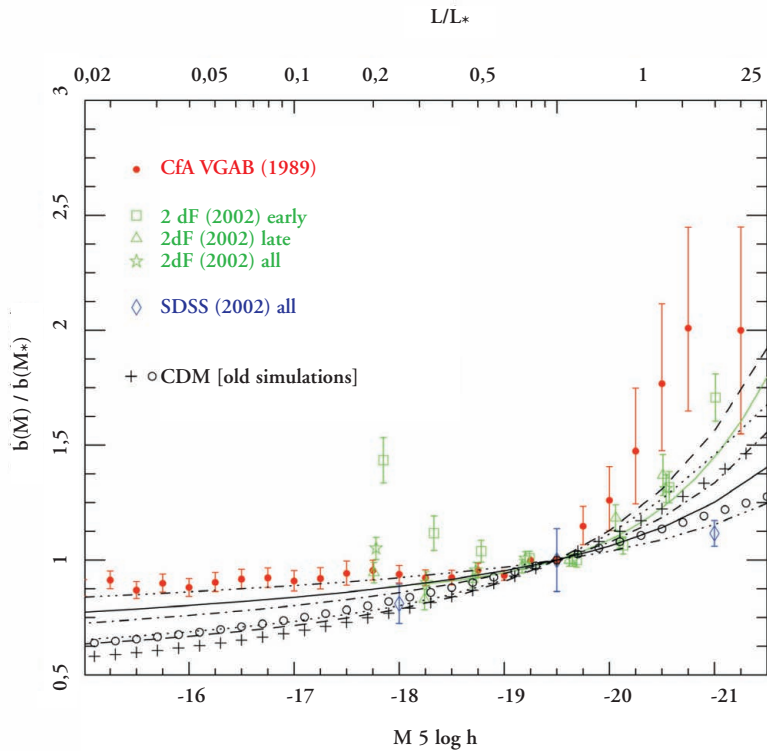


Figura 1. Variación del parámetro de sesgo relativo de las galaxias en función de la luminosidad (arriba) y de la magnitud absoluta (abajo). En rojo, las medidas de 1989 en el catálogo del CfA. Las líneas continuas y discontinuas representan varios modelos analíticos de formación de galaxias en el paradigma CDM. Las cruces y los círculos son las predicciones de las simulaciones numéricas con CDM de aquel momento, y que estaban en clara contradicción con las observaciones. Las medidas más recientes con catálogos mucho más profundos se indican en verde (catálogo 2dF) y en azul (catálogo SDSS). Las medidas actuales ilustran que la cuestión no está aclarada, dado que el sesgo de las galaxias brillantes es muy distinto en el catálogo 2dF comparado con el SDSS, mientras que algunas de las galaxias enanas parecen tener un sesgo elevado en el 2dF pero no en el SDSS. El factor que probablemente determine el sesgo, además de la luminosidad de las galaxias o de la masa de los halos de materia oscura, es la densidad local de galaxias.

analíticos como con las primeras simulaciones numéricas de grandes estructuras. La teoría no podía explicar, de forma sencilla, la distribución a gran escala de las galaxias más brillantes en comparación con las menos brillantes y por tanto no se podía comprender cómo se forman las galaxias.

*Desde que ese artículo se publicó, ¿ha habido avances significativos en esa área específica?*

Desde luego, puesto que estamos viviendo lo que probablemente sea el Siglo de Oro de la cosmología. Por un lado las predicciones de la teoría han avanzado muchísimo, en parte gracias a las simulaciones numéricas a gran escala. Por otro lado se han construido espectroscopios en grandes telescopios que han permitido realizar catálogos cada vez más detallados y completos. Por fijar el orden de magnitud, lo que al equipo del CfA había costado un esfuerzo de varios años de observaciones para obtener un millar de espectros de galaxias, ahora se puede hacer en menos de una hora de observación en el Very Large Telescope (VLT, ESO, Chile). Los nuevos catálogos con varios cientos de miles de galaxias dan resultados

contradictorios (Figura 1) tanto entre ellos como en comparación con la teoría. Ahora pensamos que la luminosidad de las galaxias no está determinada únicamente por la masa de los halos de materia oscura que las envuelven, sino que hay efectos más sutiles que pueden influir, como la densidad local de galaxias. Por ejemplo, las galaxias en cúmulos están en un entorno más denso y esto puede cambiar la historia de formación de estrellas, lo que determina la luminosidad total observada.

*¿Cuáles son los problemas fundamentales en la actualidad en ese campo de la Astrofísica y qué descubrimientos se esperan realizar en los próximos años?*

Éste es un campo que sigue muy activo en cosmología, especialmente porque es necesario comprender en detalle la distribución a gran escala de las galaxias para poder medir los parámetros cosmológicos que describen al universo en su conjunto. Por ejemplo, hay varios programas de medidas de las oscilaciones acústicas bariónicas, que no son más que el reflejo de lo que ocurrió cuando el universo se volvió

transparente a los fotones, y que aún estando en un régimen donde el sesgo se supone conocido y sencillo, pueden estar afectadas por la dependencia del sesgo de las galaxias con la luminosidad. Es en efecto más fácil establecer un catálogo de galaxias brillantes que de galaxias débiles, pero las galaxias brillantes, como hemos visto, no siguen la distribución de las otras galaxias y las medidas de los parámetros cosmológicos pueden resultar estar dominadas por estos efectos. Hay mucho trabajo que hacer todavía con los catálogos actuales para comprender en detalle las características de la distribución de galaxias a gran escala y por tanto comprender cómo se forman las galaxias.

*¿Ha tenido alguna influencia sobre tu carrera profesional?, ¿has continuado en esa línea y te ha abierto nuevos campos o posteriormente te dedicaste a otros temas?*

El publicar un artículo en *Nature* durante la tesis es bastante excepcional y simplemente tuve la suerte de estar trabajando en un tema candente con herramientas únicas (métodos estadísticos avanzados, cálculos analíticos

en campos aleatorios gaussianos) cuando se publicó el primer “gran” catálogo de galaxias. Era tal el afán de trabajar sobre ese catálogo que algunas personas escanearon las fotocopias ampliadas de las figuras publicadas porque el catálogo propiamente dicho vio la luz mucho más tarde.

Desde luego el artículo fue útil para obtener mi primer contrato posdoctoral, pero no he seguido trabajando en este tema hasta hace un par de años cuando quise medir el efecto en los nuevos catálogos, con resultados que sorprendentemente son más difíciles de interpretar. Estoy volviendo a esta línea de trabajo por la importancia que está cobrando este campo para las futuras medidas de parámetros cosmológicos y también para comprender los mecanismos que determinan la

luminosidad de las galaxias y la evolución de la formación de estrellas en ellas.

*¿Tienes alguna anécdota relacionada con la gestación y publicación de este artículo y que consideres adecuado contar?*

Éste fue el segundo artículo de mi tesis de doctorado y mi primero publicado en *Nature*. No tenía por tanto gran experiencia con los informes enviados por los árbitros y en aquel momento me sorprendió que un informe fuese entusiasta mientras que el otro fuese demoledor. El segundo árbitro tardaba muchísimo en contestar y enviaba cada vez preguntas complicadas que no se podían resolver en el marco de una *Letter a Nature* y que no estaban relacionadas con el tema. Al final

decidimos pedir un tercer árbitro, independiente, y que tuvo acceso a toda la correspondencia. Resultó ser nada menos que P.J.E. Peebles, al que podemos considerar como uno de los fundadores de la cosmología moderna, que envió un informe elogioso a la par que criticaba al segundo árbitro. Guardo como recuerdo la carta que me mandó J. Maddox, el mítico editor de *Nature*, aceptando nuestro artículo, pidiendo disculpas por el comportamiento del segundo árbitro y asegurándonos que esa persona no volvería más a ser contactada por *Nature* para juzgar un trabajo.

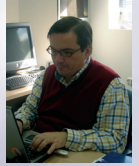
---

LUMINOSITY SEGREGATION AS A CONSTRAINT

ON THE THEORY OF BIASED GALAXY FORMATION

D. VALLS-GABAUD, J.-M. ALIMI Y A. BLANCHARD

1989, *NATURE*, 341, 215



*¿Cuál era el problema al que os enfrentasteis?*

Intentar comprender el estado físico (temperatura, densidad, homogeneidad) de los átomos e iones que se sospechaba se encuentran dispersos entre unas galaxias y otras. Su previsible existencia se debe a que en el proceso de formación de galaxias no se espera que el 100% de los átomos se encuentren capturados dentro de las mismas o incluso dentro de las agrupaciones o cúmulos de galaxias.

*¿Cuál fue la solución a ese problema y la contribución que ese artículo hizo al campo de trabajo en el que se enmarca?*

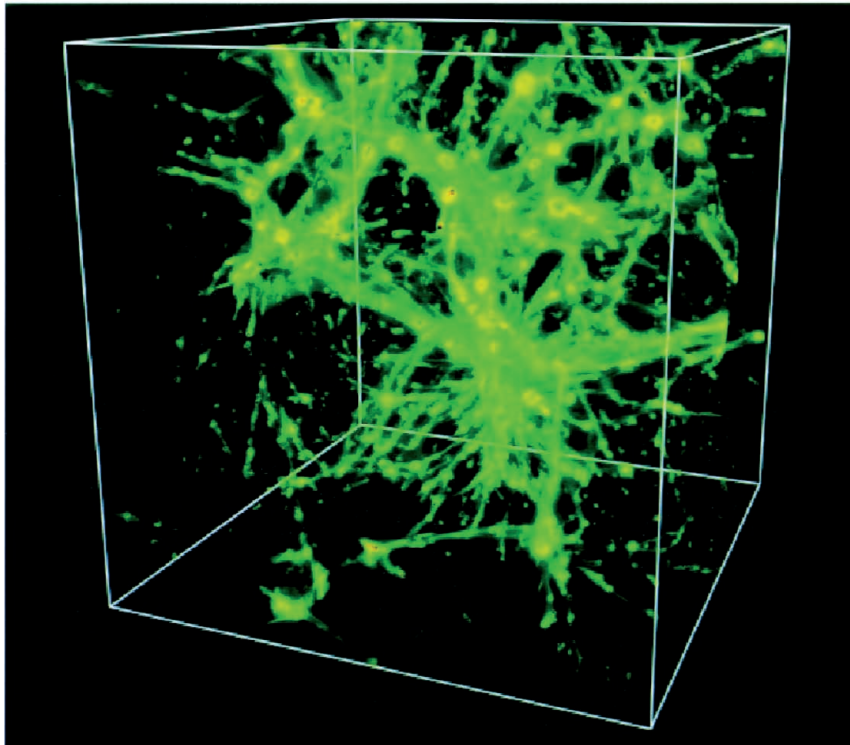
Utilizamos tres observables cosmológicos para inferir la densidad y temperatura del medio intergaláctico. El primero se deriva de las observaciones de cuásares distantes, el segundo y

tercero de la observación de la luz de todos tipos (microondas y rayos X en particular) en que está sumergido todo el universo.

La conclusión a la que llegamos es que la temperatura del medio intergaláctico en la actualidad estaría entre unos 20.000 grados y unos 10 millones de grados. Este rango de temperatura impedía atribuir el origen de la radiación de rayos X energéticos (el fondo cósmico de rayos X) que baña el universo al medio intergaláctico, modelo que habíamos defendido anteriormente. También se rechazaba un modelo de formación de estructuras cosmológicas de la época, basado en grandes explosiones cósmicas, que habían venido defendiendo otros investigadores.

*Desde que ese artículo se publicó, ¿ha habido avances significativos en esa área específica?*

Los avances más significativos se han producido en la última década y de momento se limitan a la vertiente teórica. Las simulaciones hidrodinámicas que se han realizado dentro del paradigma cosmológico actual, muestran que efectivamente la mitad de los átomos del universo quedan dispersos en el medio intergaláctico. También muestran que la temperatura de este medio difuso comenzó siendo de unos cientos de miles de grados cuando el universo tenía un tercio de su edad actual, pero que en la actualidad podría estar a muchos millones de grados de temperatura. Finalmente las simulaciones muestran que hay que esperar que el medio intergaláctico esté distribuido en forma de filamentos, al igual que la materia oscura.



*Figura 1. La figura muestra una simulación numérica de cómo se distribuye la materia en el medio intergaláctico en el universo actual. Las zonas más densas marcan la posición de galaxias y cúmulos de galaxias, pero la mayoría de este medio es demasiado tenue para poderse ver con la instrumentación astronómica actual. Hay que destacar también que lejos de estar uniformemente dispuesto, el medio intergaláctico muestra formas filamentosas. Así, si un rayo de luz procedente de un astro muy lejano cruzara uno de estos filamentos, con los telescopios de rayos X de la próxima generación deberíamos ser capaces de ver la huella de dicho filamento en la luz de esa fuente lejana. Figura tomada de R. Davé et al. 2001, The Astrophysical Journal, 552, 473.*

luminosos. Estas “líneas de absorción” del oxígeno seis veces ionizado, que es el estado en que se encontraría preferentemente dada su temperatura, se vienen buscando con las misiones Chandra y XMM-Newton, por ahora sin una respuesta clara. En el mejor de los casos con estas misiones podríamos encontrar los primeros muy pocos filamentos del medio intergaláctico y en cualquier caso su estudio tendría que esperar posiblemente al lanzamiento del International X-ray Observatory (IXO) hacia 2020.

*¿Cuáles son los problemas fundamentales en la actualidad en ese campo de la Astrofísica y qué descubrimientos se esperan realizar en los próximos años?*

Existe la posibilidad de que la actual generación de observatorios espaciales de rayos X consiga detectar las

primeras trazas (o filamentos) del medio intergaláctico caliente (temperaturas de millones de grados), a través de la huella que los átomos de oxígeno altamente ionizado dejarían en la luz de rayos X que recibimos de fuentes lejanas como cuásares u objetos similares muy

*¿Ha tenido alguna influencia sobre tu carrera profesional?, ¿has continuado en esa línea y te ha abierto nuevos campos o posteriormente te dedicaste a otros temas?*

Durante más de una década aparqué la investigación en este tema. Recuperé el interés a partir de 1997 cuando me involucré en la definición científica de la misión XEUS, ahora convertida en IXO, siguiendo el establecimiento de una colaboración entre las agencias espaciales europea (ESA), estadounidense (NASA) y japonesa (JAXA). Junto a otros colegas vimos que la combinación de una gran área efectiva junto a una capacidad de resolución espectral como la que aportará IXO es

exactamente lo que se necesita para abordar este problema.

*¿Tienes alguna anécdota relacionada con la gestación y publicación de este artículo y que consideres adecuado contar?*

Lo que voy a relatar se refiere a otro artículo que publiqué en *Nature* con otros colaboradores (*Extensive dark-matter haloes in low-luminosity galaxies revealed by quasar absorption-lines*, X. Barcons, K.M. Lanzetta, J.K. Webb, 1995, *Nature* 376, 321). El artículo en cuestión mezclaba dos aspectos del estudio de las galaxias que, al menos por aquel entonces, eran bastante disjuntos: las líneas de absorción en cuásares provocadas por gas neutro a lo largo de

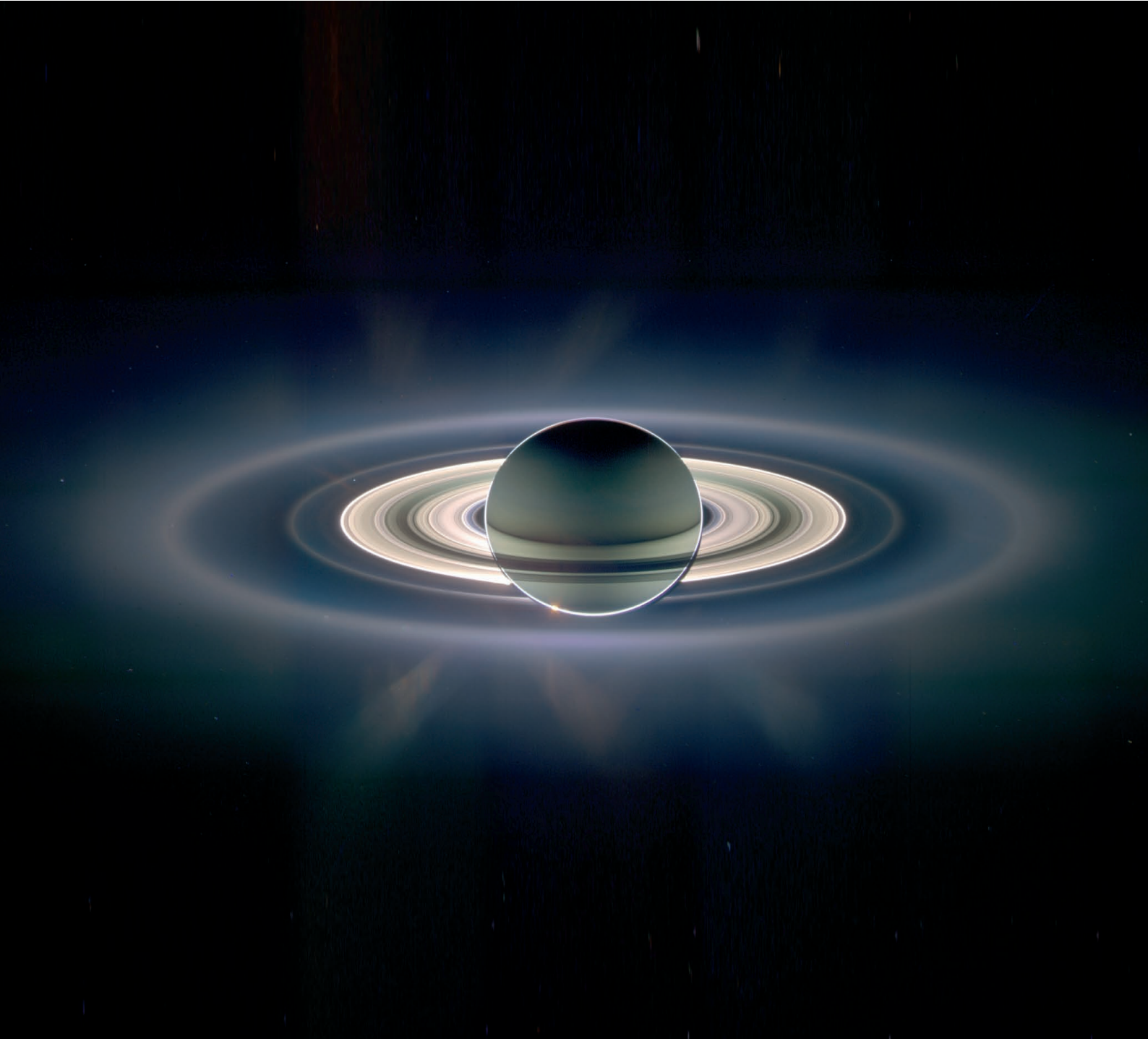
la visual y la cinemática de las galaxias. Los dos revisores externos pertenecían a esas dos comunidades. Cada uno de ellos, que no tenía nada que argumentar en contra del artículo, pretendía que este derivara su énfasis hacia el campo del otro: parecían no querer intrusos. El editor tomó cartas en el asunto y decidió aceptar el artículo. Años después uno de los revisores me confesó que él era uno de ellos (el otro ya lo habíamos identificado) y reconoció que su comportamiento había sido poco ejemplar en aquel artículo.

*THE PHYSICAL STATE OF THE INTERGALACTIC MEDIUM*

X. BARCONS, A.C. FABIAN Y M.J. REES

1991, *NATURE*, 350, 685







*¿Cuál era el problema al que os enfrentasteis?*

Desde que a los 16 años pude por primera vez asomarme al universo con un pequeño telescopio que compré ahorrando de la paga del domingo, siempre hubo un aspecto que llamó poderosamente mi atención: ¿qué eran esas manchas, brillantes y oscuras, que apreciaba en los temblantes discos de Marte y Júpiter? Estas y otras preguntas me llevaron a estudiar los planetas, y más en concreto a explorar las atmósferas de los gigantes Júpiter y Saturno. Abordé en mi tesis doctoral el estudio de los vientos de Saturno y sobre todo el de sus raras y gigantescas tormentas (las “Grandes Manchas Blancas”) hurgando en bibliotecas para reunir los escasos datos disponibles. Solo había cuatro eventos documentados a lo largo de más de 120 años de observaciones, y con la información que

recopilamos elaboramos por primera vez un modelo dinámico sobre la naturaleza de las manchas. Y, vista su aparente recurrencia con el año de Saturno (de 30 años terrestres), planteamos la posibilidad de que una nueva tormenta surgiese en 1990, como así ocurrió, y fue su estudio lo que nos llevó por primera vez a la portada de *Nature*.

*¿Cuál fue la solución a ese problema y la contribución que ese artículo hizo al campo de trabajo en el que se enmarca?*

La tormenta ecuatorial de Saturno surgió a finales de septiembre de 1990 y fue descubierta por un aficionado norteamericano. A los pocos días pudimos observarla en detalle con el telescopio de 1 metro de diámetro en el Observatorio del Pic du Midi en los Pirineos franceses. Reunimos un conjunto excelente de imágenes

multicolores de las primeras fases de su desarrollo y de su evolución a lo largo de más de un año.

Pudimos medir en detalle los movimientos de las nubes de la tormenta y los vientos ecuatoriales del planeta. Con todos esos datos, y con los que más tarde se obtuvieron con el Telescopio Espacial Hubble (HST), recién puesto en órbita, fuimos capaces de constreñir la altura de las nubes y mejorar el modelo dinámico, a nuestro juicio una gigantesca tormenta producida por convección en las nubes profundas de agua de la atmósfera de Saturno.

*Desde que ese artículo se publicó, ¿ha habido avances significativos en esa área específica?*

El trabajo de *Nature* fue después la guía para la realización de dos tesis doctorales en nuestro grupo de investigación



Figura 1. Imágenes de la tormenta ecuatorial de Saturno obtenidas en octubre de 1990 desde el Observatorio de Pic du Midi. Las letras de las imágenes corresponden a las denominaciones de distintos filtros de color utilizados.

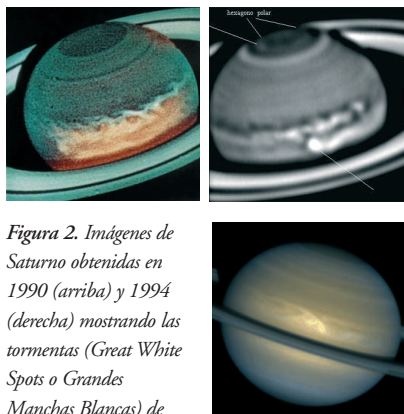


Figura 2. Imágenes de Saturno obtenidas en 1990 (arriba) y 1994 (derecha) mostrando las tormentas (Great White Spots o Grandes Manchas Blancas) de aquellas épocas. Las dos imágenes en color se obtuvieron con el Telescopio Espacial Hubble (HST) y la imagen en blanco y negro es del Observatorio de Pic du Midi.

(y alguna más en Estados Unidos) que permitieron avanzar en los detalles de cómo se forman estas tormentas y cuál es la estructura de la atmósfera del planeta. Aconteció además que una nueva tormenta secundaria surgió también en el ecuador en 1994, y sobre ella publicamos un nuevo trabajo en *Science*, y años más tarde en 2003, un artículo nuestro fue de nuevo portada en *Nature*, donde en base al análisis de imágenes del HST sugeríamos que los cambios aparentes en la velocidad de la gran corriente en chorro del ecuador de Saturno podría deberse a las tormentas gigantes. Desde entonces, el gran avance en el conocimiento de este planeta, y en particular de su atmósfera, se ha producido gracias a la entrada en órbita a mediados del año 2004 de la nave espacial Cassini que nos está permitiendo estudiar con gran detalle su sistema de vientos y su meteorología. Pero aún no ha surgido ninguna gran tormenta estando la nave en órbita...

*¿Cuáles son los problemas fundamentales en la actualidad en ese campo de la Astrofísica y qué descubrimientos se esperan realizar en los próximos años?*

Uno de los grandes problemas de la dinámica atmosférica de los planetas gigantes es conocer cuál es la naturaleza de sus múltiples e intensos vientos dispuestos en corrientes en chorro alternantes con la latitud. No sabemos si son profundos y se extienden hacia el interior de Júpiter y Saturno, o si son un fenómeno superficial y, en consonancia, cuál es su fuente de energía, si es la deposición del calor solar (que llega desde arriba) o la energía interna retenida por el planeta tras su formación (que fluye desde abajo). A comienzos de 2008 obtuvimos nuestra tercera portada de *Nature* con un trabajo sobre la intensa corriente en chorro del trópico de Júpiter en el que estudiábamos la relación entre dos raras tormentas (parecidas a las de Saturno), la perturbación de escala planetaria que produjeron, y la profundidad del *jet* en chorro en la que emergieron, que proponemos profunda. Determinar la abundancia

de vapor de agua y su distribución espacial y temporal, es otro problema esencial para explicar los fenómenos meteorológicos de las atmósferas de estos planetas.

*¿Ha tenido alguna influencia sobre tu carrera profesional?, ¿has continuado en esa línea y te ha abierto nuevos campos o posteriormente te dedicaste a otros temas?*

Qué duda cabe que publicar en *Nature* y *Science*, y más obtener su portada, son probablemente el mejor escaparate en el que mostrar a los científicos del área y de otras cercanas, y a los medios de comunicación social, la investigación que uno hace. Nuestro grupo ha sido exitoso en este aspecto, con seis artículos en *Nature* (tres veces en portada) y otros tres en *Science* y eso ha contribuido sin duda a su imagen pública, tanto entre los colegas, como socialmente a través de conferencias, artículos, entrevistas, etc. Y esto nos ha dado fuerzas para ampliar nuestra investigación a las atmósferas de otros mundos, como en el estudio del sistema de vientos en Venus con la nave Venus Express y de

las tormentas de metano en Titán, sobre los que precisamente versan los otros tres trabajos en *Nature*.

*¿Tienes alguna anécdota relacionada con la gestación y publicación de este artículo y que consideres adecuado contar?*

Me enteré de la erupción de la tormenta ecuatorial de Saturno en 1990 mediante una llamada telefónica a las dos de la madrugada desde el Observatorio del Pic du Midi, donde me comunicaban que era espectacular y que la estaban fotografiado en detalle. Al día siguiente cogí un telescopio Celestron de 8 pulgadas y la observé con mi hijo pequeño desde un acantilado cercano a mi casa cuando la tormenta, como un punto brillante, pasaba por el meridiano central del disco de Saturno. ¡Quedé realmente impresionado! Los meses siguientes fueron de observación con el telescopio de 1 metro de diámetro del Pic en condiciones invernales muy difíciles y apuntando a Saturno a veces cuando estaba a tan solo ¡20° por encima del horizonte! De una manera inocente, sin saber las repercusiones que podía tener, mandé el artículo a publicar a *Nature*.



Figura 3. Portadas de *Nature* correspondientes a los artículos publicados por el grupo de la Universidad del País Vasco sobre las tormentas de Saturno y la corriente en el trópico de Júpiter.

## Astronomía made in Spain

Fue tan bien recibido por los evaluadores (el intercambio de opiniones se hacía por correo, el correo electrónico no era un estándar aun) que el editor decidió publicarlo como un *Article* largo. Recibí la aceptación y pruebas de imprenta en un extenso fax, y la sorpresa adicional llegó cuando al recibir la revista en la biblioteca, vimos la tormenta en la portada. Como no teníamos dinero suficiente para pagar las copias de la portada en color, amablemente *Nature* me envió un par de ejemplares gratuitos que conservo con mimo. Ese mismo jueves, el teléfono comenzó a sonar sin cesar, llamaban de todas partes del mundo para preguntar por el fenómeno. Desde el Ministerio de

Educación para felicitarnos, hasta el *National Geographic*, desde la prensa diaria hasta la radio y la televisión... Sin buscarlo ni saberlo, habíamos aprendido lo que significaba publicar y ser portada en *Nature*.

### *THE GREAT WHITE SPOT AND DISTURBANCES IN SATURN'S EQUATORIAL ATMOSPHERE DURING 1990*

A. SÁNCHEZ-LAVEGA, F. COLAS, J. LECACHEUX,  
P. LAQUES, D. PARKER Y I. MIYAZAKI  
1991, *NATURE*, 353, 397

### *LARGE-SCALE STORMS IN SATURN'S ATMOSPHERE DURING 1994*

A. SÁNCHEZ-LAVEGA, J. LECACHEUX, J.M. GÓMEZ,  
F. COLAS Y 5 COAUTORES  
1996, *SCIENCE*, 271, 631

### *A STRONG DECREASE IN SATURN'S EQUATORIAL JET AT CLOUD LEVEL*

A. SÁNCHEZ-LAVEGA, S. PÉREZ-HOYOS, J.F. ROJAS,  
R. HUESO Y R.G. FRENCH  
2003, *NATURE*, 423, 623

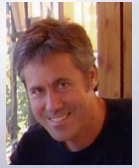
### *HOW LONG IS THE DAY ON SATURN?*

A. SÁNCHEZ-LAVEGA  
2005, *SCIENCE*, 307, 1223

### *DEPTH OF A STRONG JOVIAN JET FROM A PLANETARY-SCALE DISTURBANCE DRIVEN BY STORMS*

A. SÁNCHEZ-LAVEGA, G.S. ORTON, R. HUESO,  
E. GARCÍA-MELENDO Y 21 COAUTORES  
2008, *NATURE*, 451, 437

Jorge Casares Velázquez  
Instituto de Astrofísica  
de Canarias (Tenerife)



### *¿Cuál era el problema al que os enfrentasteis?*

En la década de los 70 y 80 se identificaron tres binarias de rayos X con objetos compactos más masivos que 3 masas solares: Cyg X-1, LMC X-3 y A0620-00. Ese valor es la masa máxima permitida por los modelos estándar de estrellas de neutrones y, por tanto, convertía estos sistemas binarios en fuertes candidatos a albergar agujeros negros. Sin embargo, para explicar las observaciones también se propusieron modelos alternativos que sustituyen al agujero negro por dos estrellas compactas o nuevos modelos de estrellas de neutrones “exóticas”, estables hasta 5 masas solares. Así pues, a finales de los años 80 existía un gran debate astrofísico acerca de la existencia o no de los agujeros negros. En este contexto, la detección de una estrella compacta con una masa superior

a 5 masas solares fue propuesto como el “Santo Grial” en la búsqueda de agujeros negros.

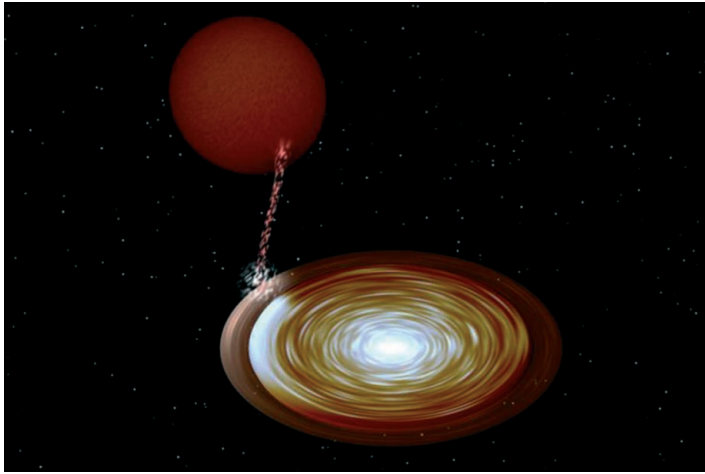
### *¿Cuál fue la solución a ese problema y la contribución que ese artículo hizo al campo de trabajo en el que se enmarca?*

Utilizando el telescopio de 4,2 metros de diámetro William Herschel, situado en el Observatorio del Roque de Los Muchachos (La Palma), conseguimos detectar en 1992 la estrella compañera de la fuente de rayos X V404 Cyg y estudiar su movimiento. Esta estrella se desplaza a más de 208 km/s y completa su órbita alrededor del objeto compacto en 6,5 días. Estos números implican que éste es más masivo que 6 masas solares y convierte, por tanto, a V404 Cyg en el Santo Grial de los agujeros negros. Se podría decir que nuestro trabajo marcó un antes y un después en

la identificación de agujeros negros. Actualmente ya no se cuestiona su existencia y el término “candidato” ha caído en desuso pues todas las fuentes de rayos X con masas dinámicas por encima de 3 masas solares se consideran auténticos agujeros negros.

### *Desde que ese artículo se publicó, ¿ha habido avances significativos en esa área específica?*

Hemos pasado de tener tres candidatos a 20 agujeros negros confirmados, 17 en la Vía Láctea, dos en las nubes de Magallanes y uno en la galaxia M33. Quince de ellos tienen masas relativamente precisas que se distribuyen entre 4 y 16 masas solares. Ya nadie discute su existencia y se utilizan rutinariamente para explicar fenómenos observados en un amplio rango de escalas astrofísicas, desde sistemas binarios a núcleos de galaxias



*Figura 1. Representación artística de la binaria de rayos X V404 Cyg. Una estrella de 0,7 masas solares y tipo espectral K0 orbita alrededor de un agujero negro de 12 masas solares en 6,5 días. Las fuerzas de marea deforman la estrella compañera y arrancan materia de su fotosfera, que cae hacia el agujero negro formando un disco de acreción. Cortesía de Rob Hynes.*

activas. Uno de los descubrimientos recientes más espectaculares ha sido la demostración de la presencia de un agujero negro supermasivo en el centro de nuestra Galaxia: Sagitario A. Utilizando tecnología de óptica adaptativa con el Very Large Telescope (VLT, ESO, Chile) ha sido posible medir directamente la órbita de varias estrellas en torno a Sagitario A. Su movimiento es producido por un objeto de 3 millones de masas solares contenido en un volumen comparable a nuestro Sistema Solar. La presencia de un agujero negro supermasivo es la única explicación posible para una

concentración de materia tan elevada en un volumen tan reducido.

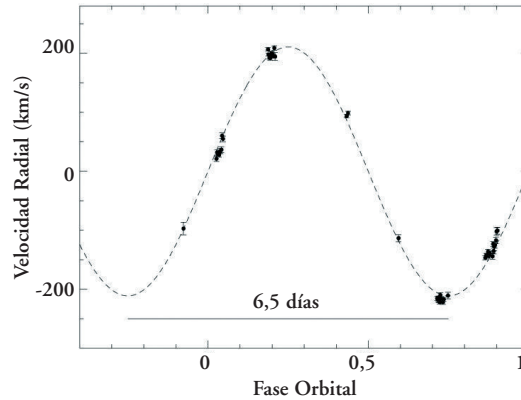
*¿Cuáles son los problemas fundamentales en la actualidad en ese campo de la Astrofísica y qué descubrimientos se esperan realizar en los próximos años?*

A mi juicio, hay dos problemas fundamentales en este campo: el conocimiento del espectro de masas de los agujeros negros y la naturaleza de las fuentes de rayos X ultraluminosas (ULXs). El primero tiene repercusiones en muchas áreas de la Astrofísica, como los modelos de explosión de supernovas o el enriquecimiento químico de la Galaxia. Desgraciadamente nuestra muestra de 20 agujeros negros es demasiado limitada para extraer conclusiones sobre su distribución de masas. Pero se trata sólo de la punta del iceberg de una población subyacente que se estima en varios miles de binarias de rayos X en estado de “hibernación” (es decir, no emiten rayos X). Es importante descubrir nuevas binarias de rayos X para aumentar la muestra de agujeros negros conocida. El segundo problema consiste en resolver si las ULXs, detectadas en

galaxias cercanas, contienen agujeros negros de 100-1000 masas solares. De ser así, se trataría de los eslabones perdidos entre los agujeros negros de masa estelar y supermasivos en núcleos de galaxias. Esta demostración sólo puede hacerse con estudios dinámicos como el que realizamos con V404 Cyg.

*¿Ha tenido alguna influencia sobre tu carrera profesional?, ¿has continuado en esa línea y te ha abierto nuevos campos o posteriormente te dedicaste a otros temas?*

Este trabajo ha tenido una influencia decisiva en mi carrera profesional. Me abrió las puertas a un contrato postdoctoral en la Universidad de Oxford, donde entonces se encontraba uno de los grupos europeos más fuertes en binarias de rayos X. Desde entonces he continuado investigando este tipo de objetos. Por un lado, desvelando la naturaleza de los objetos compactos, con el descubrimiento de otros cuatro agujeros negros con masas superiores a 5 masas solares y midiendo masas de estrellas de neutrones. Por otro, hemos desarrollado nuevas técnicas para medir masas utilizando emisión fluorescente producida por la irradiación de la



*Figura 2. Curva de velocidad radial de la estrella compañera en V404 Cyg. Muestra la variación de velocidad radial de la estrella KO debida a la atracción gravitatoria del agujero negro.*

estrella compañera. También he dedicado parte de mi tiempo al estudio de las propiedades de los discos de acreción y su comportamiento en distintas escalas temporales, desde segundos a años.

*¿Tienes alguna anécdota relacionada con la gestación y publicación de este artículo y que consideres adecuado contar?*

Descubrí el agujero negro durante mi último año de tesis, ya había finalizado mis tres años de contrato laboral en el IAC y me encontraba en el paro. Eso dio origen a jugosos titulares de prensa del tipo de

“Investigador español en paro descubre el primer agujero negro”. También, durante un tiempo tras la publicación del trabajo, recibí numerosos correos electrónicos y algunos manuscritos desde distintas partes del mundo en los que me pedían opinión sobre teorías físicas bastante pintorescas o pretendían convencerme de que la Teoría de la Relatividad General estaba equivocada.

*A 6.5-DAY PERIODICITY IN THE RECURRENT NOVA V404 CYGNI IMPLYING THE PRESENCE OF A BLACK HOLE*  
*J. CASARES, P.A. CHARLES Y T. NAYLOR*  
*1992, NATURE, 355, 614*







*¿Cuál era el problema al que os enfrentasteis?*

Las galaxias espirales giran “demasiado deprisa” y la rotación no decae con la distancia como ocurre con los planetas. Para explicar esta anómala “curva de rotación” se recurre a la hipótesis consistente en decir que la galaxia tiene un halo de materia oscura, que ni se ve ni puede verse. Esta materia oscura debe ser unas diez veces más masiva y extenderse unas diez veces más que la materia visible y no se conoce su naturaleza. Según está hipótesis, la más ortodoxa, ni sabemos la masa de una galaxia, ni cómo es de grande ni de qué está hecha.

*¿Cuál fue la solución a ese problema y la contribución que ese artículo hizo al campo de trabajo en el que se enmarca?*

La rotación de las galaxias espirales a grandes distancias del centro se observa en el gas (medida en ondas de radio). El gas está muy ionizado. Como en un plasma de laboratorio, el movimiento de este gas ionizado modifica el campo magnético y el campo magnético modifica el movimiento.

Se creaba una fuerza magnética centrípeta que podía explicar la rotación. Se recurría a una explicación magnetohidrodinámica clásica en lugar de las más exóticas basadas en la materia oscura. No se negaba la existencia de materia oscura, sino que *no estaba* en las galaxias; más bien las galaxias *estaban* en la materia oscura.

*Desde que ese artículo se publicó, ¿ha habido avances significativos en esa área específica?*

Las reacciones fueron furiosas. Habíamos puesto en duda una de las hipótesis más brillantes de la cosmología moderna. Respondimos a las críticas en un artículo más extenso en otra revista, hicimos un extenso artículo de revisión en otra y cerramos el tema, dedicándonos a otras investigaciones.

Desde entonces ha habido importantes avances. Se ha medido con precisión el campo magnético de la Vía Láctea y de otras galaxias. Su distribución es la que entonces supusimos para explicar la rotación. Lo acabamos de resaltar en un artículo reciente.

A pesar de confirmarse una predicción hecha diez años antes, se sigue manteniendo la hipótesis de la materia oscura. Se admite, sin

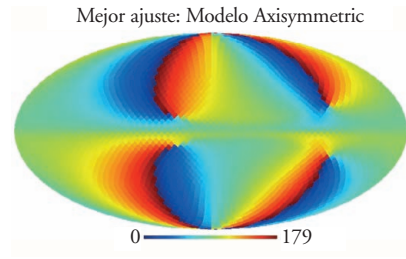


Figura 1. Predicciones de un modelo sobre el campo magnético galáctico, según la tesis de Beatriz Ruiz, dirigida por J.A. Rubiño y por el autor.

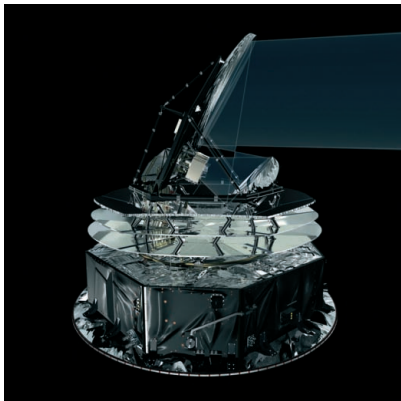


Figura 2. Imagen del observatorio Planck, misión de la Agencia Espacial Europea que permitirá, entre otros objetivos, profundizar en el conocimiento del campo magnético de nuestra Galaxia. Se lanzó en mayo de 2009.

embargo, que para explicar la curva de rotación no se puede ignorar el campo magnético.

*¿Cuáles son los problemas fundamentales en la actualidad en ese campo de la Astrofísica y qué descubrimientos se esperan realizar en los próximos años?*

Los modelos establecidos de materia oscura jerarquizada explican notoriamente bien muchas cosas, aunque no adecuadamente la curva de rotación de las galaxias espirales, precisamente. El campo magnético de la Galaxia va a quedar muy bien determinado con dos experimentos futuros: Planck (misión espacial para medir el fondo cósmico de microondas) y el SKM (Square Kilometer Array, un radiotelescopio de un kilómetro cuadrado de antena).

*¿Ha tenido alguna influencia sobre tu carrera profesional? ¿has continuado en esa línea y te ha abierto nuevos campos o posteriormente te dedicaste a otros temas?*

Como he dicho, me he dedicado a otros temas. Fue mejor esperar. Me he dedicado a temas siempre relacionados con el magnetismo en los medios inter-, extra- y pre-galácticos. A la vista de las nuevas medidas hemos resucitado recientemente el tema.

*¿Tienes alguna anécdota relacionada con la gestación y publicación de este artículo y que consideres adecuado contar?*

El artículo de *Nature* estaba firmado por Battaner, Garrido, Membrado y Florido. Pero Garrido, Membrado y Florido eran los nombres de los coautores; no se piense que eran inmerecidos epítetos a mi persona.

MAGNETIC FIELDS AS AN ALTERNATIVE EXPLANATION FOR

THE ROTATION CURVES OF SPIRAL GALAXIES

E. BATTANER, J.L. GARRIDO, M. MEMBRADO Y E. FLORIDO

1992, NATURE, 360, 652



*¿Cuál era el problema al que os enfrentasteis?*

Los estudios cinemáticos de objetos extensos, como las galaxias, se hacían en aquella época con técnicas secuenciales, inadecuadas y trabajosas, como ir desplazando la rendija de un espectrógrafo sobre el objeto obteniendo exposiciones sucesivas. Este método estaba sujeto a errores sistemáticos (algunos muy importantes como la refracción atmosférica diferencial) y a cambios en las condiciones observacionales mientras se exponía (cambios en el seeing, la extinción, la masa de aire, etc.). Como resultado de todo esto, los mapas de velocidad de galaxias en el óptico eran escasos y poco fiables.

*¿Cuál fue la solución a ese problema y la contribución que ese artículo hizo al campo de trabajo en el que se enmarca?*

La solución fue desarrollar una nueva técnica, la espectroscopía 2D, también conocida como espectroscopía 3D o espectroscopía integral de campo. Esta técnica consiste en descomponer el plano focal en elementos discretos (trozos de galaxia) transportando y alineando estos elementos discretos en la rendija del espectrógrafo para obtener un espectro de cada elemento de superficie de la galaxia. Nosotros utilizamos fibras ópticas para realizar la descomposición y reformateo del plano focal. En realidad esta solución implicó una ingente cantidad de trabajo en el laboratorio, construyendo varios instrumentos y prototipos, desarrollando programas para reducir los datos y para analizarlos y publicando artículos que

mostrarán las posibilidades de ésta, entonces, nueva técnica. El artículo sobre NGC 2237 en *Nature* tuvo un efecto demostrativo en una publicación muy prestigiosa: nuestros instrumentos y las nuevas técnicas de análisis eran innovadoras y fiables.

En cuanto a los resultados científicos, me gustaría decir que, visto con la perspectiva de hoy, fue uno de los primeros artículos en los que se mostraban evidencias cinemáticas directas de la fusión entre galaxias, muy en la línea de las ideas sobre la formación jerarquizada aunque no fuera éste el enfoque principal del artículo.

*¿Desde que ese artículo se publicó, ¿ha habido avances significativos en esa área específica?*

En aquel momento había tres grupos internacionales con instrumentos operativos (SILFID, TIGER,

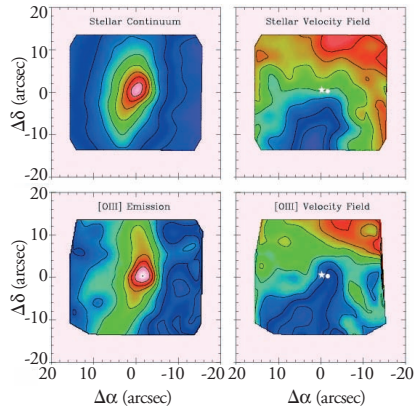


Figura 1. Mapas de intensidad y velocidad obtenidos con INTEGRAL, en el telescopio William Herschel, de la galaxia Seyfert NGC 5033 (apareció como portada de *Astronomy and Astrophysics*, vol. 433).

HEXAFLEX). La técnica era patrimonio de estos grupos pioneros entre los que nos encontrábamos y nosotros mismos debíamos desarrollar cada aplicación que necesitáramos. Hoy en día, casi cada nuevo telescopio tiene planeado un instrumento para hacer espectroscopía-3D. Por ejemplo, HARMONY para el E-ELT (European Extremely Large Telescope), en el que por la parte española participamos los firmantes del artículo del *Nature*.

*¿Cuáles son los problemas fundamentales en la actualidad en ese campo de la Astrofísica y qué descubrimientos se esperan realizar en los próximos años?*

Realmente la espectroscopía 3D ha pasado de ser el patrimonio de unos pocos especialistas a ser una técnica de uso general, como lo son la imagen CCD o la espectroscopía de rendija clásicas. Se espera que la técnica contribuya a grandes descubrimientos en todas las áreas de la Astrofísica.

*¿Ha tenido alguna influencia sobre tu carrera profesional?, ¿has continuado en esa línea y te ha abierto nuevos campos o posteriormente te dedicaste a otros temas?*

Aunque hemos seguido siempre con bastante actividad en el campo (ahora participamos en HARMONY para el E-ELT, como comentábamos más arriba) lo cierto es que la época pionera fue muy especial (las nuevas ideas podían tener un impacto global en el diseño de la técnica).

Hoy en día la técnica está bastante desarrollada y se trata de hacer

instrumentos con más prestaciones, algo que implica una cualificación tecnológica que debe ser compartida por muchos miembros de grandes equipos (lo que me parece menos motivador).

*¿Tienes alguna anécdota relacionada con la gestación y publicación de este artículo y que consideres adecuado contar?*

La verdad es que en aquella época nuestro trabajo fue un artículo doblemente peculiar para *Nature* pues tenía una base instrumental y estaba realizado enteramente por españoles.

EVIDENCE FOR AN OFFSET ACTIVE NUCLEUS IN THE  
SEYFERT GALAXY NGC3227  
E. MEDIAVILLA Y S. ARRIBAS  
1993, *NATURE*, 365, 420



Los artículos en *Nature* y *Science* en 1995 corresponden a dos fases de la misma investigación. La primera informa del descubrimiento de la emisión de la radiosupernova SN1993J en forma de corteza esférica a los 239 días de la explosión y la segunda de la expansión de esa estructura con el tiempo durante un año. Son complementarias.

### *¿Cuál era el problema al que os enfrentasteis?*

Determinar por primera vez la estructura de emisión en una radiosupernova y su evolución temporal para contrastarla con el modelo estándar que había sido propuesto diez años antes. En resumen, el hacer una *película* de la evolución de una radiosupernova.

Habíamos trabajado anteriormente, y por otras motivaciones, con radiosupernovas, pero la explosión de

SN1993J en M81 ofrecía una oportunidad única. La emisión era relativamente fuerte y la distancia a la supernova era relativamente pequeña.

Podríamos resolver su estructura espacial. Rápidamente nos dimos cuenta de que podría observarse durante más de una década y ver su evolución con nitidez. Un lujo.

### *¿Cuál fue la solución a ese problema y la contribución que ese artículo hizo al campo de trabajo en el que se enmarca?*

Los recursos internacionales para llevar a cabo esas investigaciones eran sólo asequibles en competición por un único instrumental (la red global de Very Long Baseline Interferometry, VLBI). Se montaron dos grandes equipos internacionales y competimos a muerte. Los comités decidieron repartir los recursos más o menos de

forma salomónica entre los grupos. Lo más difícil, trabajando desde España, fue el conseguir que el otro equipo con más raíz americana (el nuestro tenía más raíz europea, aunque en ambos había científicos de todas partes) no nos desbancara al principio. Y luego, la única manera de sobrevivir era hacer el trabajo más importante antes que ellos.

Trabajamos duro y tuvimos suerte. Esos artículos mostraron entonces esas estructuras de corteza esférica en evolución autosimilar. Confirmaban el modelo estándar. Las contribuciones científicas eran únicas. Y junto con otra de 1997 en la que dimos a conocer la desaceleración en la expansión, fue lo mejor que hubo en ese campo de investigación hasta que el otro grupo empezó a publicar de verdad el año 2000. Antes les quitamos toda la nata del proyecto.

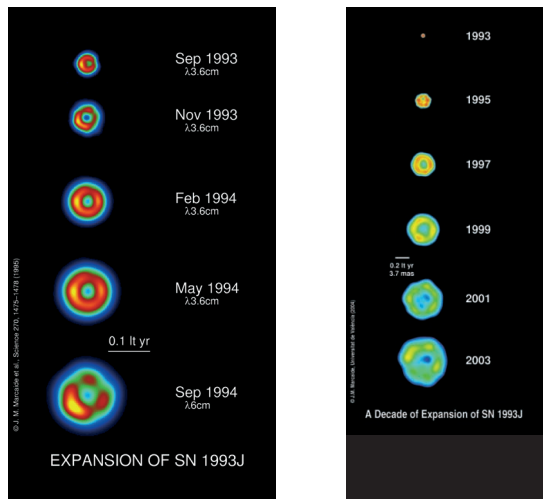


Figura 1. Evolución temporal de la expansión de la supernova SN1993J durante una década.

*Desde que ese artículo se publicó, ¿ha habido avances significativos en esa área específica?*

Desde entonces hemos estado trabajando sin desmayo y tratando de entender detalles sutiles de la expansión para entender cómo se genera la emisión que recibimos. Nosotros hemos hecho más de 30 observaciones con la red mundial de VLBI durante 14 años. El otro equipo otro tanto.

En mi opinión el avance más significativo tuvo lugar cuando

descubrimos (y publicamos en 2009) que la expansión parece ser ligeramente diferente cuando se observa a longitudes de onda de 6 cm y 18 cm. Encontramos que hay efectos físicos e instrumentales que hacen que la expansión medida no sea exactamente la misma usando esas dos longitudes de onda. Esto no lo había pensado nadie. Y además muestra que el otro equipo no ha hecho bien algunos análisis pues no ha visto el efecto.

*¿Cuáles son los problemas fundamentales en la actualidad en ese campo de la Astrofísica y qué descubrimientos se esperan realizar en los próximos años?*

Ese campo de la Astrofísica tiene un problema fundamental: las radiosupernovas o explotan demasiado lejos o no son buenas emisoras de microondas para poder estudiarlas con el detalle debido a pesar de utilizar los mayores radiotelescopios del mundo en modo interferométrico. Por tanto, hay muy pocas, menos de una docena en total, que se han podido estudiar y ninguna con el detalle de la SN1993J.

*¿Ha tenido alguna influencia sobre tu carrera profesional?, ¿has continuado en esa línea y te ha abierto nuevos campos o posteriormente te dedicaste a otros temas?*

Con anterioridad había hecho contribuciones científicas en otras áreas (cuásares, núcleos activos de galaxias, centro galáctico, astrometría, etc., incluso publicando en *Nature* y *Science* otras cuatro veces y alguna de primer autor, pero antes de llegar a España). Casi todas ellas tenían el común denominador del uso de la

técnica de VLBI. Estas investigaciones sobre la supernova SN1993J me escoraron del todo hacia los estudios de radiosupernovas. Todavía sigo en ello de modo activo.

*¿Tienes alguna anécdota relacionada con la gestación y publicación de este artículo y que consideres adecuado contar?*

Quizás la mejor anécdota tuvo lugar muy al principio, pues casi perdí todas las opciones de empezar esa investigación por no enterarme de la explosión de SN1993J durante más de una semana. Había estado encerrado en mi casa prácticamente todo ese tiempo corrigiendo una tesis doctoral de una estudiante. Sólo al salir de esa reclusión me enteré, de hecho creo que por una foto en El País. De inmediato

llamé a un colega holandés quien me confirmó que esa misma noche se había detectado radioemisión en Cambridge. Y entonces nos pusimos en marcha. El que el inicio de la emisión de microondas siempre vaya retrasado con respecto a la emisión visible me salvó. Bueno, igual me tomé demasiado en serio la corrección de aquella tesis. Naturalmente, conseguimos los recursos en la competición americana-europea porque colegas importantes defendieron nuestro caso a fondo. Les estoy agradecido. En la gestación y publicación no hubo anécdotas dignas de mención. Lo mejor fue que antes de que saliera la imagen de la expansión en *Science*, Sir Martín Rees ya la había incluido en su último libro *Gravity's fatal attraction* de la colección

Scientific American. La imagen se la había pasado informalmente en el pasillo de su instituto en Cambridge (Gran Bretaña), y me preguntó entonces si la podía usar (no me dijo para qué, pero evidentemente lo había pensado) y le dije que sí, que esperaba que saliera pronto en *Science*. Casi tenemos conflicto de *copyright*.

DISCOVERY OF SHELL-LIKE RADIO-STRUCTURE IN  
SUPERNOVA 1993J

J.M. MARCAIDE, A. ALBERDI, E. ROS, P. DIAMOND  
Y 19 COAUTORES  
1995, NATURE, 373, 44

EXPANSION OF SUPERNOVA 1993J

J.M. MARCAIDE, A. ALBERDI, E. ROS, P. DIAMOND  
Y 11 COAUTORES  
1995, SCIENCE, 270, 1475





Vicent Martínez García  
Observatori Astronòmic  
Universitat de València



### *¿Cuál era el problema al que os enfrentasteis?*

Se sabe, desde las observaciones pioneras de Edwin Hubble en la década de 1930, que las galaxias no se distribuyen aleatoriamente. Ya en la década de 1980 se realizaron los primeros cartografiados galácticos en tres dimensiones, es decir, aquellos que además de la posición de las galaxias en la esfera celeste contienen información de su distancia (medida a partir de su desplazamiento hacia el rojo). Estos mapas tridimensionales de la macroestructura cósmica trazada por la distribución de galaxias muestran una textura caracterizada por grandes filamentos, cúmulos y supercúmulos galácticos, estructuras aplanadas como grandes paredes que delimitan regiones aparentemente vacías de materia luminosa. Esta *telaraña cósmica* se puede caracterizar,

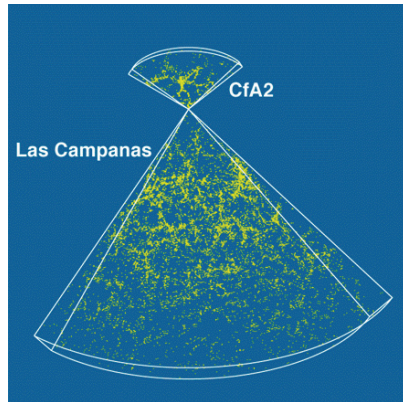
a escalas no demasiado grandes, por su estructura fractal. En promedio, el número de galaxias en una esfera de radio  $r$  centrada en una galaxia dada crece de manera proporcional a  $r$  elevado a un cierto exponente que llamamos “dimensión de correlación”. Esta dimensión es, para la distribución de galaxias y en un rango significativo de escalas, aproximadamente 2, un valor claramente distinto de 3 que es el que se observaría si la distribución fuese homogénea (en ese caso el número de galaxias crecería de manera proporcional al volumen de la esfera). Por otra parte, la cosmología actual se basa en el Principio Cosmológico que establece que el universo a gran escala debe ser homogéneo (no existen lugares preferentes) e isótropo (no existen direcciones preferentes). El problema que trataba de responder en este artículo era determinar la escala

en la que se produce la transición de un régimen fractal a una distribución más homogénea de las galaxias en el espacio.

### *¿Cuál fue la solución a ese problema y la contribución que ese artículo hizo al campo de trabajo en el que se enmarca?*

En el momento en el que se publicó el artículo existía en la comunidad científica un cierto debate sobre la naturaleza fractal de la distribución de galaxias a pequeña escala y la existencia de un límite a escalas mayores. Un grupo de científicos sostenía que, con los datos observacionales disponibles, la estructura fractal no presentaba síntomas de romperse y, por tanto, no se observaba ninguna transición a la homogeneidad.

El artículo demuestra que, si bien los cartografiados galácticos todavía no



*Figura 1. La distribución de galaxias en dos sectores del cielo centrados en la Tierra. El sector más profundo (el de abajo) alcanza los 3000 millones de años luz de distancia. Los puntos representan las posiciones de 13.000 galaxias. Se observan estructuras como filamentos, paredes y huecos en ambos sectores, pero el tamaño de estas estructuras no es mayor en la rebanada más profunda como cabría esperar en una estructura fractal.*

son lo suficientemente grandes, ya se evidencia una transición gradual a una distribución homogénea de la materia luminosa en escalas del orden de 200 millones de años luz.

*Desde que ese artículo se publicó, ¿ha habido avances significativos en esa área específica?*

Ciertamente, se han completado cartografiados galácticos mucho más profundos, cubriendo regiones del cielo muy amplias y que contienen centenares de miles de galaxias. Los dos más importantes son el catálogo de desplazamientos hacia el rojo del *2-degree field* realizado con el espectrógrafo multiobjeto del telescopio angloaustraliano de 3,9 metros de diámetro y el *Sloan Digital Sky Survey* realizado con un telescopio dedicado de 2,5 metros de diámetro en Nuevo México. Ambos catálogos de galaxias han servido para corroborar la transición gradual a una distribución más homogénea a las escalas que se predecían en nuestro artículo de *Science*. De hecho, si se estudia estadísticamente el agrupamiento de las galaxias por medio de la función de correlación a dos puntos, ésta muestra

que el comportamiento fractal a pequeña escala desaparece a escalas superiores, incluso se ha podido probar la existencia de un pico (un pequeño máximo local, llamado “pico acústico”) a escalas de cerca de 500 millones de años-luz que concuerda bien con las teorías de formación de estructura cósmica.

*¿Cuáles son los problemas fundamentales en la actualidad en ese campo de la Astrofísica y qué descubrimientos se esperan realizar en los próximos años?*

Uno de los problemas fundamentales es la medida precisa del pico acústico al que hacía referencia en la pregunta anterior. La posición de este pico determina una distancia característica cuya medición precisa puede aportar una valiosísima información sobre la naturaleza de lo que los cosmólogos llaman energía oscura, la componente dominante en la actualidad del contenido de materia y energía del universo (el 70% sería esta energía oscura) y que sería responsable de la aceleración en la expansión cósmica observada hoy en día. Proyectos como PAU (*Physics*

of the Accelerating Universe), cuyo objetivo es la construcción de un cartografiado con técnicas fotométricas de más de 200 millones de galaxias, pueden contribuir a la solución de este enigma.

Sin duda, otro de los problemas fundamentales sería conocer los detalles de la evolución cósmica, es decir, cómo la distribución de materia en las diferentes épocas desde su formación nos informa de los procesos físicos que acaecieron. El cartografiado ALHAMBRA, realizado con el telescopio de 3,5 metros de diámetro de Calar Alto tiene este objetivo científico, cubrirá una fracción del cielo equivalente a 20 veces el área de la Luna llena y tendrá una profundidad sin precedentes para los sondeos que cubren un área tan grande.

*¿Ha tenido alguna influencia sobre tu carrera profesional?, ¿has continuado en esa línea y te ha abierto nuevos campos o posteriormente te dedicaste a otros temas?*

Este artículo de *Science* fue más bien la conclusión de un periodo intenso de actividad que había iniciado con mi

tesis. Sigo trabajando en el estudio de la estructura a gran escala del universo, pero me he interesado por otros problemas como la extensión de los halos de materia oscura en torno a galaxias elípticas, la evolución cósmica, la naturaleza de la energía oscura mediante el estudio de las oscilaciones bariónicas, la detección y caracterización morfológica de las estructuras cósmicas mayores: los filamentos y los supercúmulos galácticos, etc.

*¿Tienes alguna anécdota relacionada con la gestación y publicación de este artículo y que consideres adecuado contar?*

Sí, tengo una anécdota interesante. La revista *Science* envió, como hace siempre, el artículo a dos árbitros diferentes. Ambos fueron muy positivos, pero uno de ellos comentaba en su informe que recientemente en *Nature* se había publicado un artículo similar. Uno de los autores de ese artículo era el astrónomo real británico Sir Martin Rees (*The Large scale smoothness of the universe*, Wu, Lahav y Rees, 1999, *Nature*, 397, 225). En el artículo se

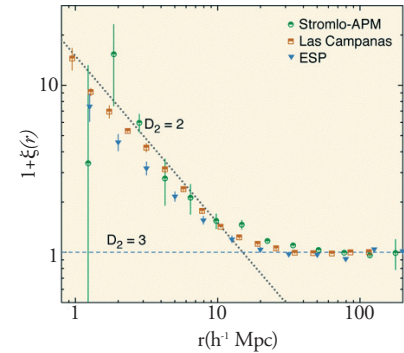


Figura 2. La función de correlación de las galaxias para diferentes cartografiados muestra una transición gradual desde un régimen fractal con dimensión de correlación 2 a una distribución homogénea con dimensión de correlación 3.

## Astronomía made in Spain

citaban bien nuestros trabajos previos. Este hecho llevó a la editora de *Science* a optar por la no publicación de nuestro nuevo artículo en esa revista. Ciertamente, yo acepté la decisión, aunque entendía que nuestras aportaciones eran diferentes y en algún sentido más contundentes. Durante esas semanas estaba en contacto con un colega británico, el Prof. Peter Coles. Al comentarle lo sucedido me preguntó algunos detalles, por ejemplo el nombre

de la editora que se había responsabilizado de la decisión. Luego supe que le escribió, identificándose como el árbitro del artículo de *Nature*, y aduciendo que, a su juicio, el artículo merecía ser publicado en *Science* por las aportaciones que realizaba. La editora reenvió la carta de Peter Coles a los árbitros originales del trabajo, con la solicitud de que comparasen ambos artículos y emitiesen un juicio sobre la conveniencia de la publicación en *Science*. Ambas

respuestas fueron favorables y finalmente el artículo se publicó.

*MULTISCALING PROPERTIES OF LARGE SCALE*

*STRUCTURE IN THE UNIVERSE*

V.J. MARTÍNEZ, S. PAREDES, S. BORGANI Y P. COLES

1995, *SCIENCE*, 269, 1245

*IS THE UNIVERSE FRACTAL?*

V.J. MARTÍNEZ

1999, *SCIENCE*, 284, 445

Francisco J. Castander Serentill  
Institut de Ciències de l'Espai  
(CSIC-IEEC, Barcelona)



*¿Cuál era el problema al que os enfrentasteis?*

El artículo se publicó a mediados de la década de los 90. Por aquel entonces, ya se tenía una idea de cómo se habían formado las galaxias y cúmulos de galaxias. Los cúmulos de galaxias son las estructuras más grandes que observamos y la evolución de su abundancia depende de manera muy sensible de los constituyentes del universo y en particular de cuánta materia existe. La medida observacional de la cantidad de materia del universo era una de las cuestiones más importantes de la época pues es un parámetro que determina la geometría y la evolución global del cosmos.

*¿Cuál fue la solución a ese problema y la contribución que ese artículo hizo al campo de trabajo en el que se enmarca?*

Los cúmulos de galaxias y en especial la evolución de su abundancia son piezas fundamentales para el estudio del universo. Los cúmulos están formados por galaxias, gas caliente y materia oscura. Tradicionalmente, los cúmulos se detectaban buscando sobreabundancias de galaxias, un método que no es muy fiable. Con la llegada de los satélites de rayos X se pudieron empezar a detectar los cúmulos por la emisión en rayos X del gas caliente que contienen. Los primeros resultados indicaban una rápida evolución en su número, en contraposición a lo que se esperaba. Nuestro trabajo fue el primero en utilizar datos de un nuevo

observatorio espacial de rayos X, ROSAT, lanzado en 1990, para investigar la evolución de la abundancia de cúmulos. Encontramos una evolución en su número inconsistente con las predicciones, en las que sólo se tiene en cuenta la gravitación y resaltamos la necesidad de entender el comportamiento del gas para poder utilizar los cúmulos en el estudio del universo.

*Desde que ese artículo se publicó, ¿ha habido avances significativos en esa área específica?*

Desde que nuestro artículo se publicó, este tema ha experimentado grandes avances. Por una parte, el satélite ROSAT continuó obteniendo datos y en años posteriores se pudieron analizar muchas más observaciones y ampliar el número de cúmulos estudiados.

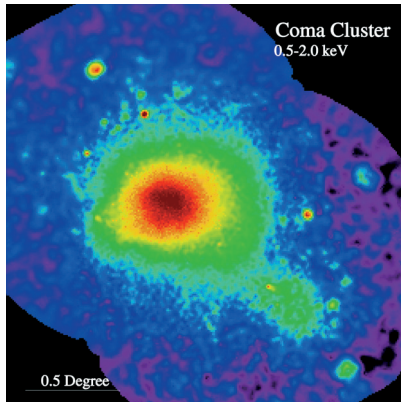


Figura 1. Imagen en falso color de la emisión en rayos X del gas cúmulo de galaxias de Coma.

Después, en 1999, se lanzaron dos nuevos observatorios de rayos X, XMM-Newton y Chandra, que hasta la fecha están aportando datos de alta calidad que nos permiten estudiar en detalle los cúmulos de galaxias y la evolución de su población. Además, otras medidas cosmológicas, como la radiación cósmica de fondo, las supernovas y el agrupamiento de galaxias, nos permiten conocer de manera bastante precisa la composición del universo y su geometría.

*¿Cuáles son los problemas fundamentales en la actualidad en ese campo de la Astrofísica y qué descubrimientos se esperan realizar en los próximos años?*

Hoy en día sabemos que nuestro universo está compuesto aproximadamente por un 5% de materia ordinaria, un 20% de materia oscura y un 75% de energía oscura, que hace que la expansión del universo se esté acelerando. El entender la materia y la energía oscuras es uno de los retos de la cosmología actual.

Durante estos años se están diseñando grandes proyectos para estudiar este problema con diferentes

técnicas observacionales. Una de ellas es el estudio de los cúmulos de galaxias. Estos se estudiarán con imágenes en el rango óptico, con estudios del gas caliente en radio y en rayos X. En particular, en rayos X está previsto el lanzamiento de un nuevo satélite que podrá estudiar con más detalle la evolución de los cúmulos de galaxias.

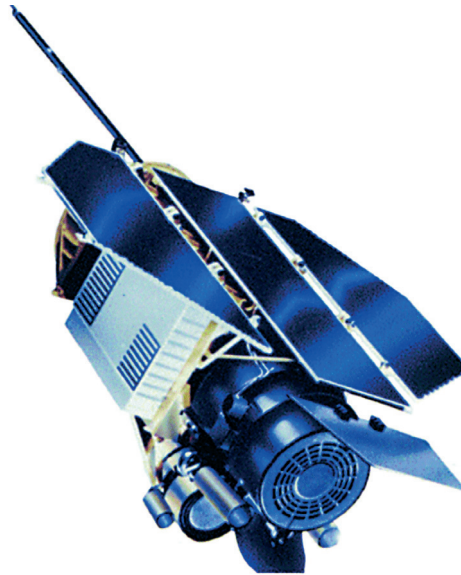
*¿Ha tenido alguna influencia sobre tu carrera profesional?, ¿has continuado en esa línea y te ha abierto nuevos campos o posteriormente te dedicaste a otros temas?*

Supongo que la publicación de este artículo al final de mi tesis me permitió obtener los contratos postdoctorales, especialmente el primero, para poder seguir dedicándome a la investigación. Desde entonces, además de los cúmulos de galaxias, he trabajado en otros temas diversos como la evolución de las galaxias, las lentes gravitatorias, la radiación de fondo de rayos X, los estallidos de rayos gamma; pero siempre con el horizonte común de entender la estructura del universo y su evolución. Ahora estoy involucrado en grandes

proyectos observacionales en cosmología para estudiar la materia oscura y la energía oscura, utilizando varias técnicas, entre ellas la relativa a los cúmulos de galaxias.

*¿Tienes alguna anécdota relacionada con la gestación y publicación de este artículo y que consideres adecuado contar?*

El artículo lo escribimos durante mi último año de doctorado en Cambridge. Pero durante la fase de revisión externa, estaba haciendo el servicio militar obligatorio. Cuando no tenía que estar en el cuartel, iba a trabajar al LAEFF (Laboratorio de Astrofísica Espacial y Física Fundamental), al cual siempre he agradecido su hospitalidad, para poder retocar y modificar el artículo.



*Figura 2. ROSAT, acrónimo de Röntgen Satellite. Esta misión espacial supuso un avance sustancial en nuestro conocimiento del cielo en rayos X.*

*DEFICIT OF DISTANT X-RAY-EMITTING GALAXY CLUSTERS  
AND IMPLICATIONS FOR CLUSTER EVOLUTION*

*E.J. CASTANDER, R.G. BOWER, R.S. ELLIS, A. ARAGÓN-*

*SALAMANCA Y 7 COAUTORES*

*1995, NATURE, 377, 39*







### *¿Cuál era el problema al que os enfrentasteis?*

Probar la existencia de enanas marrones, objetos a mitad de camino entre las estrellas y los planetas gigantes. Con el mismo tamaño que Júpiter según la teoría, serían entre unas 10 y 70 veces más densos que este planeta.

Desde los años 60 se especulaba sobre la existencia de estos objetos, había algunos buenos candidatos pero no había ninguno concluyente. Sabíamos que si las enanas marrones fueran muy numerosas en la Galaxia podían contribuir a resolver el problema de la materia oscura.

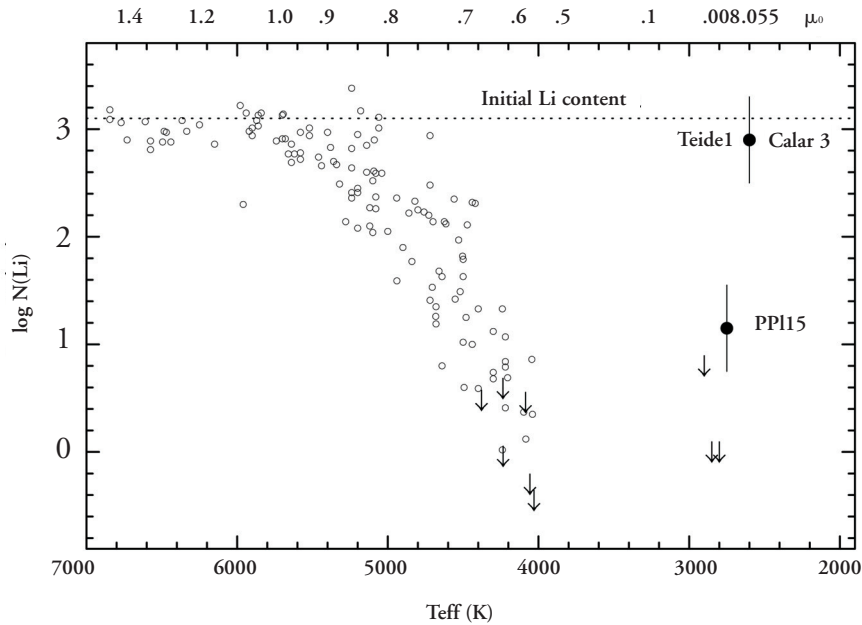
Esto era una de las motivaciones para su búsqueda, aparte de que cabía esperar que tuviesen características atmosféricas no muy diferentes a los planetas gigantes y por tanto su detección podía guiarnos hacia la

detección directa de exoplanetas en una época en que tampoco sabíamos si éstos existirían.

### *¿Cuál fue la solución a ese problema y la contribución que ese artículo hizo al campo de trabajo en el que se enmarca?*

El artículo en *Nature* mostró la existencia de enanas marrones en el cúmulo estelar de las Pléyades, una región donde se habían realizado muchas búsquedas previas pero sin alcanzar a objetos de una luminosidad y temperatura superficial suficientemente bajas como para concluir que se había cruzado el límite de la quema de hidrógeno, la frontera que separa estrellas de enanas marrones. La mayor parte de estas búsquedas se realizaron con filtros V e I, nosotros decidimos hacerla con filtros R e I,

basados en lo que esperábamos como posible distribución espectral de flujo de enanas marrones masivas en el cúmulo. El primer objeto que encontramos con características propias de una enana marrón, que recibió el nombre de Teide Pléyades 1, tenía una distribución espectral compatible con un tipo espectral M8, y un movimiento propio consistente con el de las estrellas de las Pléyades. Usando modelos de evolución subestelar, concluimos que sus características solo se podían entender si se trataba de un objeto de menos de 65 veces la masa de Júpiter, es decir, de una enana marrón. En base a la estadística que pudimos hacer, ya afirmábamos en ese trabajo que en el cúmulo de las Pléyades podría haber centenares de estos objetos y en la Galaxia miles de millones.



*Figura 1. Las enanas marrones de las Pléyades Teide 1 y Calar 3 (descubierta pocos meses después) han preservado su contenido inicial de litio. Cada símbolo muestra la abundancia de litio de un objeto (en una escala logarítmica) frente a la temperatura de su atmósfera. Se aprecia cómo las estrellas del cúmulo de las Pléyades con masa inferior a la del Sol han destruido su litio en tanta mayor cantidad cuanto menor es su masa. Esta destrucción es resultado de la colisión de los núcleos de litio con protones a muy alta temperatura en los interiores estelares y puede ser drástica en las estrellas de menor masa. Sin embargo, se esperaba que las enanas marrones del cúmulo tuviesen un comportamiento muy distinto ya que no debían alcanzar la temperatura necesaria para que dichas colisiones rompiesen los núcleos de litio. Las observaciones espectroscópicas realizadas con el telescopio Keck en noviembre de 1995 pusieron de manifiesto que tanto Teide 1 como Calar 3, los objetos menos luminosos encontrados hasta esa fecha en las Pléyades, verificaban lo esperado para auténticas enanas marrones.*

*Desde que ese artículo se publicó, ¿ha habido avances significativos en esa área específica?*

Avances enormes. Unos meses después se publicó en *Nature* la detección de la siguiente enana marrón que se identificó como Gl 229 B, en este caso el primer objeto de este tipo alrededor de una estrella. Nuestro grupo identificó otros objetos similares a Teide 1 en las Pléyades. Al año siguiente ya teníamos una indicación de la función de masas en el cúmulo que efectivamente apuntaba a centenares de estos objetos en las Pléyades: hoy conocemos ya varias decenas y se siguen descubriendo más. La función de masas para enanas marrones se ha determinado hoy en muchos cúmulos y en la vecindad solar. La evidencia sobre la existencia de miles de millones de enanas marrones en la Galaxia es contundente, incluso podrían ser tan numerosas como las estrellas.

Nuestro grupo fue líder en el descubrimiento de enanas marrones cada vez de menor masa, detectando los primeros objetos de masa planetaria que flotan libremente en

cúmulos estelares como el de la estrella sigma de Orión. También descubrimos la segunda enana marrón en órbita alrededor de una estrella, G 196-3B (publicado en *Science* en 1998). Con unas 25 veces la masa de Júpiter, era en ese momento el objeto subestelar menos masivo que se conocía.

*¿Cuáles son los problemas fundamentales en la actualidad en ese campo de la Astrofísica y qué descubrimientos se esperan realizar en los próximos años?*

Establecer hasta donde se extiende la función de masas en el dominio subestelar, es decir cuáles son las masas de los objetos más pequeños que resultan del proceso de fragmentación de las nubes de material interestelar. En otras palabras, ¿hay *superjúpiter*s flotando libremente en el espacio interestelar?

Otro problema de gran interés es detectar enanas marrones de baja temperatura, deben existir cientos en la vecindad solar con temperaturas atmosféricas entre 500 y 300 grados kelvin. Todavía no las hemos descubierto. Es un reto

extraordinario detectar estos objetos, aprenderemos mucho sobre atmósferas en un dominio muy poco explorado que solapa con el de las temperaturas de planetas como Venus y la Tierra.

*¿Ha tenido alguna influencia sobre tu carrera profesional?, ¿has continuado en esa línea y te ha abierto nuevos campos o posteriormente te dedicaste a otros temas?*

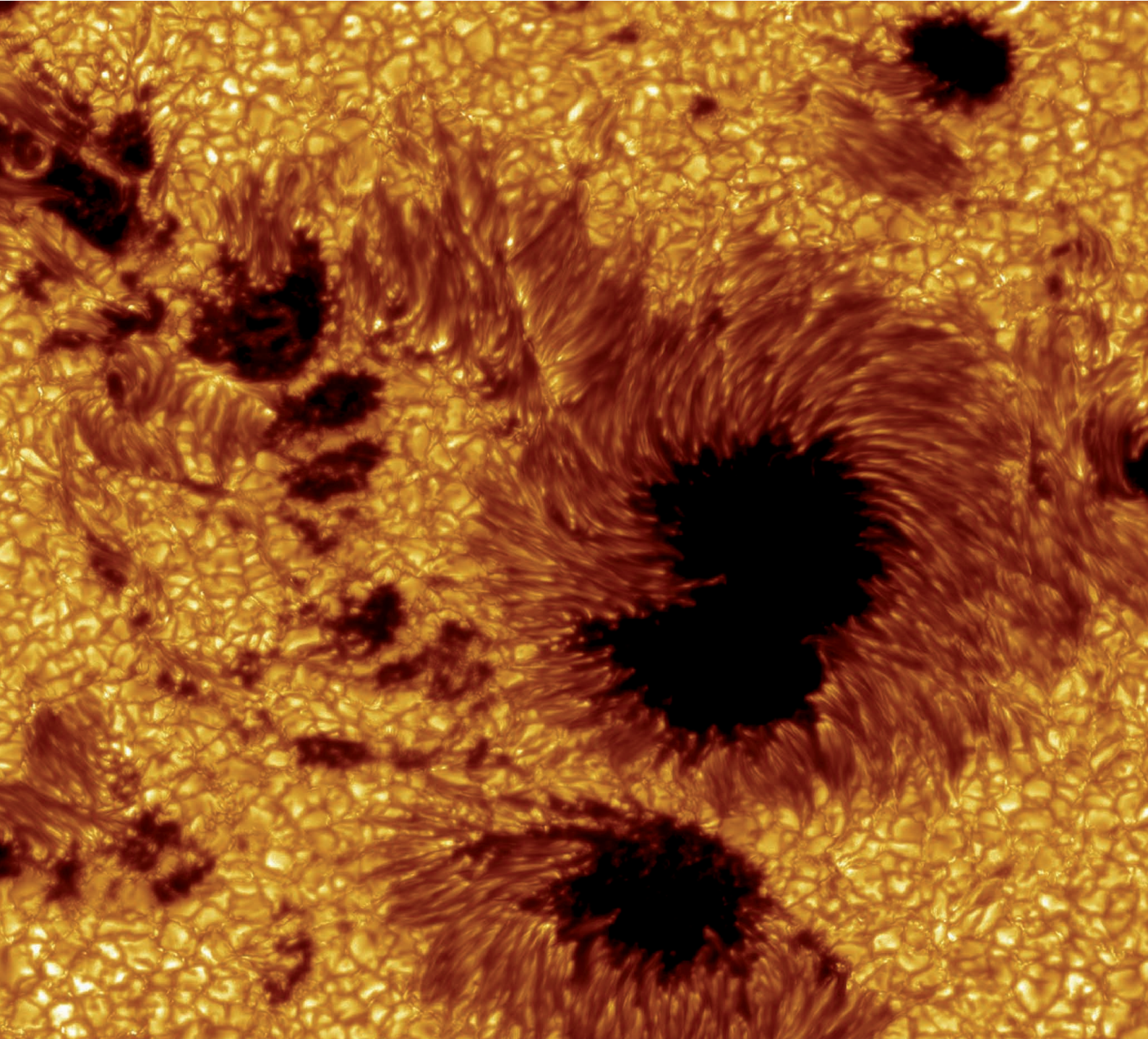
Sí, mucha. Este trabajo fue determinante en la formación de un grupo de investigación sobre enanas marrones en el IAC. Ese grupo ha producido decenas de artículos de investigación que acumulan miles de citas en total y sigue siendo muy activo. Me enorgullece que sus miembros sean referentes internacionales. En los últimos años vamos encaminando progresivamente la investigación hacia el ámbito de los exoplanetas con el objetivo de detectar planetas de tipo terrestre alrededor de otras estrellas.

*¿Tienes alguna anécdota relacionada con la gestación y publicación de este artículo y que consideres adecuado contar?*

Descubrimos el objeto con el telescopio de 80 centímetros de diámetro IAC80 a principios de 1994. A finales de 1994 pudimos obtener el espectro que confirmó su naturaleza con el telescopio de 4,2 metros de diámetro William Herschel. Enviamos a publicar el artículo a *Nature* en mayo de 1995 y nos costó varios meses convencer a los árbitros de que habíamos descubierto una nueva clase de objetos. Finalmente fue publicado el 14 de septiembre de 1995. *Nature* tituló en portada “*Brown dwarfs exist official*”.

DISCOVERY OF A BROWN DWARF IN THE PLEIADES STAR CLUSTER

R. REBOLO, M.R. ZAPATERO-OSORIO Y E.L. MARTÍN  
1995, *NATURE*, 377, 129





### *¿Cuál era el problema al que os enfrentasteis?*

Entender la manifestación del campo magnético del interior del Sol sobre su superficie era, y sigue siendo, un gran reto. Lo que se conoce desde la China antigua y que venimos llamando “manchas” solares es un enigma que nos llevó a plantear incluso lo que entendíamos como el concepto de “medir” en física. Son tantos los fenómenos que interaccionan (plasma, movimientos de convección, campo magnético con una gran riqueza de estructuras y todo ello con velocidades supersónicas de las que se desconoce su origen e incluso su dirección) que es imposible estudiar uno sin comprender el todo. Con unas excelentes observaciones de manchas que aportaban una gran cantidad de información nos planteamos ir un paso más allá de los métodos tradicionales.

La compleja estructura externa y filamentosa de la mancha, llamada penumbra, fue la zona donde estos fenómenos convergen y en la cual obtuvimos resultados nuevos.

### *¿Cuál fue la solución a ese problema y la contribución que ese artículo hizo al campo de trabajo en el que se enmarca?*

El resultado de la tesis y el trabajo posterior de Basilio Ruiz Cobo habían dado origen a un código informático que hoy en día es un clásico que se usa en todo el mundo. Tuve la gran suerte de poder aplicar este código a las observaciones que se trajo Valentín Martínez Pillet de EE.UU., y bajo la enérgica e inspiradora mano de Jose Carlos del Toro Iniesta, obtuvimos la primera visión en profundidad de una mancha solar en todo su esplendor. Revelaba la complejidad del campo

magnético sobrevolando la superficie solar, junto con unas velocidades que indicaban que seguían al campo magnético y se volvían a sumergir en el interior solar. Era algo esperado pero que nadie había podido deducir de las observaciones hasta entonces.

### *Desde que ese artículo se publicó, ¿ha habido avances significativos en esa área específica?*

Consultando a los expertos Basilio y Valentín, me confirman que el estudio de las penumbras de las manchas solares ha suscitado un enorme interés en los últimos años. Fue propiciado inicialmente por el descubrimiento en el 2002, a partir de observaciones en la nueva Torre Solar Sueca de que los filamentos penumbrales brillantes presentaban un oscurecimiento central (el llamado *dark-core* o núcleo oscuro). Numerosos grupos atacaron el

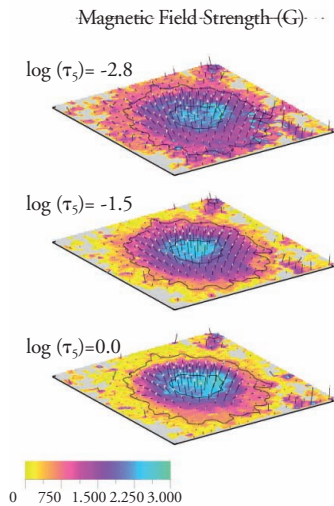


Figura 1. Intensidad del campo magnético, en código de color, para tres capas de la fotosfera de una mancha solar, desde la más profunda (abajo) a la más superficial. Las flechas indican el vector campo magnético (intensidad, ángulo cenital y azimut) en puntos equiespaciados. En líneas oscuras se muestran los límites de la umbra/penumbra y de la mancha con el Sol en calma circundante.

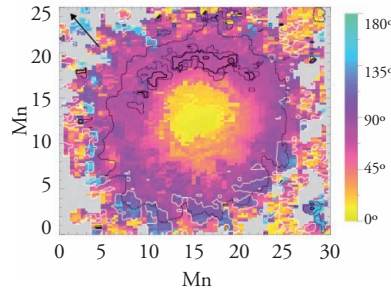


Figura 2. Mapa de la inclinación del campo magnético en una mancha típica objeto de nuestro estudio (en código de color), cerca del centro del disco (dirección marcada por la flecha). Las líneas de contorno continuas son las velocidades (en negro hacia el observador, en blanco se alejan). Se puede ver cómo se detectan velocidades que se alejan antes de que acabe la mancha (línea punteada) y donde el campo es horizontal o incluso se vuelve a meter (presenta más de 90 grados con la horizontal).

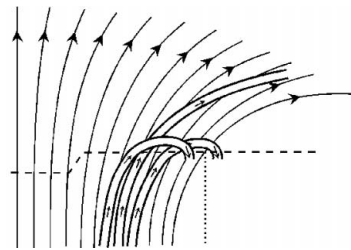


Figura 3. Representación esquemática de la estructura sugerida de la penumbra y del flujo de velocidades que constituye el efecto Evershed.

problema de encontrar la explicación física de este fenómeno, íntimamente ligado a la de la propia estructura de estos filamentos y del campo de velocidades que viene a constituir lo que se conoce como *flujo Evershed* (llamado así en alusión a su descubridor en 1909). Finalmente han persistido dos escenarios posibles: el “despeinado” (*uncombed*) en el que el flujo Evershed se produce a través de tubos más horizontales y con menos campo embebidos en un campo de fondo mas vertical e intenso y el “ahuecado” (*gappy*) en el cual los filamentos brillantes serían la contrapartida observacional de penetraciones convectivas en la penumbra. Ambos parecen capaces de explicar parcialmente las propiedades observacionales. El modelo despeinado parece concordar mejor con los resultados de las inversiones espectropolarimétricas, con la presencia de polarización circular neta no nula y con el flujo Evershed. El ahuecado parece explicar más fácilmente el brillo de la penumbra. Adicionalmente el estudio de los campos magnéticos en el foso (la región que rodea las manchas) y las velocidades del plasma en esas

zonas han confirmado los hallazgos de nuestro artículo en el sentido de que se observan movimientos del material en estructuras serpenteantes que no son otra cosa que la prolongación de los filamentos penumbrales.

*¿Cuáles son los problemas fundamentales en la actualidad en ese campo de la Astrofísica y que descubrimientos se esperan realizar en los próximos años?*

Los problemas fundamentales en el campo siguen siendo la dilucidación precisa de la estructura de los filamentos penumbrales y su relación tanto con el flujo Evershed como con el brillo de la penumbra. Además está la explicación de las MMF (*moving magnetic features* o características magnéticas en movimiento) y su relación con la penumbra y con los mecanismos de eliminación del flujo magnético de la mancha. También falta la explicación de la estructura y dinámica de los puntos umbrales y de los *umbral flashes*. Y, por supuesto, la comprensión de la contribución de las manchas al *mecanismo dinamo* (oscilación del campo magnético del Sol).

*¿Ha tenido alguna influencia sobre tu carrera profesional?, ¿has continuado en esa línea y te ha abierto nuevos campos o posteriormente te dedicaste a otros temas?*

Me hizo ver cómo el esfuerzo de un gran equipo bien equilibrado puede tener su recompensa, además de que en Ciencia no sólo hay que ser bueno, sino también parecerlo. Lamentablemente para ello hay que pasar por publicar en revistas donde el interés científico no es lo primero, ya que me confirman que en la citada ahora (*Nature*) no parece interesarles la Física Solar, al ser bajo el número de reseñas que les aporta. Sigue siendo un gran trabajo adicional llegar al público, al cual sin duda deberíamos dedicar más recursos humanos y económicos, ya que es parte consustancial a nuestra tarea. También hizo más difícil la decisión, que había tomado antes de terminar la tesis, de orientar mi carrera profesional a otra de mis pasiones, la informática. Trabajar cerca de las personas que lo hicieron posible y saber que todavía se sigue citando el trabajo en congresos internacionales y que varios colegas lo están continuando es una gran satisfacción.

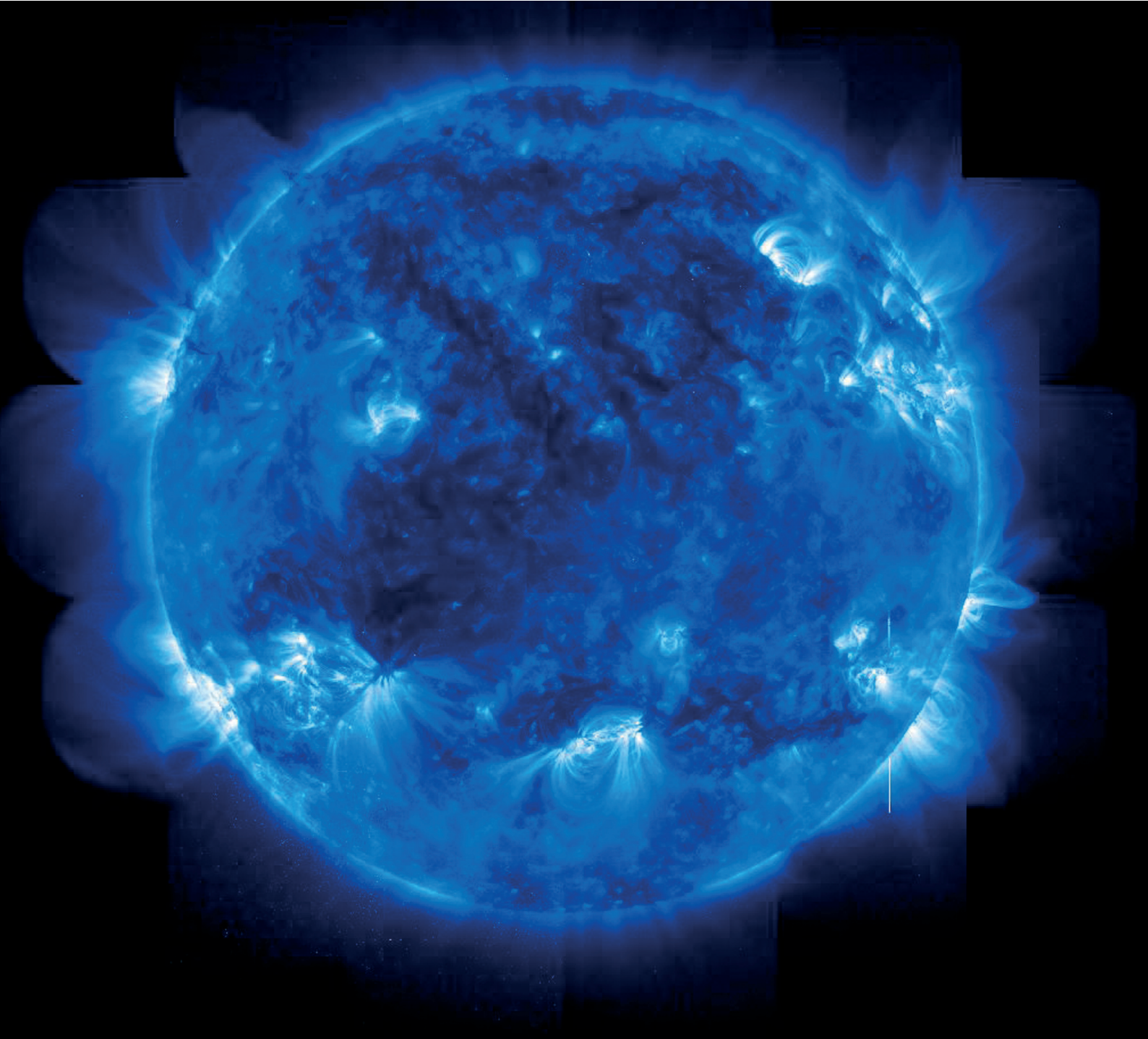
*¿Tienes alguna anécdota relacionada con la gestación y publicación de este artículo y que consideres adecuado contar?*

Aunque los mismos resultados eran conocidos por la comunidad científica internacional, fue a raíz de este artículo cuando nos contactaron todos los medios de comunicación. Al recibir a alguno tuve que responder ante una cámara de televisión y micrófono en mano a la pregunta de "...pero, ¿usted realmente qué ha descubierto?". Intentar explicar todo la labor detrás de un proceso de varios años, sobre todo teniendo en cuenta no sólo aquellos en los que yo participé, sino el trabajo anterior sobre el que este resultado se construyó, fue un reto realmente difícil. Realmente más que un "descubrimiento", si realmente significó algún hito, y parece que el tiempo así lo está demostrando, lo importante es que representa el éxito de un trabajo en equipo bien hecho.

EVIDENCE FOR A DOWNWARD MASS FLUX IN THE  
PENUMBRAL REGION OF A SUNSPOT

C. WESTENDORF, J.C. DEL TORO INIESTA, B. RUIZ COBO,  
V. MARTÍNEZ PILLET, B.W. LITES Y A. SKUMANISH  
1997, NATURE, 389, 47







### *¿Cuál era el problema al que os enfrentasteis?*

En 1909 el astrónomo inglés John Evershed (1864-1956), que entonces trabajaba en el observatorio solar de Kodaikanal, en India, descubrió que las líneas espectrales originadas en los filamentos de la penumbra de las manchas solares no se encontraban en sus posiciones de reposo, sino que mostraban un desplazamiento Doppler.

Los desplazamientos de las líneas espectrales con respecto a sus posiciones nominales indican que el material que las origina se está moviendo hacia nosotros si el desplazamiento es hacia el azul, o alejándose de nosotros si el desplazamiento es hacia el rojo. Este fenómeno, observado en los filamentos, se denominó “efecto Evershed” y fue interpretado como un

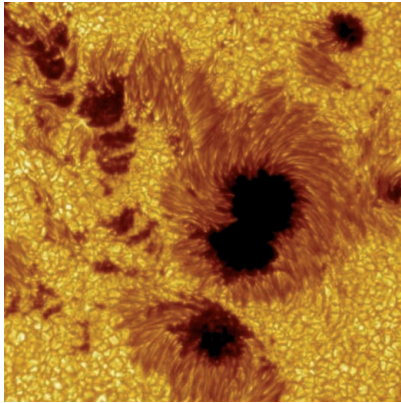
flujo de materia en la penumbra de las manchas solares desde las partes más cercanas a la umbra de la mancha (la parte más oscura) hacia el exterior; este flujo se llama “flujo Evershed”.

A comienzo de la década de los 90 no existía una explicación satisfactoria a este fenómeno, y después de unos trabajos preparatorios, John H. Thomas y yo decidimos intentar proponer un modelo plausible que explicara las características observadas del fenómeno y predijera otras.

### *¿Cuál fue la solución a ese problema y la contribución que ese artículo hizo al campo de trabajo en el que se enmarca?*

La solución al problema se encuentra dentro de lo que se conoce como “flujos de sifón” en tubos magnéticos delgados. Básicamente, el modelo consiste en suponer que los filamentos

de la penumbra de una mancha solar actúan como tubos magnéticos que canalizan flujos de gas. Si en uno de los pies del tubo existe una presión más pequeña que en el otro, el gas fluirá desde las regiones con más presión a las de menos presión, de una forma similar a cuando queremos vaciar un recipiente de líquido con un tubo delgado y para iniciar el vaciado aspiramos por un extremo mientras el otro está sumergido en el líquido. Esta explicación, que cualitativamente parece lógica y sencilla, es extremadamente intrincada de tratar desde el punto de vista del modelado numérico, ya que exige el simular qué tipo de fenómenos, tensiones, presiones, etc., sufre un tubo de flujo (el filamento penumbral) sumergido en una atmósfera magnetizada (el campo magnético de la mancha). Nuestro trabajo fue el primero que



*Figura 1. Manchas solares mostrando la umbra y los filamentos penumbrales bien diferenciados con respecto a la granulación fotosférica. Cortesía de la Real Academia de Ciencias de Suecia.*

logró explicar con éxito muchas de las características (velocidades, densidades, campos magnéticos, longitudes, formas y alturas de los tubos) del flujo Evershed.

### *Desde que este artículo se publicó, ¿ha habido avances significativos en esa área específica?*

En la última década se han producido avances observacionales sustanciales que están contribuyendo a conocer mejor este fenómeno. Uno de los retos fundamentales que presentan las observaciones solares es el poder conseguir la mejor resolución posible, es decir, intentar discriminar las propiedades de un fenómeno dado en elementos de superficie cada vez más pequeños. Muy recientemente se han obtenido observaciones del efecto Evershed con una resolución de 0,2 segundos de arco utilizando la Torre Solar de la Real Academia de Ciencias de Suecia, en el observatorio del Roque de los Muchachos, y el observatorio espacial japonés Hinode ha proporcionado datos acerca de la estructura a pequeña escala de este flujo de materia. Desde el punto de vista teórico se han producido avances

en la interpretación de las variaciones temporales del efecto Evershed: nuestro modelo es estacionario, es decir, no incluye dependencia temporal en las ecuaciones que describen el fenómeno y en los años siguientes a la publicación del artículo en *Nature* aparecieron varias interpretaciones para intentar reproducir las escalas de tiempo observadas en el comportamiento de los flujos.

### *¿Cuáles son los problemas fundamentales en la actualidad en ese campo de la Astrofísica y qué descubrimientos se esperan realizar en los próximos años?*

A pesar de ser la estrella más cercana a nosotros —o precisamente por eso— hay muchos fenómenos, no sólo en las manchas solares sino globalmente en todo el Sol, que necesitan un modelado teórico que es aún incompleto. Por otro lado, las observaciones son cada vez de mejor calidad y eso ayuda a poner fuertes ligaduras a los desarrollos teóricos.

En el campo específico de las manchas, la heliosismología (estudio de las oscilaciones solares)

proporcionará datos de su estructura por debajo de la fotosfera y eso ayudará a comprender mejor el complejo balance de energía.

En lo que se refiere al Sol considerado globalmente, creo que hay dos problemas intrincados y difíciles, pero en los que poco a poco se van haciendo avances sobre los modelos ya establecidos; uno de ellos es el calentamiento coronal y otro el origen de los ciclos solares. El hecho de que en ambos casos los modelos hayan de ser tridimensionales e incluir complejos formalismos magnetohidrodinámicos y física no lineal hace que sean problemas realmente duros de atacar.

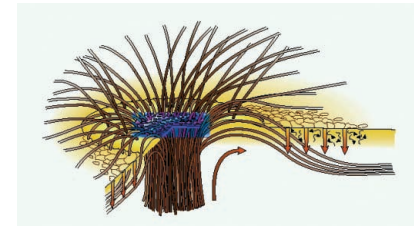
*¿Ha tenido alguna influencia sobre tu carrera profesional? Es decir, ¿has continuado en esa línea y te ha abierto nuevos campos o posteriormente te dedicaste a otros temas?*

Todo el trabajo que realicé en este campo junto al profesor Thomas ha sido muy importante para mi carrera profesional. Me abrió un área de investigación nueva y aprendí mucho, tanto en el campo teórico como en el

del cálculo numérico asociado a la solución de este problema. Después de la publicación del artículo en *Nature*, que realmente cerraba para nosotros un problema, no he continuado trabajando en ese tema específico, pero sí en un área dentro de la “conexión solar-estelar” como es el modelado de los ciclos de actividad, similares al ciclo solar de 11 años, que se han descubierto en las últimas cuatro décadas en unas 30 estrellas de tipo solar. Actualmente casi toda mi investigación está centrada en la física de estrellas jóvenes (entre 1-10 millones de años) con discos protoplanetarios.

*¿Tienes alguna anécdota relacionada con la gestación y publicación de este artículo y que consideres adecuado contar?*

Comencé a investigar en esta área de trabajo por pura casualidad. En 1988 yo trabajaba en otros temas con un contrato postdoctoral en el Departamento de Física de la Universidad de Oxford. Ese año llegó a nuestro grupo John H. Thomas (Jack), profesor de la Universidad de Rochester (Nueva York), para una



*Figura 2. Un esquema de la estructura filamentaria de una mancha solar. La umbra se modela en forma de un haz de tubos magnéticos delgados y los filamentos penumbrales son prolongaciones de esos tubos que emergen sobre la fotosfera. El flujo Evershed se canalizaría a través de esos filamentos delgados.*

## Astronomía made in Spain

estancia sabática. Charlando un día, comenzamos a realizar unos cálculos sencillos acerca del comportamiento de flujos de materia en tubos magnéticos delgados.

Así comenzó una colaboración que dura hasta hoy. Los cálculos sencillos de 1988 se fueron complicando cada vez más y culminaron en 1997 con la publicación del artículo en *Nature*. Como puede verse, la gestación duró casi 10 años. Me sorprendió que pudiéramos publicar en *Nature* un trabajo que, aunque se contrastaba con observaciones, era eminentemente teórico. En cualquier caso, daba una

respuesta satisfactoria a un problema que había estado sin resolver durante 90 años y quizás eso tuvo su peso a la hora de que el artículo fuera aceptado.

Desde el comienzo de la colaboración con Jack se fraguó una amistad, con él y su familia, que para mí es tan importante como la interacción científica. He estado varias veces en Rochester y siempre he encontrado la hospitalidad en casa de los Thomas. Con ellos fui por primera vez a las cataratas del Niágara, a comprar productos a los *amish* en granjas al norte del estado de Nueva York, y aprendí a navegar

en un pequeño velero y a hacer esquí acuático en el lago Keuka. Jack y su mujer también han estado en España y no olvidaré su asombro al ver la Alhambra, el Alcázar de Sevilla, la Mezquita de Córdoba... y obviamente, las procesiones de Semana Santa durante un viaje que hicimos en 1993 por Andalucía.

---

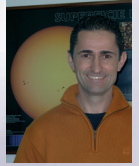
*THE EVERSHED EFFECT IN SUNSPOTS AS A SIPHON FLOW*

*ALONG A MAGNETIC FLUX TUBE*

*B. MONTESINOS Y J.H. THOMAS*

*1997, NATURE, 390, 485*

Ramón Oliver Herrero  
Departament de Física  
Universitat de les Illes Balears  
(Palma de Mallorca)



### *¿Cuál era el problema al que os enfrentasteis?*

Las fulguraciones son fenómenos explosivos que se producen en la atmósfera del Sol y que liberan energía y partículas que se propagan por el medio interplanetario. Las partículas eyectadas en fulguraciones muy energéticas alcanzan la Tierra, produciendo auroras boreales y provocando daños a los equipos electrónicos de los satélites en órbita alrededor de la Tierra. Entre 1980 y 1984, el satélite Solar Maximum Mission observó que el número de fulguraciones de alta energía sufría un incremento cada cinco meses, desconociéndose el mecanismo desencadenante de dicho incremento periódico. Asimismo, dicha periodicidad aparecía en el máximo del ciclo de actividad solar (ciclo de 11 años de duración a lo largo del

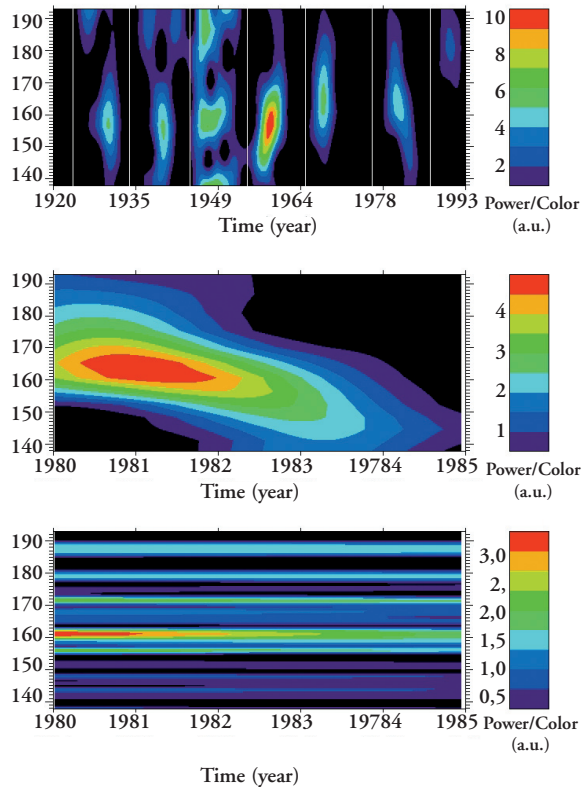
cual diferentes fenómenos como las manchas solares o las fulguraciones oscilan en número). Por tanto, el problema era ¿por qué las fulguraciones de alta energía presentaban esta periodicidad? ¿por qué la periodicidad coincidía con el máximo de la actividad solar?

### *¿Cuál fue la solución a ese problema y la contribución que ese artículo hizo al campo de trabajo en el que se enmarca?*

Un estudio previo sobre el comportamiento de las áreas de las manchas solares realizado por nuestro grupo concluyó que presentaban también una periodicidad de cinco meses. El área de las manchas está relacionada directamente con la cantidad de flujo magnético que, proveniente del interior solar, emerge a través de la superficie.

Probablemente la causa de la periodicidad en las fulguraciones tenía que ser una emergencia periódica de flujo magnético que, reconectado con el ya existente, provocaba el incremento del número de fulguraciones.

Usando *wavelets*, que permiten determinar exactamente cuándo y con qué periodo se produce un fenómeno, comprobamos de forma inequívoca que durante 1980-1984 existió simultáneamente la misma periodicidad en las áreas de las manchas. Este trabajo significó la primera explicación a por qué se producía la periodicidad, dejando abierto el problema de por qué el flujo magnético emergía de forma periódica alrededor del máximo de actividad solar.



*Figura 1. Análisis mediante wavelets de la serie temporal de áreas de manchas solares. En el eje horizontal se muestra el año y en el vertical el periodo en días. Una periodicidad intensa en un determinado instante de tiempo se presenta como una mancha de color rojo en el año y periodo correspondientes. Panel superior: Las líneas blancas verticales indican las épocas de mínimo de actividad solar. La periodicidad de 160 días aparece de forma significativa alrededor de los máximos de los ciclos 16 a 21. Panel intermedio: Ampliación del período 1980-1985 mostrando el intervalo temporal, alrededor del máximo del ciclo 21, en el que se manifiesta la periodicidad. Panel inferior: Determinación precisa del periodo.*

*Desde que este artículo se publicó, ¿ha habido avances significativos en esa área específica?*

Posteriormente a la publicación, analizamos los datos disponibles de flujo magnético fotosférico y comprobamos la exacta correlación entre los impulsos periódicos de flujo magnético y de las fulguraciones, mostrando de forma inequívoca su interrelación. Asimismo, la periodicidad ha sido también detectada, con mayor o menor intensidad, alrededor de algunos de los máximos de los siguientes ciclos de actividad solar. Algunas explicaciones teóricas sobre por qué el flujo magnético emerge de forma periódica han sido también propuestas pero no son demasiado convincentes.

*¿Cuáles son los problemas fundamentales en la actualidad en ese campo de la Astrofísica y qué descubrimientos se esperan realizar en los próximos años?*

El problema fundamental es llegar a obtener una perfecta comprensión de cómo emerge el flujo magnético. Hoy en día, y gracias a la disponibilidad de

supercomputadores, códigos numéricos y herramientas de visualización, se realizan simulaciones numéricas altamente sofisticadas tratando de entender el proceso de emergencia desde la zona de convección hasta la corona.

*¿Ha tenido alguna influencia sobre tu carrera profesional? Es decir, ¿has continuado en esa línea y te ha abierto nuevos campos o posteriormente te dedicaste a otros temas?*

Posteriormente a la publicación del artículo hemos continuado en esa línea, compartiéndola con otras, y recientemente hemos obtenido resultados teóricos que permiten explicar la emergencia periódica de flujo magnético desde la tacoclina (capa muy delgada del interior del Sol que parece estar directamente relacionada con la generación del campo magnético que emerge a través de la fotosfera) y por qué dicha emergencia se manifiesta de forma intensa alrededor del máximo de la actividad solar.

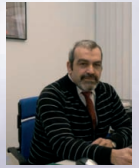
*¿Tienes alguna anécdota relacionada con la gestación y publicación de este artículo y que consideres adecuado contar?*

La hipótesis de trabajo fue formulada alrededor de 1990, pero la falta o el desconocimiento de una técnica adecuada, los *wavelets*, nos impidió poner a prueba la veracidad de la hipótesis. Finalmente, en 1998 pudimos disponer de un programa de análisis basado en *wavelets* que nos permitió confirmar la hipótesis. Creemos, asimismo, que fue una de las primeras aplicaciones del análisis de *wavelets* a un problema de física solar.

EMERGENCE OF MAGNETIC FLUX ON THE SUN AS THE  
CAUSE OF A 158-DAY PERIODICITY IN SUNSPOT AREAS  
R. OLIVER, J.L. BALLESTER Y F. BAUDIN  
1998, NATURE, 394, 552







### *¿Cuál era el problema al que os enfrentasteis?*

La interpretación de los mecanismos de formación de estrellas en nubes moleculares gigantes era una de mis líneas de trabajo cuando publicamos el primer artículo en *Science*. Hasta ese momento era difícil realizar un estudio detallado ya que la mayor parte de la información sobre las condiciones físicas del gas se había obtenido en los dominios radio y milimétrico. La llegada del satélite Infrared Space Observatory (ISO) nos permitió analizar la emisión de las líneas de estructura fina de los átomos de carbono y oxígeno y también obtener datos sobre la emisión de los granos de polvo y su distribución en una región como la Trífida. La elección de la fuente a estudiar fue motivada por su tamaño, muy adecuado a la

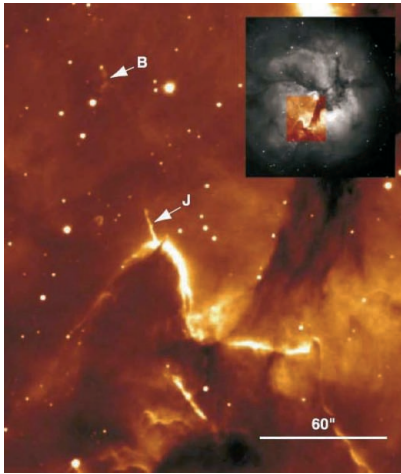
resolución angular que proporcionaban los instrumentos embarcados en el satélite ISO. El segundo problema, íntimamente ligado al primero, era cómo poder acceder a las regiones más internas de las zonas de formación estelar. Los resultados dieron lugar a los artículos que publicamos en *Science*.

### *¿Cuál fue la solución a ese problema y la contribución que ese artículo hizo al campo de trabajo en el que se enmarca?*

Nuestra sorpresa al estudiar la región de la Trífida fue ver que había una gran cantidad de objetos jóvenes en la frontera entre la región ionizada y el gas neutro, lo que los astrónomos llamamos la región de fotodisociación. Los datos que poseíamos indicaban que probablemente había una segunda

y tercera generación de estrellas menos masivas, lo que motivó el título del artículo “¿Formación inducida de estrellas en la nebulosa de la Trífida?”. La luz ultravioleta de la estrella central ha fotoevaporado las capas más externas de las nubes que la rodean (los brazos de la Trífida) induciendo un fuerte gradiente de presión y densidad y un segundo episodio de formación de estrellas menos masivas que pueblan todas las zonas oscuras de la nebulosa.

Con respecto al segundo artículo nos percatamos de que las bandas de hielos de los granos dejaban unas zonas, ventanas, del espectro con menor absorción. Observamos con ISO y el instrumento ISOCAM uno de los prototipos de objetos con estrellas jóvenes embebidas y pudimos ver directamente los objetos más jóvenes a través de esas



*Figura 1. Imagen de la región sudeste de la nebulosa Trífida obtenida con un filtro que permite observar la emisión causada por átomos de azufre una vez ionizados. La observación se realizó con el Nordic Optical Telescope (NOT) en el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma). Marcado con la letra J vemos el jet que emerge de la parte superior del glóbulo. La región marcada con la letra B indica un frente de choque causado por el jet. Arriba a la derecha se muestra un mosaico de imágenes en H $\alpha$  obtenidas con el telescopio IAC80 en el Observatorio del Teide (Tenerife). El mosaico cubre la totalidad de la nebulosa y en él se muestra en color el área observada con el NOT.*

“ventanas”. El título del artículo fue “Ventanas a través de las envolturas polvorrientas de estrellas jóvenes”. La conclusión a la que llegamos, después corroborada por datos del satélite Spitzer, era que incluso en objetos con absorciones visuales de más de 100 magnitudes era posible observar las capas más internas debido a la variación espectral de la absorción con la longitud de onda. Dedujimos un tamaño de 3-4 Unidades Astronómicas y una temperatura para el polvo de 300-400 K. Probablemente estábamos viendo las capas más superficiales del disco protoplanetario iluminadas por la estrella central.

### *Desde que ese artículo se publicó, ¿ha habido avances significativos en esa área específica?*

Los avances han sido enormes. El satélite Spitzer entró en funcionamiento poco después de las dos publicaciones de las que hablamos. Los datos de Spitzer son fabulosos y se ha puesto de manifiesto la complejidad de los procesos físicos que intervienen en la evolución del gas y del polvo y,

por lo tanto, en la formación de estrellas. Nos falta todavía el poder estudiar estos objetos con gran resolución angular y con más sensibilidad. En este contexto el satélite Herschel fue lanzado en mayo de 2009 y está dedicado a la observación del universo en el infrarrojo lejano y en el submilimétrico. Los avances, que ya estamos viendo, son espectaculares ya que los instrumentos son mucho más sensibles que los de ISO y Spitzer y el espejo del telescopio será de 3,5 metros de diámetro en lugar de los 0,6 o 1 metro, respectivamente, que tenían dichas plataformas espaciales.

### *¿Cuáles son los problemas fundamentales en la actualidad en ese campo de la Astrofísica y qué descubrimientos se esperan realizar en los próximos años?*

Mi campo de trabajo es el de la Astrofísica Molecular. La observación de moléculas es el único método para determinar las condiciones físicas del gas y su evolución química. La formación de estrellas lleva parejo el estudio de la formación de los discos

protoplanetarios que se forman alrededor de ellas. La detección de exoplanetas es un campo fascinante y dentro de unos años tendremos un censo relativamente amplio de ellos, incluyendo planetas de tipo terrestre. El estudio de la evolución del gas desde las nubes difusas hasta que se incorpora a los planetas (gaseosos o rocosos) es uno de los problemas fundamentales en este campo. Saber cómo cambia la composición química del gas con el tiempo, comprender cómo en las primeras fases de evolución hacia la formación de una estrella este gas se deposita en los granos de polvo, estudiar los procesos químicos en la superficie de los granos y su posterior evaporación o incorporación a los planetesimales es una historia que todavía está por escribir. Estamos en una etapa verdaderamente apasionante de la Astrofísica. Los astrónomos españoles están muy bien posicionados para formar parte de esta aventura. Los datos que tenemos ahora son limitados y de hace tan poco, como diría J. Larralde, que casi ni siquiera se puede escribir una historia sobre el tema.

*¿Ha tenido alguna influencia sobre tu carrera profesional?, ¿has continuado en esa línea y te ha abierto nuevos campos o posteriormente te dedicaste a otros temas?*

Ambas cosas. He continuado en esa línea interesándome cada vez más en los discos protoplanetarios, en particular en la química del gas sometido a las condiciones extremas que existen en esos objetos. Creo que éste es un campo verdaderamente apasionante y que el nuevo interferómetro ALMA va a abrir una visión completamente nueva y original sobre la evolución química del gas desde los primeros momentos de la formación del disco hasta la formación de los primeros planetesimales que luego darán lugar a los planetas. Estamos actualmente muy limitados en sensibilidad y en resolución angular para poder alcanzar a comprender los sutiles procesos químicos que dan lugar a un aumento de la complejidad química y a las características de las atmósferas primitivas de los planetas que se forman en los discos. Creo que con ALMA tendremos una

continua fuente de descubrimientos en el terreno de la formación estelar y de planetas. Por otra parte, como ya he comentado anteriormente, el satélite Herschel (del que soy *mission scientist*) y sus instrumentos nos están ya proporcionando una visión complementaria a la de ALMA en el infrarrojo lejano.

*¿Tienes alguna anécdota relacionada con la gestación y publicación de este artículo y que consideres adecuado contar?*

Pues sí, mi interés por la Trífida surgió durante un seminario de divulgación en un colegio de Madrid en 1995. Estaba hablando del medio interestelar, de los procesos físicos que ocurren cuando una estrella masiva se forma y altera completamente su entorno. Escogí una imagen de la Trífida. En la proyección la figura estaba invertida. Al explicar la imagen me di cuenta de algo que se me había pasado por alto completamente, y no sólo a mí sino a todos los astrónomos que habían estado observando este objeto desde hace más de cincuenta años. Había un glóbulo cometario, un

## Astronomía made in Spain

objeto sometido al campo ultravioleta de la estrella que ilumina la Trífida, del que emanaba una especie de *jet* que entraba en la zona completamente ionizada de la región. Me quede mirándolo casi un minuto, en silencio. Yo había trabajado anteriormente en *jets* moleculares originados por estrellas de baja masa. Al terminar el seminario busqué en la literatura. Había gran cantidad de imágenes de la región y en todas ellas el *jet* era

visible pero nadie comentaba nada al respecto. El primer artículo en *Science* está dedicado en parte a este *jet*, que después se ha denominado como HH399. Es el primer *jet* completamente ionizado emergiendo de una estrella de baja masa recientemente formada. Desde entonces se han encontrado varios casos más y hemos publicado más de 10 artículos con datos de ISO y de otros instrumentos sobre la Trífida.

INDUCED MASSIVE STAR FORMATION IN THE TRIFID

NEBULA?

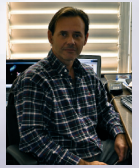
J. CERNICHARO, B. LEFLOCH, P. COX, D. CESARSKY  
Y SEIS COAUTORES

1998, *SCIENCE*, 282, 462

WINDOWS THROUGH THE DUSTY DISKS SURROUNDING  
THE YOUNGEST LOW-MASS PROTOSTELLAR OBJECTS

J. CERNICHARO, A. NORIEGA-CRESPO, D. CESARSKY,  
B. LEFLOCH Y CUATRO COAUTORES

2000, *SCIENCE*, 288, 649



*¿Cuál era el problema al que os enfrentasteis?*

El problema que nos ocupó fue la caracterización de las propiedades de las primeras enanas marrones de tipo espectral L en la vecindad solar. Las enanas marrones son objetos en lo que denominamos el “límite subestelar”, es decir, no son estrellas, porque en ellas no existe fusión de hidrógeno tal y como sucede en el Sol.

*¿Cuál fue la solución a ese problema y la contribución que ese artículo hizo al campo de trabajo en el que se enmarca?*

Por primera vez se obtuvieron imágenes de una enana marrón binaria usando el Telescopio Espacial Hubble. Se probó que se pueden detectar las compañeras de enanas marrones con sensibilidad

suficiente para llegar hasta objetos de masa planetaria. Se descubrió la primera binaria con componentes de tipo espectral L.

*Desde que ese artículo se publicó, ¿ha habido avances significativos en esa área específica?*

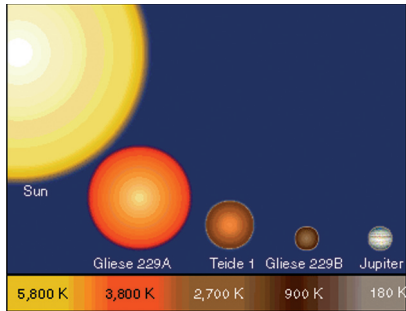
Sí, se han detectado docenas de binarias de muy baja masa, e incluso algunos objetos de masa planetaria. Se han medido las masas dinámicas de varias enanas marrones. Se han estudiado propiedades generales de la multiplicidad de enanas marrones como la frecuencia de binarias, la distribución de semiejes mayores y de los cocientes de masa. Se han utilizado estos resultados para restringir la validez de escenarios de formación de objetos de muy baja masa.

*¿Cuáles son los problemas fundamentales en la actualidad en ese campo de la Astrofísica y qué descubrimientos se esperan realizar en los próximos años?*

Entre los muchos problemas en esta área tan candente, yo destacaría la determinación de la relación masa-luminosidad para enanas marrones, el descubrimiento de binarias eclipsantes de muy baja masa y de planetas orbitando enanas marrones.

*¿Ha tenido alguna influencia sobre tu carrera profesional?, ¿has continuado en esa línea y te ha abierto nuevos campos o posteriormente te dedicaste a otros temas?*

Sí ha tenido influencia. He continuado con esa línea, aunque últimamente me estoy dedicando más a otros temas.



*Figura 1. Comparación de algunas propiedades (tamaños, temperaturas y colores) entre el Sol, una estrella enana M (Gliese 229 A), dos enanas marrones (Teide 1 y Gliese 229 B) y Júpiter. Las enanas marrones unen el hueco en masa entre las estrellas y los planetas. Un objeto subestelar se considera enana marrón si su masa está entre 0,013 veces la masa del Sol (13 veces la masa de Júpiter) y 0,070 veces la masa del Sol.*

*¿Tienes alguna anécdota relacionada con la gestación y publicación de este artículo y que consideres adecuado contar?*

Los datos fueron tomados durante el programa de tiempo de director del Telescopio Espacial Hubble. Al ver la primera enana marrón doble, lo primero que pensé es que el telescopio se había movido o que estaba viendo doble. Se observó otra

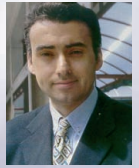
enana marrón, que curiosamente también es binaria (eso se descubrió siete años después) pero no la resolvimos porque su órbita es excéntrica.

*A SEARCH FOR COMPANIONS TO NEARBY BROWN DWARFS:*

*THE BINARY DENIS-P J1228.2-1547*

*E.L. MARTÍN, W. BRANDNER Y G. BASRI*

*1999, SCIENCE, 283, 1718*



### *¿Cuál era el problema al que os enfrentasteis?*

En 1999 aún se desconocían la naturaleza y muchas propiedades físicas de los estallidos cósmicos de rayos gamma (abreviadamente GRBs, del inglés *Gamma-Ray Bursts*) y cuando aconteció el intensísimo estallido del 23 de enero de ese año, GRB990123 (visible durante unos pocos segundos con unos simples prismáticos), intentamos hacer acopio de la mayor cantidad de datos posible para así poder dar una explicación lo más satisfactoria al fenómeno observado.

No hay que olvidar que la naturaleza de los GRBs empezó a resolverse 30 años después de su descubrimiento, cuando en 1997 se detectó la emisión en rayos X que durante horas (incluso días) prosigue a la emisión de más alta

energía (rayos gamma), la cual sólo dura unas decenas de segundos.

### *¿Cuál fue la solución a ese problema y la contribución que ese artículo hizo al campo de trabajo en el que se enmarca?*

Se obtuvo una gran cantidad de datos en todo el espectro electromagnético con diversas técnicas observacionales (en particular en el óptico: fotometría, espectroscopía y polarimetría). Se publicaron tres *Letters* en *Science* y un *Article* en *Nature*, actuando como primer autor en la primera *Letter* en *Science* (se publicaron las tres de forma consecutiva en el mismo número) y como coautor en el resto.

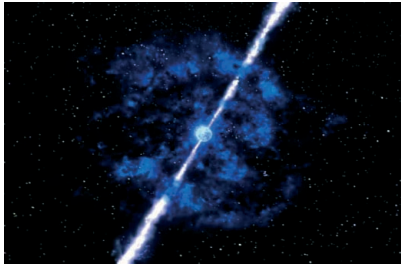
Amén de que el cataclismo cósmico aconteció a unos 9000 millones de años-luz, lo que implicaba que fue el objeto cósmico más luminoso del universo observado hasta la fecha

(la noche hubiera tornado en día de encontrarse en nuestra Galaxia), en nuestros trabajos en *Science* también encontramos dos importantes resultados: 1) la evidencia de un cambio de pendiente en el declive de la curva de luz en el óptico, lo que nosotros interpretamos como la más fuerte evidencia de la colimación del chorro de materia con un ángulo de apertura de unos pocos grados; y 2) un límite de 8% al grado de polarización en el óptico.

### *Desde que ese artículo se publicó, ¿ha habido avances significativos en esa área específica?*

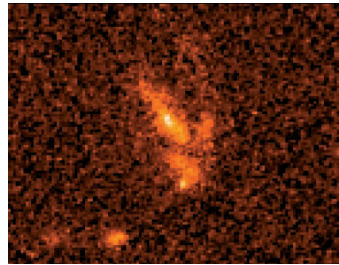
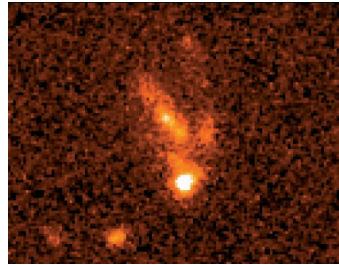
Muchísimos. En el campo de los GRBs se han sucedido descubrimientos de diversa importancia hasta la fecha, tanto en la población de GRBs de larga duración (asociados al colapso gravitacional de



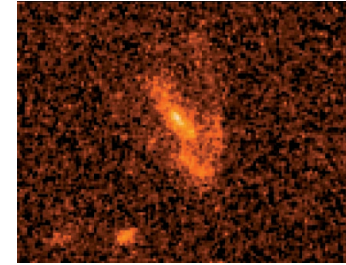


*Figura 1. Una visión artística del colapso gravitacional de una estrella muy masiva dando origen al estallido cósmico de rayos gamma cuyo frente de onda llegó a los “ojos electrónicos” de los satélites científicos el 23 de enero de 1999, tras viajar por el espacio unos 9000 millones de años. Cortesía: NASA/Zhang & Woosley.*

estrellas muy masivas que dan lugar al nacimiento de un nuevo agujero negro, lo que se confirmó en 2003) como en la población de GRBs de corta duración (con el descubrimiento de las primeras contrapartidas en 2005). De hecho, el número de artículos publicados desde 1997 en las dos revistas por todos los grupos que trabajan en el campo debe rondar la treintena.



*Figura 2. Imágenes obtenidas con el Telescopio Espacial Hubble de la emisión óptica postluminescente de GRB 990123 superpuesta a la galaxia anfitriona (al parecer, al menos dos galaxias en interacción a 9000 millones de años luz) a los 23 (izquierda) y 59 (debajo, izquierda) días de la explosión. Nótese cómo en la última imagen (debajo, derecha), tomada un año después, toda luz residual del GRB ya ha desaparecido. Cortesía de Fruchter et al. (1999).*



### *¿Cuáles son los problemas fundamentales en la actualidad en ese campo de la Astrofísica y qué descubrimientos se esperan realizar en los próximos años?*

El modelo teórico sobre el que se asienta la emisión observada tras el propio GRB, el de “bola de fuego”, claramente presenta serias deficiencias para explicar las detalladas curvas de luz que se están consiguiendo gracias

a observaciones multirrango como las obtenidas por el satélite SWIFT. Igualmente la existencia de una población de GRBs de duración intermedia y con distinta naturaleza física es tema de debate. Y lo que es más incierto aún: una posible dicotomía existente en la clase de GRBs de corta duración, de modo que las contrapartidas existentes serían para aquellos GRBs cortos

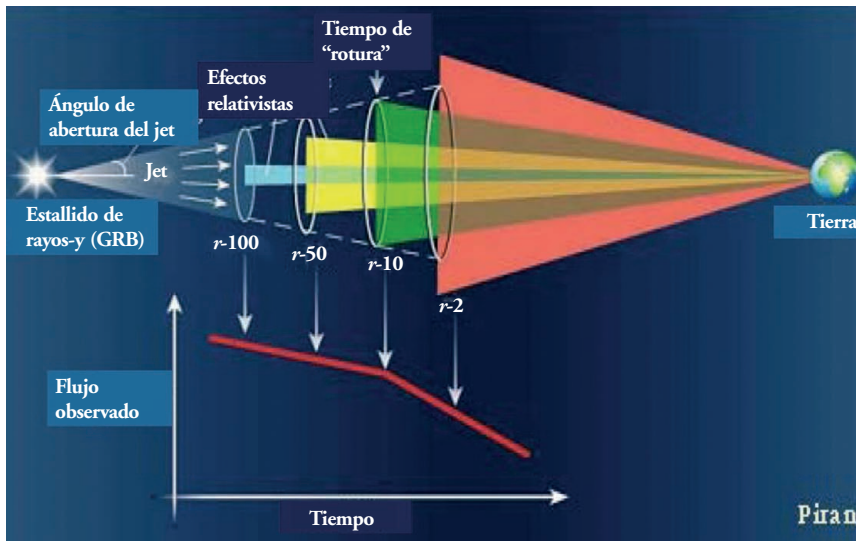


Figura 3. La interpretación teórica dentro del modelo de "bola de fuego" relativista de nuestras observaciones. El cambio de pendiente se observa durante el llamado tiempo de "rotura" cuando la emisión colimada se va decelerando (el factor de Lorentz  $\Gamma$  va disminuyendo) y por lo tanto el ángulo de apertura del cono de emisión aumenta de modo que supera al cono de emisión que por efecto relativista vemos desde la Tierra, lo que se traduce en una "aparente" pérdida de fotones como hecho observacional. Adaptado de Piran (1999).

de clase II, mientras que los de clase I serían una familia prácticamente desconocida por el reducido número de datos disponibles. Descubrimientos aún por realizar son entre muchos otros: 1) la detección de GRBs más allá del objeto más lejano conocido (una débil galaxia) probablemente relacionados con la primera generación de estrellas creada en el universo; 2) la detección de ondas gravitacionales provenientes de la fusión de sistemas binarios de estrellas de neutrones.

*¿Ha tenido alguna influencia sobre tu carrera profesional?, ¿has continuado en esa línea y te ha abierto nuevos campos o posteriormente te dedicaste a otros temas?*

Sin duda, éstas y otras publicaciones realizadas en el mismo campo por quien escribe (dos de primer autor en *Science*, una de primer autor en *Nature*, y otras ocho a nivel de coautor en las dos revistas) han contribuido a mantener esta línea como la más fructífera entre otras a las que también me dedico, hasta tal punto que ha guiado los desarrollos tecnológicos que de manera paralela también he intentado impulsar a lo largo de estos 15 años, en el campo de la astrofísica robótica y de cámaras ultrasensibles para explorar el cielo nocturno de manera continuada.

*¿Tienes alguna anécdota relacionada con la gestación y publicación de este artículo y que consideres adecuado contar?*

Sí, la típica carrera cuando dos equipos científicos tienen datos independientes pero que pueden dar lugar al mismo descubrimiento de gran impacto. En este caso concreto, el equipo liderado por el Prof. S. Kulkarni (Caltech,

EEUU) y el liderado por mí (yo entonces disfrutaba de un contrato por obra y servicio de INTA y trabajaba físicamente en el IAA-CSIC). Kulkarni et al. lo enviaron a *Nature*. Nosotros a *Science*. Las dos revistas sin duda sabían de los artículos que sobre el mismo objeto (GRB 990123) se habían enviado a la rival. Los dos meses que mediaron entre el momento en que ocurrió el fenómeno y la publicación de los resultados fueron frenéticos. Pero el estrés mereció la pena. El equipo español (y *Science*) le ganaron la partida al todopoderoso equipo californiano (y *Nature*) por siete días y por ello *Nature* ¡tuvo que adelantar su nota de prensa al respecto en una semana! Probablemente la primera vez en su larga historia que *Nature* tuvo que cambiar su política en este sentido...

### *ADENDA: No todo el mundo sigue las mismas reglas del juego*

Hace ya unos años, recibí una llamada de un periodista de *Nature* preguntándome mi opinión acerca de un descubrimiento que se iba a publicar unas semanas después en el que yo no figuraba como coautor. Me llamaba porque yo había descubierto el objeto en

cuestión en 1992 y que a la postre iba a ser (hasta ahora) el agujero negro más masivo de nuestra Galaxia. Yo por supuesto alabé el trabajo realizado y la importancia del resultado.

Sin embargo tenía una sospecha, al haber colaborado yo un año atrás con el mismo científico (y amigo por entonces) que lideraba la referida publicación en *Nature*. A la mañana siguiente de recibir la llamada del periodista, telefoneé a la sede del Observatorio Europeo Austral (el ESO) en Munich –los datos del artículo de *Nature* se habían obtenido con uno de los telescopios VLT (ESO, Chile)– y pedí que por favor me enviaran copia de la petición de tiempo de observación realizada por el primer autor del artículo de *Nature* en cuestión, con la “falsa” excusa de que no creía conservar la copia de la misma (obviamente asumieron que yo era coautor de la misma).

Y es que como he dicho antes, un año atrás habíamos colaborado en el mismo objeto utilizando datos del ESO previo envío de la petición correspondiente en la que yo iba de cofirmante (a España aún le quedaban años para incorporarse como miembro de pleno derecho). Al cabo de varios minutos recibí por fax la

totalidad de la propuesta enviada.

Y por desgracia mis sospechas se confirmaron. Mi nombre figuraba otra vez como primer cofirmante de la nueva petición de tiempo... ¡pero esta vez sin mi consentimiento!

Descaradamente se hizo uso de mi nombre como descubridor del objeto en cuestión y autor de varios artículos al respecto para obtener el tiempo de VLT que luego sería parte fundamental del artículo de *Nature*. Como es lógico pensé de inmediato contactar con el ESO y con *Nature* pero al final decidí dejar las cosas como estaban. Por supuesto que acto seguido contacté con el primer autor del artículo de *Nature* (y ex amigo desde entonces) y decliné de inmediato toda mi colaboración para con él con vistas al futuro. Y así es hasta la fecha...

Por desgracia, no todo el mundo (ni en la ciencia, ni en la vida) sigue las mismas reglas del juego.

---

DECAY OF THE GRB 990123 OPTICAL AFTERGLOW:

IMPLICATIONS FOR THE FIREBALL MODEL

A.J. CASTRO-TIRADO, M.R. ZAPATERO-OSORIO, N.

CAON, L.M. CAIROS Y 48 COAUTORES

1999, SCIENCE, 283, 2069

Pere Planesas Bigas  
European Southern Observatory (Santiago, Chile)



### *¿Cuál era el problema al que os enfrentasteis?*

El problema era determinar la cantidad, distribución y cinemática del gas molecular en galaxias situadas a distancias cosmológicas. De este gas nacen las estrellas por lo que su estudio es esencial para conocer la historia y la eficiencia de la formación de estrellas en galaxias tan alejadas y, por lo tanto, tan jóvenes. En aquella época (1999) no se había detectado el gas molecular en ninguna galaxia situada a un corrimiento al rojo entre 1 y 2, o sea, cuando el universo tenía una edad entre  $1/4$  y  $1/3$  de la actual. El problema observacional consistía en la debilidad de la emisión y el pequeño tamaño angular en que se distribuye dicho gas molecular debido a la gran distancia a que se encuentran tales galaxias, lo que hacía imposible su detección con los radiotelescopios

existentes entonces. Nuestro método demostró por primera vez la viabilidad de tales estudios.

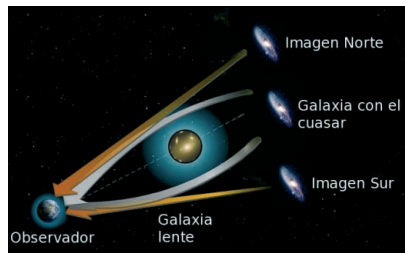
### *¿Cuál fue la solución a ese problema y la contribución que ese artículo hizo al campo de trabajo en el que se enmarca?*

La solución consistió en observar una galaxia muy particular, pues entre ella y nosotros se encuentra otra galaxia muy masiva que actúa como lente gravitatoria (Figura 1). Esta lente era conocida por su efecto sobre la potente luz del cuásar que alberga aquella galaxia lejana. Este efecto, explicado por la Teoría General de la Relatividad de Einstein, consiste en que la radiación que emite el cuásar es desviada, su brillo amplificado y pueden incluso aparecer varias imágenes del mismo. Además, cuando actúa sobre una galaxia extensa,

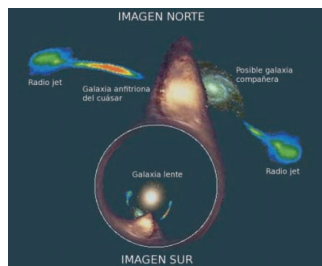
aumenta su tamaño aparente (Figura 2). Gracias a ello, la lente gravitatoria amplificó el brillo de la emisión del gas molecular permitiéndonos detectarlo y, actuando como una “lupa cósmica”, amplió su tamaño aparente con lo que pudimos conocer su distribución y cinemática. Esto último no había sido posible en la observación de las pocas galaxias situadas a distancias aún mayores que se habían detectado hasta aquel momento.

### *Desde que ese artículo se publicó, ¿ha habido avances significativos en esa área específica?*

Desde entonces se ha detectado el gas molecular en otras tres galaxias situadas en tal rango de corrimientos al rojo. La mayoría de detecciones del gas molecular en galaxias situadas a tales distancias o aún más lejanas han



*Figura 1. Esquema explicativo del fenómeno de la lente gravitatoria. Al encontrarse alineados el observador y las dos galaxias, si la galaxia interpuesta (o el cúmulo de galaxias interpuesta) es suficientemente masiva, el observador puede llegar a observar dos o más imágenes de la galaxia lejana. En nuestro caso esta galaxia hospedaba un cuasar.*



*Figura 2. Modelo artístico en que se muestra la deformación que una lente gravitatoria produce en la galaxia lejana. Ésta contiene un cuasar que origina dos extensos chorros de plasma emisores de radioondas. La lente produce una duplicación de la imagen, así como la deformación de ésta. Ello no se aprecia en la imagen de la figura 3, dado que un cuasar es puntual, pero sí en el caso de una galaxia al ser ésta extensa.*

sido posibles gracias a que hay una lente gravitatoria interpuesta, muchas veces inicialmente desconocida. Por otra parte, la galaxia que detectamos se parece a la Vía Láctea, mientras que las restantes suelen ser especiales, mucho más ricas en gas molecular. La originalidad de nuestro proyecto consistió en escoger un caso en que se sabía de la existencia y las características de la lente gravitatoria interpuesta entre nosotros y la galaxia que alberga el cuasar. En efecto, el cuasar elegido fue aquél en que se descubrió (veinte años antes, en 1979) el efecto de lente gravitatoria y se le conoce como el “cuasar gemelo”, pues su imagen óptica consiste en dos puntos brillantes (Figura 3).

*¿Cuáles son los problemas fundamentales en la actualidad en ese campo de la Astrofísica y qué descubrimientos se esperan realizar en los próximos años?*

Una de las principales dificultades en determinar las características de las galaxias en el universo primitivo es nuestro desconocimiento de su tamaño. Ello es particularmente complicado en el caso de las medidas

del gas molecular en ondas de radio de alta frecuencia. Sólo en aquellos casos en que una lente gravitatoria amplía su tamaño conseguimos esa información tan deseada.

Sin embargo, esta técnica ha dado resultado en muy pocos casos, uno de ellos el “cuasar gemelo”. Para que sea realmente efectiva se necesita un radiointerferómetro con el que se puedan medir detalles mucho menores que con los actuales. Tal interferómetro, denominado ALMA, está siendo construido en el desierto de Atacama, a 5000 metros de altura, desde donde dentro de unos pocos años estas observaciones tan difíciles en la actualidad deberían ser rutinarias. Éste es el observatorio en cuya construcción estoy participando en la actualidad.

*¿Ha tenido alguna influencia sobre tu carrera profesional?, ¿has continuado en esa línea y te ha abierto nuevos campos o posteriormente te dedicaste a otros temas?*

Buena parte de mi trabajo científico en los años posteriores a la publicación de este artículo se relaciona con el estudio de galaxias luminosas y ultraluminosas

en el rango infrarrojo. En ellas se dan unos brotes de formación de estrellas que dan lugar al nacimiento de centenares de ellas al año, un ritmo cien veces mayor que en nuestra Vía Láctea.

Aquel artículo fue mi primera incursión en el universo lejano, donde se encuentran otras galaxias con elevados ritmos de formación estelar. Su estudio se puede apoyar en el de las galaxias ultraluminosas más cercanas en las que yo trabajo. Recientemente he participado en la caracterización del gas molecular denso en una galaxia situada a un corrimiento al rojo de 3,9 (cuando el universo tenía sólo el 10% de su edad actual). Esta galaxia contiene uno de los cuásares más luminosos del universo y también experimenta un fenómeno de amplificación por lente gravitatoria.

*¿Tienes alguna anécdota relacionada con la gestación y publicación de este artículo y que consideres adecuado contar?*

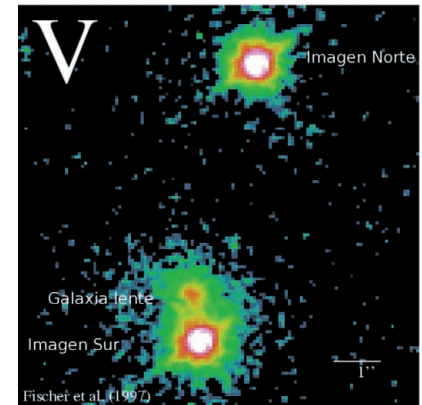
Una anécdota previa a la publicación del artículo está relacionada con el proceso de

revisión que estas revistas utilizan, basado en que uno o varios científicos evalúan si el artículo es adecuado para ser publicado en la revista. Tal evaluación, que se pretende que siempre sea muy objetiva, en ocasiones tiene sesgos editoriales que en nuestro caso se manifestaron en que una de las revistas, *Nature*, rechazó el artículo mientras que la otra, *Science*, lo aceptó inmediatamente.

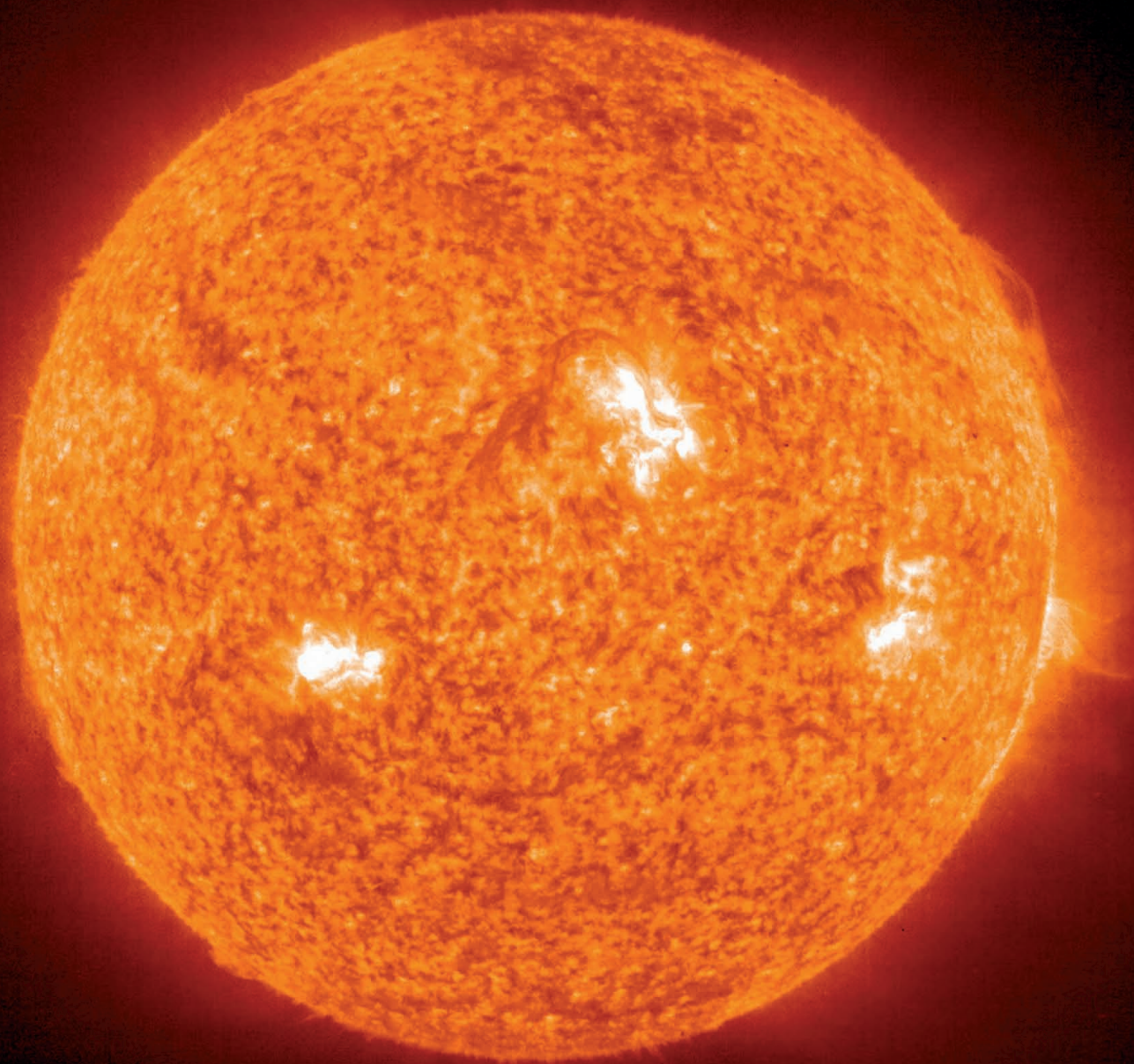
Tras la publicación del artículo pude observar el gran interés que generaba (la noticia se publicó en *El País* y en varias revistas de divulgación científica, el Planetario de Madrid me invitó a dar una conferencia, etc.), siendo la cuestión del uso de la lente gravitatoria como refuerzo del telescopio lo que más llamó la atención a quienes me consultaron sobre el tema.

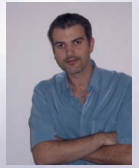
GAS-RICH GALAXY PAIR UNVEILED IN THE LENSED QUASAR  
0957+561

P. PLANESAS, J. MARTÍN PINTADO, R. NERI Y L. COLINA  
1999, *SCIENCE*, 286, 2493



*Figura 3. Imagen óptica del “cuásar gemelo” QSO 0957+561 en la que se aprecian las dos imágenes puntuales formadas por la lente gravitatoria interpuesta, así como la débil imagen de la galaxia que origina tal fenómeno. Este es el primer caso de lente gravitatoria descubierto y uno de los de mayor separación entre las imágenes (6”). Cortesía del proyecto CASTLES: <http://www.cfa.harvard.edu/castles/>*





*¿Cuál era el problema al que os enfrentasteis?*

La cromosfera (capas altas de la atmósfera) sobre las manchas solares muestra un comportamiento altamente dinámico, que incluye abrillantamientos repentinos con una periodicidad de aproximadamente 3 minutos. Estos abrillantamientos, denominados destellos umbrales (traducción del inglés original, *umbral flashes*) fueron descubiertos observacionalmente en los años 60 y hasta ahora poco se sabía sobre su naturaleza física y qué los causa.

El estudio de estos fenómenos es muy complicado porque tienen lugar en un medio altamente magnetizado (las manchas son de naturaleza magnética) y porque en la cromosfera no suelen ser aplicables las técnicas de diagnóstico habituales. Además, debido al carácter dinámico de los

destellos umbrales, estudiar su naturaleza requiere un seguimiento tomando datos cada poco tiempo.

*¿Cuál fue la solución a ese problema y la contribución que ese artículo hizo al campo de trabajo en el que se enmarca?*

Nuestra aproximación al problema hacía uso de avances en dos vertientes, una observacional y otra de análisis. Por una parte usamos un novedoso montaje instrumental para tomar observaciones espectro-polarimétricas en el infrarrojo cercano, concretamente en un rango espectral donde se puede observar la cromosfera. La polarimetría nos permite estudiar el campo magnético y su relación con los fenómenos observados, de ahí su importancia en este escenario. Este tipo de observaciones no se había podido

realizar con anterioridad a nuestro trabajo.

La segunda vertiente consistía en el uso de una nueva técnica de diagnóstico que nos permitía hacer inversiones de líneas formadas fuera del equilibrio termodinámico local. Esta técnica, desarrollada y probada durante el transcurso de mi tesis, nos daba la posibilidad de relacionar las observaciones con los cambios que tenían lugar en la atmósfera solar.

Durante el transcurso de nuestra investigación nos encontramos con una sorpresa, ya que los perfiles de polarización cambiaban de forma durante los destellos umbrales y se volvían fuertemente asimétricos. Estos perfiles, a los que bautizamos como “anómalos”, eran demasiado asimétricos como para explicarlos con gradientes de velocidad o campo



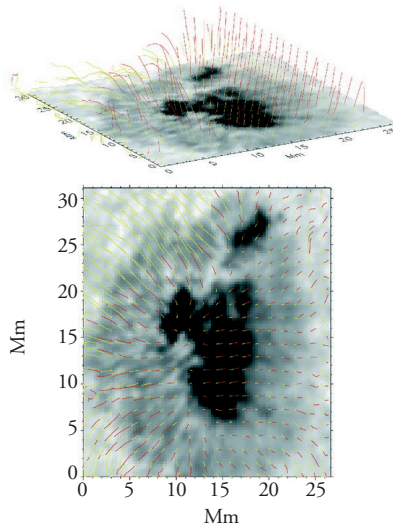


Figura 1. Imagen de una mancha solar con las líneas de campo magnético que surcan la región de la cromosfera encima de la penumbra. Las unidades en los ejes son millones de metros.

magnético. La interpretación de estas observaciones nos llevó a la conclusión de que los destellos umbrales funcionan como un conjunto de *geisers* que lanzan chorros de material caliente a las capas altas de la atmósfera. Los chorros, que alcanzan velocidades de aproximadamente 15 km/s, tienen una extensión horizontal muy pequeña (menor que 1000 km) y atraviesan una atmósfera relativamente en calma y mucho más fría.

### *Desde que ese artículo se publicó, ¿ha habido avances significativos en esa área específica?*

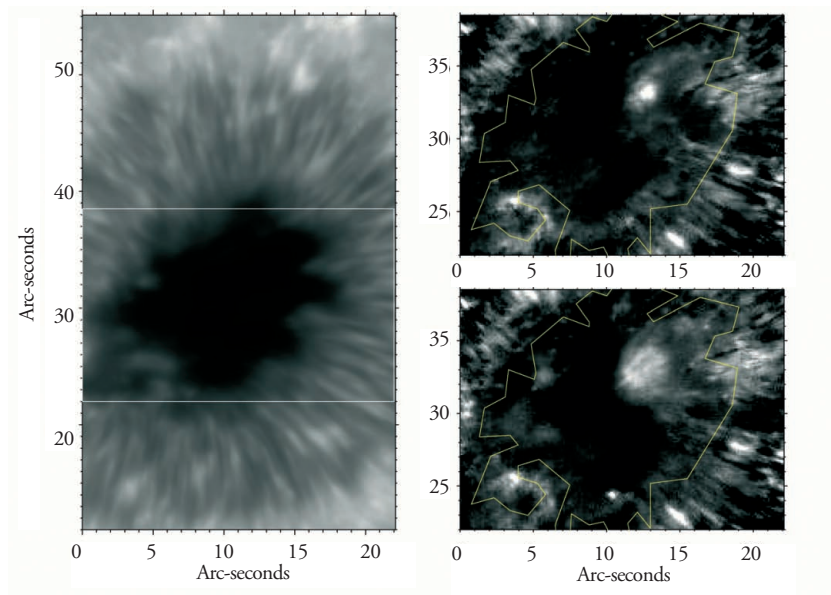
En general ha habido pocos avances debido a las dificultades anteriormente mencionadas, tanto en la realización de observaciones adecuadas (polarimetría en líneas cromosféricas) como en el desarrollo de técnicas de análisis (combinación de algoritmos de inversión con transporte radiativo fuera del equilibrio termodinámico local). Quizás el avance más significativo es el que se presenta en una publicación reciente usando observaciones de alta resolución del

satélite Hinode (Socas-Navarro, McIntosh, Centeno, de Wijn y Lites 2008). Lamentablemente Hinode no permite hacer polarimetría en la cromosfera pero la calidad de sus imágenes, de alta resolución espacial, permite ver de forma directa que efectivamente existe una mezcla de material caliente y frío cuando se producen los destellos umbrales. Los datos de Hinode, al carecer de espectroscopía y polarimetría, no permiten estudiar la dinámica del fenómeno pero sí confirman una predicción que habíamos hecho en nuestro trabajo.

### *¿Cuáles son los problemas fundamentales en la actualidad en ese campo de la Astrofísica y qué descubrimientos se esperan realizar en los próximos años?*

Las cromosferas del Sol y las estrellas se encuentran a temperaturas incomprensiblemente elevadas, y éste es uno de los grandes problemas con los que se enfrenta hoy en día la física estelar. Pensamos que la propagación de ondas en pequeños elementos magnéticos verticales y la existencia de fenómenos de

reconexión a pequeña escala constituyen la clave de este enigma. Se especula que los destellos umbrales podrían ser una versión a gran escala de lo que podría estar ocurriendo de forma continua en todo el Sol para calentar la cromosfera. En la actualidad no disponemos de instrumentación adecuada para investigar estos procesos ya que tienen lugar a escalas espaciales muy pequeñas y requieren la observación de líneas cromosféricas. En la próxima década, con la construcción del ATST (Advanced Technology Solar Telescope) y del EST (European Solar Telescope), esperamos poder realizar estas observaciones. Asimismo será importante el avance en recursos computacionales, ya que los modelos 1D (una dimensión) que utilizamos en nuestro trabajo dejarán de ser adecuados fuera de las manchas solares. Será necesario hacer inversiones con transporte radiativo en 3D (tres dimensiones) fuera del equilibrio termodinámico, y esto requerirá superordenadores a los que hasta ahora era muy difícil tener acceso.



*Figura 2. Mancha solar donde se aprecian la región central más oscura y fría (umbra), y los filamentos oscuros y brillantes de la penumbra. A la derecha, contornos que delimitan valores similares del campo magnético.*

*¿Ha tenido alguna influencia sobre tu carrera profesional?, ¿has continuado en esa línea y te ha abierto nuevos campos o posteriormente te dedicaste a otros temas?*

He seguido trabajando en general en el campo de la dinámica de la cromosfera, pero no he estado particularmente concentrado en los destellos umbrales. Desde la aparición de este artículo he publicado dos más (Centeno, Socas-Navarro, Collados y Trujillo Bueno 2004 y el mencionado Socas-Navarro, McIntosh, Centeno et al. 2008) en los que se presentaban otras evidencias que confirmaban predicciones del artículo original. Espero que el desarrollo de los

nuevos telescopios solares permita realizar las observaciones que se necesitan para dar el siguiente paso en este campo.

*¿Tienes alguna anécdota relacionada con la gestación y publicación de este artículo y que consideres adecuado contar?*

Los datos se tomaron con un telescopio, el Gregory situado en el Observatorio del Teide, que ya se consideraba obsoleto y estaba a punto de ser cerrado. De hecho, creo que nuestras observaciones fueron de las últimas que se realizaron allí. Se trataba de un instrumento muy simple y, precisamente por esa simplicidad

fuiamos capaces de reconfigurarlo y hacer el montaje que necesitábamos para obtener nuestros datos. En aquel momento era casi imposible hacer nuestro estudio con ningún otro telescopio. La moraleja de la historia es que no siempre lo más sofisticado es lo mejor. También es importante la flexibilidad, porque en ciencia es imposible prever de antemano todas las posibles necesidades futuras.

---

*ANOMALOUS POLARIZATION PROFILES IN SUNSPOTS:*

*POSSIBLE ORIGIN OF UMBRAL FLASHES*

*H. SOCAS NAVARRO, J. TRUJILLO BUENO Y B. RUIZ*

*COBO*

*2000, SCIENCE, 288, 1398*



### *¿Cuál era el problema al que os enfrentasteis?*

El estudio de las transformaciones morfológicas que experimentan las galaxias es uno de los temas más fascinantes, y con más implicaciones, dentro de un modelo teórico que nos permita entender la formación de las estructuras que conforman el universo. En particular, se conocía desde hacía décadas el llamado efecto Butcher-Oemler que implica que las galaxias en los cúmulos cercanos son notablemente distintas de las galaxias en cúmulos lejanos. Posteriormente, con la llegada del telescopio espacial Hubble, se observó la gran diferencia entre las poblaciones de galaxias de los cúmulos cercanos, dominados por pequeñas galaxias esferoidales (S0) sin características relevantes, y las poblaciones de los cúmulos lejanos con grandes cantidades de galaxias

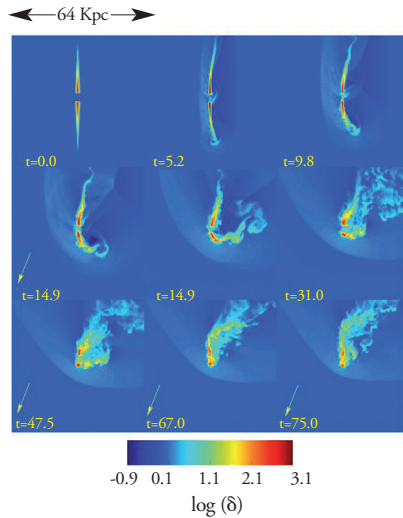
espirales. Esta situación había propiciado toda clase de hipótesis y trabajos, con algo más de un millar de artículos sobre el tema, pero sin ninguna conclusión clara. En el año 2000 todavía seguían sin conocerse las causas de las grandes diferencias entre las poblaciones de galaxias de los cúmulos en función de su edad.

### *¿Cuál fue la solución a ese problema y la contribución que ese artículo hizo al campo de trabajo en el que se enmarca?*

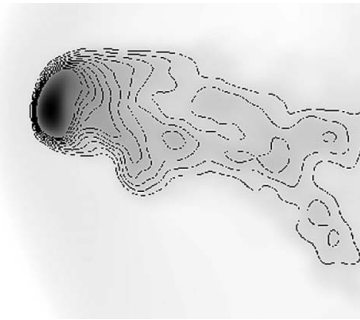
Tres eran las hipótesis principales que se barajaban como causa del origen de las galaxias S0 en los cúmulos. La primera apuntaba a los efectos de las fuerzas de marea que sufrían las galaxias espirales al interactuar con la estructura que las rodeaba. La segunda invocaba los efectos de las fusiones galácticas. Por último,

la tercera proponía que la interacción de las galaxias con el medio ambiente (el medio “intracúmulo”) podía causar la citada metamorfosis. Trabajos previos, basados en simulaciones de n-cuerpos de muy alta resolución, habían descartado las dos primeras líneas de trabajo, mientras que algunos intentos preliminares, con técnicas inapropiadas, habían fracasado al intentar describir adecuadamente las interacciones con el medio ambiente.

Nuestra idea fue estudiar con técnicas computacionales de última generación la interacción de las galaxias espirales con su entorno. Para ello utilizamos el código cosmológico que desarrollé durante mi Tesis Doctoral, capaz de describir con gran precisión fenómenos fundamentales, asociados a la componente gaseosa de las estructuras cosmológicas, como las



*Figura 1. Evolución temporal del disco de gas de una galaxia espiral (vista de perfil) al interactuar con el medio intracúmulo. Después de un centenar de millones de años la galaxia ha perdido casi la totalidad de su gas y se ha quedado sin combustible para la formación estelar. Al igual que el gas, las otras componentes de la galaxia (no mostradas en la figura), también han sufrido alteraciones notables, quedando al final del proceso un sistema con una morfología típica de una galaxia S0.*



*Figura 2. Radio mapa simético de una galaxia espiral desplazándose en el medio intracúmulo. Las líneas de contorno representan la emisión asociada al gas, mientras que la escala de grises muestra la densidad de dicho gas. Se puede apreciar en la imagen la compresión de las líneas de contorno en la dirección del movimiento, y las colas de gas detrás de la galaxia. Esta imagen puede ser comparada directamente con las observaciones.*

ondas de choque y la formación de inestabilidades y turbulencia, para simular los efectos que sufría una galaxia espiral típica al orbitar en el medio ambiente intracúmulo. La correcta descripción de este complejo escenario físico permitió concluir que la interacción con el medio intracúmulo era capaz, en escalas de tiempos de centenares de millones de años, de transformar las galaxias espirales en galaxias

esferoidales (S0) con bajísimas tasas de formación estelar.

Para realizar estas simulaciones, se utilizó el supercomputador más potente en aquel momento en el Reino Unido; y fueron necesarios tres meses de cálculo intensivo que generaron a su vez un volumen de datos ingente para la época.

*Desde que ese artículo se publicó, ¿ha habido avances significativos en esa área específica?*

Desde la publicación de este artículo se han producido importantes avances en el campo. Numerosos grupos han realizado simulaciones similares, con diversas técnicas y mayores resoluciones numéricas, confirmando los resultados obtenidos en nuestro artículo. Por otra parte, los fenómenos de interacción con el medio ambiente han podido ser estudiados, en diferentes rangos del espectro electromagnético, gracias a una nueva generación de observaciones que, igualmente, han confirmado nuestras predicciones.

*¿Cuáles son los problemas fundamentales en la actualidad*

*en ese campo de la Astrofísica y qué descubrimientos se esperan realizar en los próximos años?*

La construcción de un marco teórico-observacional que permita entender el proceso de formación y evolución de las galaxias es, sin duda, uno de los principales objetivos de la Astrofísica moderna. A escalas galácticas se produce el solapamiento entre la influencia de la evolución cosmológica del Universo como un todo, y la astrofísica galáctica y estelar. Por tanto, la búsqueda de un paradigma global que describa desde la formación de la estructura a gran escala hasta la formación estelar pasa obligatoriamente por entender las galaxias. En este sentido, la investigación centrada en desentrañar toda la riqueza de la evolución de las galaxias y en particular sus transformaciones, es clave en la descripción de nuestro universo.

*¿Ha tenido alguna influencia sobre tu carrera profesional?, ¿has continuado en esa línea y te ha abierto nuevos campos o posteriormente te dedicaste a otros temas?*

La publicación de este artículo ha sido importante en mi carrera profesional, ya que se ha convertido en una referencia clásica en el campo. Además, el mecanismo de interacción con el medio intracúmulo es la explicación aceptada, tanto por los colegas teóricos como observacionales, para describir el origen de las galaxias S0 en los cúmulos. Actualmente vuelvo trabajar en este tema utilizando nuevas generaciones de códigos cosmológicos. La idea básica es formar cúmulos de galaxias desde condiciones iniciales cosmológicas, pero con resolución suficiente como para describir las galaxias que pueblan esos cúmulos. De esta manera seremos capaces de seguir el devenir de esas galaxias virtuales, y estudiar todas las fases y transformaciones que sufren a lo largo de su existencia.

*¿Tienes alguna anécdota relacionada con la gestación y publicación de este artículo que consideres adecuado contar?*

Quizás lo más curioso fue la elección del título del artículo. Queríamos un título impactante, pero no

convergiéramos. Un día, tomando un café, se nos ocurrió a modo de broma versionar el gran clásico cinematográfico, y tras unos minutos de duda, quedó claro que ése iba a ser el título definitivo.

También fue curiosa la disparidad entre los informes de los árbitros. Uno de ellos era tremendamente entusiasta y nos urgía a publicar el artículo, mientras que el otro, aunque favorable, tenía ciertas dudas y nos pedía abundante material complementario. Finalmente, este último quedó satisfecho cuando le aportamos gran cantidad de material extra, que por limitación de espacio, no pudo aparecer en la revista.

---

*GONE WITH THE WIND: THE ORIGIN OF THE S0*

*GALAXIES IN CLUSTERS*

*V. QUILIS, B. MOORE Y R.G. BOWER*

*2000, SCIENCE, 288, 1617*





### *¿Cuál era el problema al que que os enfrentasteis?*

En la década de los 90 se constató la existencia de un nuevo tipo de objeto estelar en nuestra Galaxia: se trata de las estrellas binarias de rayos X con chorros relativistas, también conocidas con el nombre de microcuásares. En estos sistemas, una estrella ordinaria gravita alrededor de una estrella de neutrones o un agujero negro que captura (acreta) masa de la estrella compañera brillante y forma un disco de acreción. Una fracción de la masa acretada es eyectada a velocidades relativistas perpendicularmente al disco de acreción, formando los chorros que caracterizan los microcuásares.

Se conocían poco más de una docena de microcuásares y era importante ampliar la muestra a fin de poder caracterizar la fenomenología

observada con una base estadística más amplia.

El descubrimiento de estos microcuásares había sido como consecuencia de algún episodio eruptivo detectado por observatorios de rayos X en órbita terrestre. Nosotros decidimos buscar nuevos microcuásares pero sin tener que esperar que hubiera ninguna erupción que nos alertara.

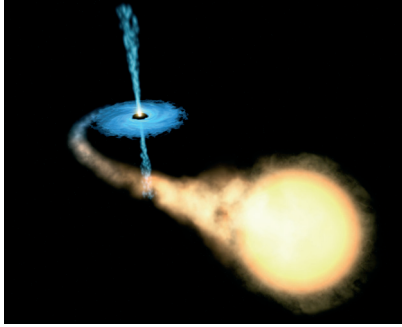
### *¿Cuál fue la solución a ese problema y la contribución que ese artículo hizo al campo de trabajo en el que se enmarca?*

Para identificar potenciales candidatos a microcuásar, utilizamos diversos catálogos en el óptico, radio y rayos X que contienen la posición y energía emitida de las fuentes catalogadas en las distintas longitudes de onda. Con la ayuda de ordenadores, y teniendo

en cuenta propiedades relevantes de los microcuásares, realizamos una inspección detallada de estas bases de datos astronómicos que permitió seleccionar una lista reducida de candidatos.

Observaciones posteriores con el VLA (Very Large Array) permitieron estudiarlos en detalle y mejorar la posición de uno de ellos particularmente interesante, LS 5039. Para tener la certeza de que era un microcuásar, debíamos demostrar que tenía chorros y para ello utilizamos el interferómetro radio VLBA (Very Long Baseline Array). Tal como esperábamos, el análisis de estas observaciones nos mostró una estructura alargada y asimétrica. Era lo que buscábamos. Pero además, la posición de este microcuásar concordaba con una fuente desconocida de emisión de rayos gamma de muy alta energía.





*Figura 1. Representación artística de un sistema estelar binario donde un agujero negro captura masa de su estrella compañera y eyecta parte de ella en forma de dos chorros relativistas. Crédito: ESA, NASA, y Félix Mirabel (CEA y CONICET).*

Propusimos que el nuevo microcuásar, LS 5039, era además un emisor de rayos gamma. Este resultado representó la primera evidencia observacional de que los microcuásares pueden ser también fuentes gamma de alta energía y que una parte importante de las fuentes de rayos gamma aún no identificadas podrían ser objetos galácticos compactos relacionados con los microcuásares.

### *Desde que ese artículo se publicó, ¿ha habido avances significativos en esa área específica?*

Ha habido avances espectaculares. En el año 2005, cinco después de proponer que los microcuásares son también emisores de rayos gamma, el telescopio Cherenkov HESS detectó LS 5039 a muy alta energía gamma, confirmando nuestro descubrimiento y ampliando el rango energético en que emiten los microcuásares. En el año 2006, el telescopio Cherenkov MAGIC, en la isla de La Palma, detectó emisión variable del microcuásar LSI+61303 y en el año 2007 detectó también emisión rápida en el microcuásar Cygnus X-1, que es el candidato más claro a tener un agujero negro.

### *¿Cuáles son los problemas fundamentales en la actualidad en ese campo de la Astrofísica y qué descubrimientos se esperan realizar en los próximos años?*

Uno de los problemas fundamentales, que afecta tanto a los microcuásares como a los cuásares, es conocer el mecanismo de formación de los chorros relativistas y los procesos de acreción de materia sobre el agujero negro. En los próximos años, y gracias al satélite de rayos gamma Fermi, lanzado en junio de 2008 por la NASA, se espera detectar una gran cantidad de fuentes, siendo probablemente una fracción de ellas microcuásares. Ello permitirá conocer los mecanismos energéticos asociados a los procesos de acreción/eyección.

### *¿Ha tenido alguna influencia sobre tu carrera profesional?, ¿has continuado en esa línea y te ha abierto nuevos campos o posteriormente te dedicaste a otros temas?*

Sí, ha tenido influencia en mi carrera profesional. Este descubrimiento facilitó que me fuera introduciendo en el campo de la astrofísica de altas energías. Hemos ampliado los temas en

que estamos investigando. Uno de ellos se refiere a fuentes que emiten en gamma y no están identificadas debido a la pobre resolución angular del instrumento de observación. Nosotros exploramos con diversos instrumentos (radiotelescopios, satélites con detectores de rayos X, telescopios ópticos, telescopios Cherenkov) la zona extensa para intentar identificar qué objeto (microcuásar, púlsar, núcleo activo de galaxia, etc.) es el responsable de la emisión gamma. Asimismo, desarrollamos modelos teóricos que sean compatibles con los datos observacionales y que permitan explicar de manera razonable toda la fenomenología asociada.

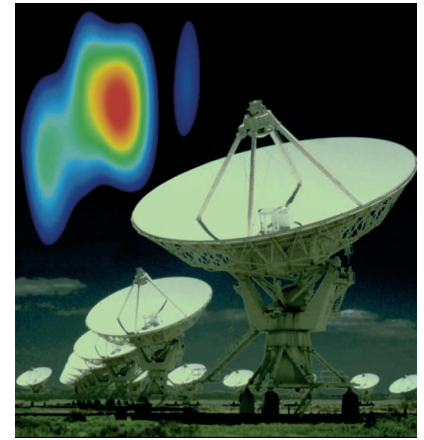
*¿Tienes alguna anécdota relacionada con la gestación y publicación de este artículo y que consideres adecuado contar?*

A finales de 1999 recibimos los datos de nuestras observaciones del VLBA. El análisis de estos datos nos debía decir si habíamos descubierto un nuevo microcuásar o no. Como estábamos ansiosos por saber si la fuente, LS 5039, presentaba chorros decidimos trabajar durante todas las vacaciones de Navidad. Y tuvimos nuestro premio.

DISCOVERY OF A HIGH-ENERGY GAMMA-RAY-EMITTING  
PERSISTENT MICROQUASAR

J.M. PAREDES, J. MARTÍ, M. RIBÓ Y M. MASSI

2000, SCIENCE, 288, 2340



*Figura 2. Composición que muestra el Very Large Array (VLA), un interferómetro situado en Nuevo México, y el mapa de radiofrecuencia de alta resolución del microcuásar LS 5039 obtenido con el VLA y el VLBA en una longitud de onda de 6 cm. La zona de emisión más intensa corresponde a la región central (núcleo, en rojo), mientras que los lóbulos a izquierda y derecha (chorros) son más débiles.*





### *¿Cuál era el problema al que os enfrentasteis?*

Queríamos saber la cantidad de materia que hay en el cinturón Transneptuniano (la zona que hay más allá de Neptuno, que alberga a Plutón y otros cuerpos). Pensábamos que podría haber una gran cantidad de ella en forma de pequeños cuerpos helados, con hielos muy volátiles, y de tamaños entre centímetros y metros. De estos cuerpos, algunos podrían llegar hasta la Tierra o sus proximidades (la Luna), pero debido a su gran volatilidad, si chocaban contra la Tierra lo más probable es que se desintegraran muy pronto en la atmósfera, y no produjeran los meteoros a los que estamos acostumbrados, por lo que quizá la cantidad de estos objetos podría haber sido infraestimada y tal vez la cantidad de materia total en el disco

Transneptuniano podía ser más alta de lo comúnmente aceptado.

### *¿Cuál fue la solución a ese problema y la contribución que ese artículo hizo al campo de trabajo en el que se enmarca?*

Encontramos una manera de intentar determinar la cantidad de materia muy volátil en las cercanías de la Tierra dirigiendo nuestros telescopios a la parte nocturna de la Luna que es visible desde la Tierra y buscando destellos de luz que se produjeran cada vez que algo de suficiente tamaño golpeará en esa parte de la Luna. Sabíamos que cuando un cuerpo colisiona contra otro a velocidades inmensas, el cuerpo que choca se vaporiza (se desintegra en una especie de gas) y emite luz durante el proceso casi instantáneo, lo que permitiría ver incluso impactos de materia muy

volátil. En 1998 probamos la técnica, pero sin éxito, y propusimos que la lluvia de meteoros de las Leónidas en 1999 ofrecería una oportunidad excelente para detectar, fuera de toda duda, destellos de colisión contra la Luna. Finalmente esto se consiguió en noviembre de 1999, y en 2000 publicamos nuestros resultados en la revista *Nature*.

### *Desde que ese artículo se publicó, ¿ha habido avances significativos en esa área específica?*

Sí, poco después pudimos determinar la fracción de energía de impacto que se emite como luz visible en los procesos de colisión con mayor precisión que en nuestro artículo de *Nature*. Y un tiempo después, realizamos la primera detección de impactos esporádicos (impactos producidos por cuerpos de origen



Figura 1. Imagen sintética de la Luna, en la que se han superpuesto cinco imágenes reales de los destellos de impacto detectados en noviembre de 1999. El brillo de la parte nocturna de la Luna se ha intensificado de forma artificial.

desconocido, no asociados a lluvias de meteoros, que son lluvias de material de cometas conocidos). Los impactos esporádicos eran los que íbamos buscando desde el principio, y pudimos determinar la cantidad de impactos de material volátil contra la Tierra en función de la energía. Nuestras conclusiones preliminares apuntan a que cae unas tres veces más materia de lo que se pensaba, y la mayoría es de tipo volátil. Siguiendo el éxito de nuestros trabajos pioneros, la NASA estableció un programa específico para hacer lo mismo que nosotros, empezando en 2005.

*¿Cuáles son los problemas fundamentales en la actualidad en ese campo de la Astrofísica y qué descubrimientos se esperan realizar en los próximos años?*

El campo es muy amplio y muy novedoso, por lo que hay multitud de cosas que explicar y estudiar en profundidad. Quizá uno de los problemas más importantes sea determinar el lugar de procedencia exacto del material más volátil que vemos impactar contra la Luna.

*¿Ha tenido alguna influencia sobre tu carrera profesional?, ¿has continuado en esa línea y te ha abierto nuevos campos o posteriormente te dedicaste a otros temas?*

Supongo que sí tuvo influencia en mi carrera profesional, porque este tipo de aportaciones se valoran positivamente desde el punto de vista curricular, y ayudan a que los comités que financian la investigación en España sean, a veces, más propicios a conceder dinero para proyectos. Tras el trabajo de *Nature*, conseguí mis primeros fondos propios para investigar. Quizá fue casual, quizá no... Hasta entonces el trabajo había sido hecho sin ninguna financiación, intentando usar recursos desaprovechados y sacando medios de donde no había. Incluso la mano de obra para muchas cuestiones clave fue aportada por personas que eran aficionadas a la astronomía y ni siquiera tenían afiliación a ningún centro de investigación. Seguí trabajando en el tema, pero no como actividad científica principal porque requería un esfuerzo muy superior al que podía dedicar con los recursos

económicos y humanos de los que disponía.

*¿Tienes alguna anécdota relacionada con la gestación y publicación de este artículo y que consideres adecuado contar?*

Tras la publicación en *Nature*, el astronauta norteamericano de la misión Apolo XVII y ex-senador del estado de Nuevo México, Harrison Schmitt, se puso en contacto conmigo para comentarme una cosa que le ocurrió mientras pilotaba el módulo lunar, en diciembre de 1971. Harrison Schmitt, más conocido como Jack Schmitt, vio un gran

destello, pero el suceso quedó inexplicado durante mucho tiempo. Se pensaba que fue un rayo cósmico que golpeó su globo ocular, y yo conocía esa versión “oficial”, pero Jack me consultó si podría haber sido un impacto de un cuerpo contra la Luna. Por toda una serie de datos que me proporcionó, llegué a la conclusión de que era muy probable que hubiera visto un impacto de una partícula de la lluvia de las Gemínidas. Él se alegró mucho de que lo que vio fue real, y no una alucinación, como algunos le habían querido hacer creer. Por supuesto, no tenía nada que ver con extraterrestres.

Otros muchos fenómenos luminosos ocurridos en la Luna y vistos desde la Tierra desde antiguo, comúnmente ligados a extraterrestres y a ciencias ocultas, y llamados “fenómenos transitorios lunares” han quedado aclarados como fenómenos de colisión de material interplanetario contra la Luna, y no como debidos a causas más estrafalarias.

*OPTICAL DETECTION OF METEOROIDAL IMPACTS ON THE MOON*

*J.L. ORTIZ, P.V. SADA, L.R. BELLOT RUBIO, E.J. ACEITUNO, J. ACEITUNO, P.J. GUTIÉRREZ Y U. THIELE  
2000, NATURE, 405, 921*





### *¿Cuál era el problema al que os enfrentasteis?*

Gracias a la puesta en marcha del Very Long Baseline Array (VLBA) fue posible realizar un seguimiento muy detallado (con una alta resolución espacial y temporal) de un *jet* relativista en un AGN (sigla inglesa de *Active Galactic Nucleus* o “núcleo activo de galaxia”).

El estudio, realizado en la radio galaxia 3C120, mostró una inusual variación en la hidrodinámica y emisión no térmica, consistente en un aumento repentino de la emisión acompañado de una rotación en el ángulo de polarización.

### *¿Cuál fue la solución a ese problema y la contribución que ese artículo hizo al campo de trabajo en el que se enmarca?*

Estas observaciones se explicaron como debidas a la interacción del *jet*

con una nube en una región intermedia entre las BLR y NLR (siglas inglesas de *Broad* y *Narrow Line Región*, “región de líneas anchas” y “estrechas”).

Esto permitió determinar el importante papel que representa el medio externo en el estudio de los *jets* en AGN, y, por otro lado, la importante contribución del propio *jet* en la evolución de la galaxia que lo alberga (algo que ahora está también muy de moda en las simulaciones cosmológicas).

### *Desde que ese artículo se publicó, ¿ha habido avances significativos en esa área específica?*

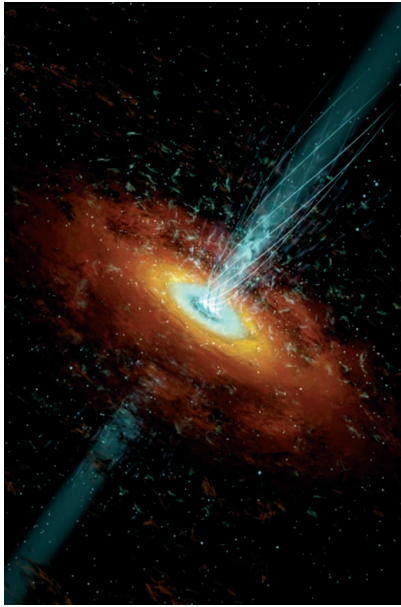
Sí, se han seguido haciendo estudios similares en otros *jets* relativistas, complementados con simulaciones numéricas de la hidrodinámica y emisión, y *feedback* del *jet* en la

evolución galáctica, todo ello proporcionando un avance significativo en el conocimiento de los *jets* relativistas.

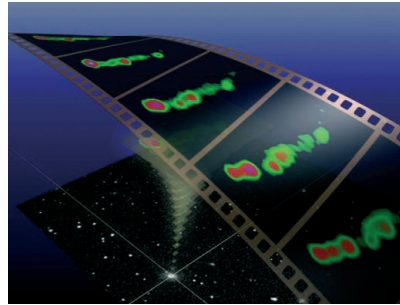
### *¿Cuáles son los problemas fundamentales en la actualidad en ese campo de la Astrofísica y qué descubrimientos se esperan realizar en los próximos años?*

Las principales incógnitas se refieren a los procesos de formación, aceleración y colimación de los *jets*, de especial importancia tanto para el estudio de AGNs, como de GRBs (estallidos de rayos gamma) y microcuásares. Un segundo artículo en *Nature*, en el que figuro como coautor, va justamente en esta línea. En los próximos años se espera un avance significativo en estos temas, sobre todo gracias al satélite Fermi y a la misión japonesa VSOP-2.





*Figura 1. Representación artística de un núcleo activo de galaxia (AGN) con los dos chorros relativistas (jets) perpendiculares al disco.*



*Figura 2. Imágenes reales de la radio galaxia 3C 120, en una representación artística, mostrando la evolución temporal del jet.*

*¿Ha tenido alguna influencia sobre tu carrera profesional? ¿has continuado en esa línea y te ha abierto nuevos campos o posteriormente te dedicaste a otros temas?*

He continuado mi investigación en esta línea.

*¿Tienes alguna anécdota relacionada con la gestación y publicación de este artículo y que consideres adecuado contar?*

Quizá lo que más me sorprendió fue el revuelo mediático que se originó. Creo que a veces el miedo de los periodistas a no hacerse eco de una noticia puede hacer que se genere una bola de nieve enorme. También era una época en la que vendía muchísimo eso de ser español y publicar en *Science* o *Nature*. Ahora creo que ya no es así (lo que en cierta medida puede ser quizás un indicio de “madurez”).

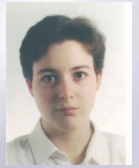
FLASHING SUPERLUMINAL COMPONENTS IN THE JET

OF THE RADIO GALAXY 3C120

J.L. GÓMEZ, A.P. MARSCHER, A. ALBERDI,

S.G. JORSTAD Y C. GARCÍA-MIRÓ

2000, *SCIENCE*, 289, 2317



*¿Cuál era el problema al que os enfrentasteis?*

¿Existen cuerpos con masas más pequeñas que 13 veces la masa de Júpiter aislados, es decir, que no orbitan en torno a ninguna estrella? De existir, ¿en qué proporción con respecto a otros cuerpos más masivos? ¿Cómo se han formado “aislados”? ¿Cuáles son sus propiedades físicas?

*¿Cuál fue la solución a ese problema y la contribución que ese artículo hizo al campo de trabajo en el que se enmarca?*

Se exploró en profundidad una región del cielo muy joven, prácticamente una cuna de estrellas y enanas marrones bien conocida por nuestro equipo: el cúmulo estelar sigma Orionis, que tiene una edad de apenas 3 millones de años (más de 1000 veces más joven que el Sistema Solar).

Las observaciones se realizaron en longitudes de onda rojas y en el infrarrojo cercano, donde se espera que los cuerpos tan poco masivos emitan la mayor parte de su energía por contracción gravitatoria. La exploración dio fruto en el descubrimiento de un número relativamente alto de candidatos a ser cuerpos “aislados” de masa planetaria miembros del cúmulo, con masas en el intervalo desde 5 a 15 veces la masa de Júpiter. Además, se presentaron los primeros espectros de tres de estos objetos, confirmando su atmósfera fría.

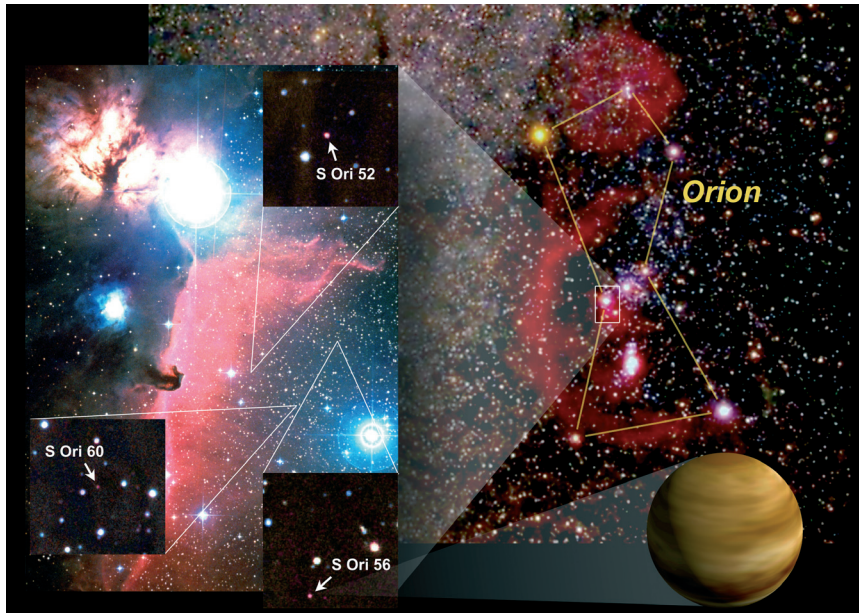
*Desde que ese artículo se publicó, ¿ha habido avances significativos en esa área específica?*

Sí, con posterioridad otros equipos de investigación han encontrado cuerpos de masa parecida en otras regiones del cielo, también jóvenes, lo que apunta

a que la formación de estos objetos tan poco masivos es común en nuestra Galaxia. Varios grupos de científicos teóricos intentan modelar y comprender los mecanismos de formación que dan cabida a los “planetas aislados”. Las exploraciones más profundas y recientes llevadas a cabo en el cúmulo sigma Orionis apuntan a la existencia de cuerpos con apenas 3 veces la masa de Júpiter, posiblemente los cuerpos de menor masa “fotografiados” directamente fuera del Sistema Solar.

*¿Cuáles son los problemas fundamentales en la actualidad en ese campo de la Astrofísica y qué descubrimientos se esperan realizar en los próximos años?*

Se desconocen con certeza los mecanismos de formación de los “planetas aislados”, si bien existen trabajos teóricos que intentan explicar su



*Figura 1. Constelación de Orión (imagen de fondo) sobre la cual se resalta la posición del joven cúmulo estelar en torno a la estrella sigma de dicha constelación (imagen de la izquierda). Se señalan con flechas tres planetas aislados con masas entre 5 y 15 veces la de Júpiter que probablemente pertenecen al cúmulo de sigma Orionis. Cortesía de Gabriel Pérez (IAC).*

existencia en regiones jóvenes de formación estelar con diferentes propuestas que hoy por hoy no están confirmadas. Un dato de suma importancia en Astrofísica es el censo poblacional de todos los cuerpos (estrellas, enanas marrones, y planetas) que se forman a partir de una nube molecular. Cualquier modelo debe reproducir el número relativo observado entre estos tres tipos de cuerpos. ¿Existe algún límite en masa para la formación

de “planetas aislados”? De ser así, ¿dónde está ese límite?

*¿Ha tenido alguna influencia sobre tu carrera profesional?, ¿has continuado en esa línea y te ha abierto nuevos campos o posteriormente te dedicaste a otros temas?*

Sí, he continuado en esta línea de investigación.

*¿Tienes alguna anécdota relacionada con la gestación y publicación de este artículo y que consideres adecuado contar?*

No hay anécdotas, salvo el gran esfuerzo observacional (la necesidad de disponer de noches con buen seeing y transparencia, los datos han de ser profundos), y la satisfacción de todo el equipo al ir descubriendo uno y otro y otro ¡y otro! candidato tras la reducción de los datos.

DISCOVERY OF YOUNG, ISOLATED PLANETARY MASS OBJECTS

IN THE  $\sigma$  ORIONIS STAR CLUSTER

M.R. ZAPATERO-OSORIO, V.J.S. BÉJAR, E.L. MARTÍN,

R. REBOLO, D. BARRADO Y NAVASCUÉS, C.A. BAILER-JONES

Y R. MUNDT

2000, SCIENCE, 290, 103



### *¿Cuál era el problema al que os enfrentasteis?*

Al examinar los espectros de VLT (ESO, Chile) de la estrella HD 82943 (con un sistema planetario), encontramos que los espectros mostraban las huellas inconfundibles del litio 6 ( ${}^6\text{Li}$ ), un isótopo de este elemento que no debería aparecer en una estrella “madura” como HD 82943, porque el litio 6 es extremadamente frágil, y si bien puede formar parte del material primigenio que forma una estrella, no puede durar mucho.

En las estrellas parecidas al Sol, cualquier átomo de  ${}^6\text{Li}$  desaparecería durante sus primeros millones de años de vida: las fuertes corrientes de gases lo llevarían a capas internas de la estrella donde las temperaturas son de 5, 10 o 15 millones de grados. Y

el  ${}^6\text{Li}$  no resiste temperaturas superiores a un millón y medio de grados; más allá de esas temperaturas se destruye. Por lo tanto, encontrar las huellas de este isótopo en el espectro de HD 82943 fue una sorpresa. Calculamos que para dejar semejante marca en el espectro de la estrella, harían falta unos  $3,2 \times 10^{44}$  átomos de  ${}^6\text{Li}$ , una verdadera *insolencia*. Y esa insolencia pedía a gritos alguna explicación.

### *¿Cuál fue la solución a ese problema y la contribución que ese artículo hizo al campo de trabajo en el que se enmarca?*

Como los planetas no alcanzan, ni por asomo, las temperaturas de las estrellas, pueden conservar sin problemas sus cantidades iniciales de este isótopo.

De este modo, las cosas comenzarían a cuadrar y la hipótesis de los planetas devorados surge de forma natural: la manera más simple de explicar esas observaciones es que uno o más planetas hayan caído hacia la estrella.

### *Desde que ese artículo se publicó, ¿ha habido avances significativos en esa área específica?*

Hemos confirmado la presencia de  ${}^6\text{Li}$  en esta estrella con otros espectros de aún mejor calidad. Otros grupos intentaron detectar  ${}^6\text{Li}$  en otros sistemas con planetas. En algunos casos hay “señales” pero no tenemos nada claro.

Es un proyecto muy complicado y demanda mucho trabajo con espectros de altísima calidad y espectros sintéticos muy desarrollados.

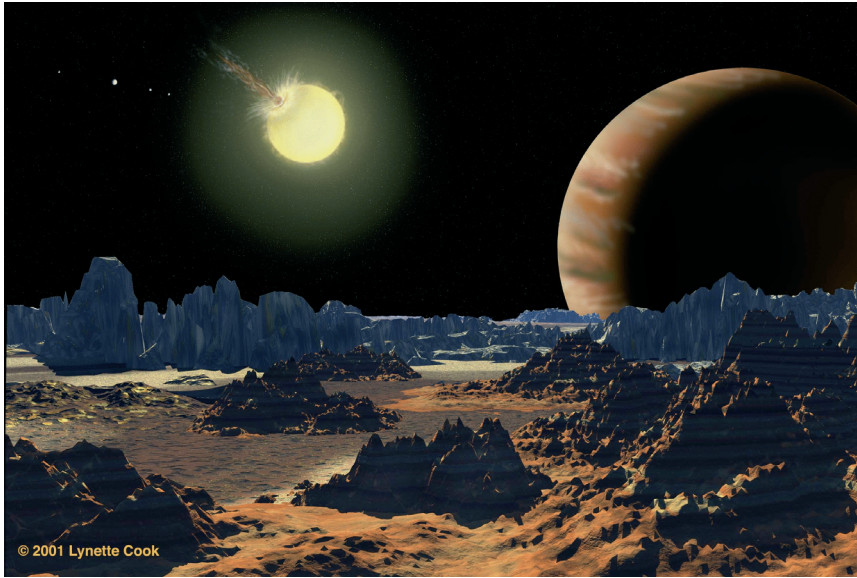


Figura 1. Impresión artística de un planeta cayendo sobre su estrella visto desde un tercer planeta. Cortesía, Lynette Cook.

*¿Cuáles son los problemas fundamentales en la actualidad en ese campo de la Astrofísica y qué descubrimientos se esperan realizar en los próximos años?*

Los dos problemas fundamentales en este campo son, por un lado, la identificación de líneas débiles y mezcladas (*blends*) con la línea de Li para mejorar los espectros sintéticos y por otro, el estudio de las asimetrías de líneas espectrales en los espectros de estrellas tipo solar. Los procesos de convección pueden causar

asimetrías en las líneas espectrales y eso puede afectar la detección del isótopo  ${}^6\text{Li}$ .

*¿Ha tenido alguna influencia sobre tu carrera profesional?, ¿has continuado en esa línea y te ha abierto nuevos campos o posteriormente te dedicaste a otros temas?*

Sí, he continuado trabajando en este tema. Todavía estamos analizando el  ${}^6\text{Li}$  en las estrellas con planetas. Mejoramos las listas teóricas de líneas espectrales y también estudiamos las asimetrías de las líneas del hierro. Los primeros resultados los conseguiremos dentro de unos dos años.

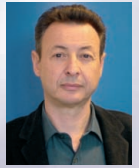
*¿Tienes alguna anécdota relacionada con la gestación y publicación de este artículo y que consideres adecuado contar?*

La noticia de nuestro descubrimiento tuvo mucha repercusión en periódicos, televisiones, radio e Internet.

EVIDENCE FOR PLANET ENGLUFTMENT BY THE STAR

HD 82943

G. ISRAELIAN, N.C. SANTOS, M. MAYOR Y R. REBOLO  
2001, NATURE, 411, 163



### *¿Cuál era el problema al que os enfrentasteis?*

Las estrellas similares al Sol se forman mediante un proceso de acrecimiento, cuyo primer paso es el colapso de fragmentos de nubes interestelares de gas y polvo. El material se va acumulando en el centro, formando una “protoestrella” o embrión estelar. Del material sobrante, una parte se expulsa en forma de chorros a gran velocidad, mientras que otra se acumula alrededor de la protoestrella, formando un disco en rotación. Posteriormente, la protoestrella se alimenta de materia de ese disco para convertirse en una estrella rodeada de un sistema planetario. Sin embargo, el nacimiento de estrellas mucho mayores que el Sol era y sigue siendo un misterio en muchos aspectos. Nuestro grupo de investigación piensa que esas estrellas masivas pueden

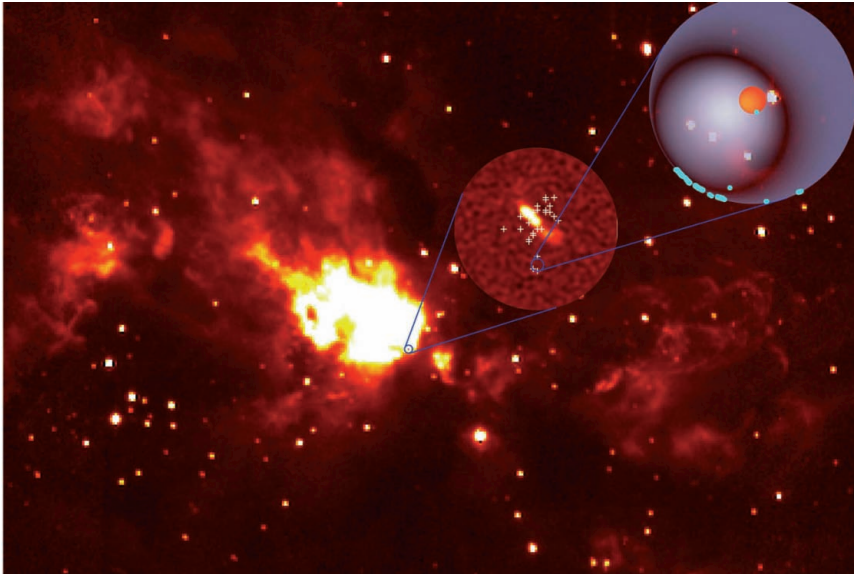
formarse también por acrecimiento, de modo similar a las estrellas más pequeñas. En 1997 contábamos en la región de Cefeo con un candidato de protoestrella masiva (15 veces la masa del Sol) para estar rodeada de un disco de acrecimiento. Decidimos observar esta región a través de la emisión de las moléculas de vapor de agua con el sistema de radiotelescopios VLBA (Very Long Baseline Array) con el objetivo de estudiar la estructura y cinemática del gas del disco. El VLBA tiene una capacidad de distinguir detalles muy pequeños, 200 veces mejor que el Telescopio Espacial Hubble.

### *¿Cuál fue la solución a ese problema y la contribución ese artículo hizo al campo de trabajo en que se enmarca?*

Si bien los datos que obtuvimos eran consistentes con la presencia de un disco alrededor de la protoestrella

masiva denominada HW2, nuestra gran sorpresa fue descubrir una burbuja esférica de vapor de agua expelida por otro embrión estelar que se encuentra en las proximidades de HW2. Esta burbuja, expelida hace 33 años, se ha ido expandiendo a través del medio interestelar a una velocidad de 32.000 km/h, hasta alcanzar un tamaño de 18.000 millones de kilómetros, comparable al tamaño de nuestro Sistema Solar, pero conservando una forma perfectamente esférica. Hasta ese momento se conocía que la mayoría de las estrellas cuando nacen se caracterizan por arrojar al medio interestelar grandes cantidades de materia en forma de jets, moviéndose a una velocidad supersónica, muy colimados, lo cual está de acuerdo con la teoría.

Por ello sorprendió encontrar una burbuja tan perfectamente esférica



*Figura 1. Imagen de la emisión infrarroja de la nube de gas y polvo en la constelación de Cefeo, situada a 2000 años luz de la Tierra, donde están naciendo numerosas estrellas. La primera ampliación de la imagen muestra el detalle de uno de estos embriones estelares (la estructura brillante y alargada que puede apreciarse en el centro), rodeada por focos con fuerte emisión de vapor de agua (indicados con cruces). La segunda ampliación de la imagen (en la esquina superior derecha) muestra en una recreación el lugar donde se encuentra el enigmático embrión estelar que ha producido a su alrededor la burbuja esférica de vapor de agua, la cual continúa aún en expansión, después de haber alcanzado ya un tamaño similar al de nuestro Sistema Solar. El descubrimiento de dicha burbuja se ha realizado utilizando el sistema de radiotelescopios VLBA del National Radio Astronomy Observatory (NRAO), observatorio que depende de NSF (EE.UU.). (Autor de la imagen, Klaus-Werner Hodapp).*

expandiéndose, algo muy difícil de explicar desde el punto de vista teórico. Nuestra contribución fue encontrar, de forma casual, un fenómeno nuevo que quizás tenga que ver con un proceso físico desconocido que provoca la expulsión de materia en una etapa muy temprana de la evolución del embrión estelar, mucho antes de que la influencia de los discos protoplanetarios se haga patente.

*Desde que ese artículo se publicó, ¿ha habido avances significativos en esa área específica?*

Nuestras observaciones y resultados motivaron a otros grupos de investigación a realizar observaciones similares de la emisión de vapor de agua en otras regiones de formación estelar utilizando el sistema del VLBA. Este instrumento, que pertenece al National Radio Astronomy Observatory (EE.UU.), está compuesto por diez radiotelescopios (cada uno de 25 metros de diámetro) situados uno en Hawaii, otro en St. Croix (Islas Vírgenes) y los ocho restantes en el continente norteamericano. Los diez radiotelescopios se controlan

remotamente. Fruto de esas nuevas observaciones, se han encontrado dos protoestrellas más expulsando gas en múltiples direcciones al medio interestelar, de una forma casi isotrópica (aunque no tan perfectamente esférica como en el caso de la región de Cefeo). Por ahora lo que conocemos es que esa emisión de vapor de agua es producto de choques muy violentos en el gas del medio interestelar.

*¿Cuáles son los problemas fundamentales en la actualidad en ese campo de la Astrofísica y qué descubrimientos se esperan realizar en los próximos años?*

El problema fundamental de este fenómeno nuevo es conocer teóricamente el origen físico de las expulsiones isotrópicas en las primeras etapas de la evolución estelar. No tenemos por ahora una respuesta concluyente. Lo que sí esperamos es desvelar en los próximos dos años cuál ha sido la evolución de la burbuja esférica encontrada en la región de

Cefeo, desde que la descubrimos hasta la fecha. Para ello estamos en el proceso del análisis de nuevas observaciones realizadas en la región con el VLBA. Resultados muy preliminares apuntan que esta burbuja, aunque todavía conserva rasgos de los que encontramos en nuestro artículo de *Nature*, se está disolviendo en el medio interestelar.

*¿Ha tenido alguna influencia sobre tu carrera profesional?, ¿has continuado en esa línea y te ha abierto nuevos campos o posteriormente te dedicaste a otros temas?*

Para realizar las observaciones en Cefeo utilizamos a sus límites el potencial del instrumento del VLBA y del cómputo asociado. Fruto de esto, todas las personas que participamos en este experimento nos hemos visto motivados a seguir en esta línea de investigación, siendo hoy en día una de las prioritarias en nuestro grupo español constituido por investigadores del Instituto de Astrofísica de

Andalucía (CSIC), Universitat de Barcelona e Instituto de Ciencias del Espacio (CSIC-IEEC).

*¿Tienes alguna anécdota relacionada con la gestación y publicación de este artículo y que consideres adecuado contar?*

Quizás no sea una anécdota, pero sí un recuerdo de la primera gran sorpresa al encontrarnos con este descubrimiento no buscado, para pasar después a una inmensa alegría compartida con todo el equipo de investigación. Sin lugar a dudas, éste ha sido hasta la fecha el proyecto de investigación más complejo en el que he tenido la gran fortuna de participar con todo nuestro equipo.

SPHERICAL EPISODIC EJECTION OF MATERIAL FROM  
A YOUNG STAR

J.M. TORRELLES, N.A. PATEL, J.F. GÓMEZ, P.T.P. HO,

L.F. RODRÍGUEZ, G. ANGLADA, G. GARAY,

L. GREENHILL, S. CURIEL Y J. CANTÓ

2001, NATURE, 411, 277







*¿Cuál era el problema al que os enfrentasteis?*

Las nebulosas planetarias (NPs) se forman cuando la envoltura eyectada en la fase previa de gigante roja es ionizada por la radiación de la estrella central remanente. En 1997 obtuvimos imágenes y analizamos espectros de K3-35, un objeto cuya naturaleza era dudosa: ¿NP, o estrella en formación?. Nuestro análisis, publicado en 1998, demostró concluyentemente que K3-35 era una NP. Este resultado era incompatible con la existencia de emisión máser de agua hacia K3-35 detectada por otros investigadores. Los máseres de agua son abundantes en gigantes rojas pero eran impensables en las NPs donde no existen las condiciones físicas para tal emisión. Sin embargo, las observaciones existentes no tenían resolución espacial suficiente para localizar con precisión la posición

de los máseres con respecto a K3-35. En un artículo de 1998 sugerimos la necesidad de observar los máseres de agua con alta resolución espacial para establecer o no su asociación con K3-35.

*¿Cuál fue la solución a ese problema y la contribución que ese artículo hizo al campo de trabajo en el que se enmarca?*

En 1999 usamos el Very Large Array (VLA) para obtener datos simultáneos de los máseres de agua y del continuo radio (que traza la región ionizada) en K3-35. Esta técnica permite determinar con alta precisión las posiciones relativas de ambas emisiones. Los máseres de agua sí estaban asociados con K3-35, que se convirtió en la primera NP descubierta con este tipo de emisión. Los máseres estaban en un disco de 85 UA de radio (1 Unidad

Astronómica equivale a 150 millones de kilómetros) y, sorprendentemente, también a unas 5000 UA del centro, en los extremos de dos chorros colimados. A estas distancias enormes no existen las condiciones físicas para excitar el máser, así que propusimos que los chorros estaban involucrados en la excitación. También observamos los máseres de OH en K3-35. La emisión de OH a 1665 MHz estaba circularmente polarizada lo que implicaba que habíamos detectado por primera vez un campo magnético en una NP.

*Desde que ese artículo se publicó, ¿ha habido avances significativos en esa área específica?*

La existencia de NPs con máseres de agua es un hecho hoy en día. Además de K3-35, nuestro grupo ha detectado otras dos NPs y varios candidatos a NP

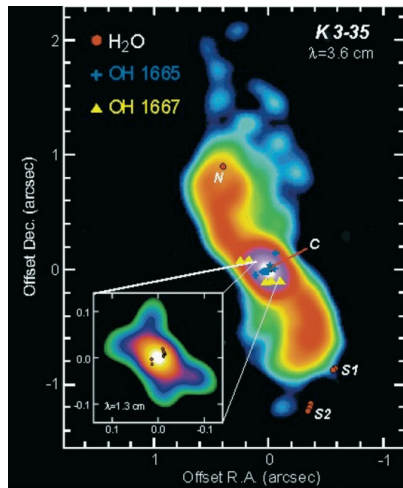


Figura 1. Emisión máser de agua y emisión máser de OH en la nebulosa planetaria K3-35. Las imágenes en color representan la emisión en el continuo radio a 3,6 cm (recuadro grande) y 1,3 cm (recuadro pequeño), que trazan la región ionizada del objeto. Las regiones más intensas (rojas) en la imagen a 3,6 cm representan el chorro colimado bipolar de K3-35. Los puntos rojos indican la posición de los máseres de agua (regiones N, C, S1 y S2). Las cruces azules indican la emisión del máser de OH a 1665 MHz, y los triángulos azules indican la posición de los máseres de OH a 1667 MHz. En la imagen a 3,6 cm, la distancia entre la región N y el centro del objeto es de unas 5000 UA. En la imagen a 1,3 cm, la distancia entre los máseres y el centro es de unas 85 UA.

con máseres de agua. Sabemos que en la formación de los máseres de agua en estos objetos, las eyecciones de materia con geometría no esférica, probablemente en forma de chorros colimados, representan un papel crucial. Tenemos un esquema básico de cómo evolucionan los máseres de agua en estas fases de la evolución estelar y existen evidencias de que estos máseres están asociados con estrellas relativamente masivas (unas 4-5 masas solares). Se han detectado y medido campos magnéticos en varias NPs (incluyendo un estudio muy detallado de K3-35 realizado por nuestro grupo) y en sus estrellas centrales. La existencia y magnitud de los campos magnéticos han dado soporte observacional a los modelos teóricos para la formación de las NPs que incorporaban campos magnéticos.

*¿Cuáles son los problemas fundamentales en la actualidad en ese campo de la Astrofísica y qué descubrimientos se esperan realizar en los próximos años?*

Hoy en día sabemos que las NPs presentan estructuras muy complejas: envolturas no esféricas, multipolares o muy colimadas, y chorros bipolares de

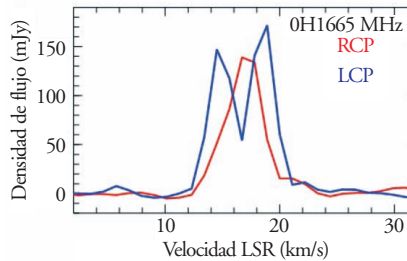
alta velocidad, en muchos casos con cambios de dirección y/o varias orientaciones dentro en una misma NP. Estas componentes no se pueden explicar con los conceptos clásicos de la evolución estelar tardía y representan un reto para los modelos teóricos. Pensamos que en la formación de las NPs intervienen múltiples fenómenos físicos: interacción entre los vientos de la estrella central, campos magnéticos, naturaleza binaria de la estrella central y chorros colimados. En los próximos años esperamos notables avances en nuestro conocimiento sobre el origen de los chorros colimados, en buena parte a través del estudio de los máseres de agua, en la detección de estrellas centrales binarias y en la influencia de los campos magnéticos en la formación y evolución de las NPs.

*¿Ha tenido alguna influencia sobre tu carrera profesional?, ¿has continuado en esa línea y te ha abierto nuevos campos o posteriormente te dedicaste a otros temas?*

La detección de máseres de agua en K3-35 nos condujo (a un grupo de investigadores cada vez más numeroso)

a buscar esta emisión en más NPs. Conocemos ya tres NPs y tenemos varios candidatos más a NP con emisión máser de agua. También estamos buscando y detectando máseres de agua en objetos en la fase evolutiva inmediatamente anterior a la de NP.

La relevancia de todos estos objetos nos ha llevado a observarlos en otras longitudes de onda (infrarrojo, óptico, rayos X) y con técnicas de observación variadas (imágenes, espectros), para obtener más información sobre sus características y propiedades. El mismo K3-35 ha sido objeto de múltiples observaciones por parte de nuestro grupo y otros grupos. Podemos decir que la detección de agua en K3-35 ha abierto una nueva línea de investigación cuyos resultados están constituyendo la base de novedosos proyectos futuros.



*Figura 2. Espectros de la emisión máser de OH a 1665 MHz. El espectro en azul muestra la emisión circularmente polarizada a izquierdas (LCP) y el espectro en rojo muestra la emisión circularmente polarizada a derechas (RCP). La existencia de diferencias entre los dos espectros indica la presencia de un campo magnético.*

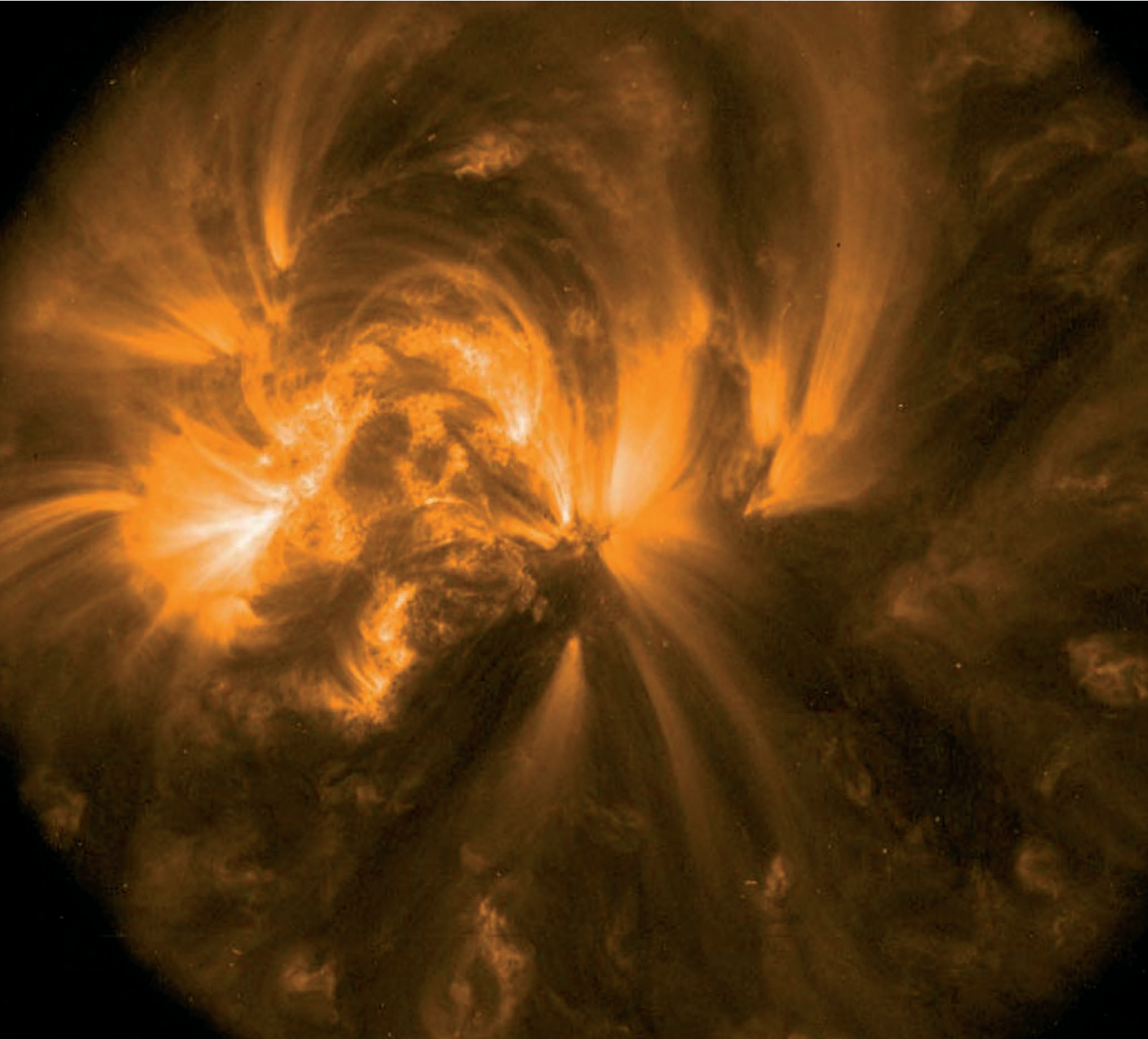
WATER-MASER EMISSION FROM A PLANETARY NEBULA

WITH A MAGNETIZED TORUS

L.F. MIRANDA, Y. GÓMEZ, G. ANGLADA,

Y J.M. TORRELLES

2001, NATURE, 414, 284





### *¿Cuál era el problema al que os enfrentasteis?*

El problema era la determinación del campo magnético en el plasma de la atmósfera solar, tanto en el de estructuras embebidas en la cromosfera y corona como en el de las regiones aparentemente no magnéticas de la fotosfera subyacente. Para tal fin, es necesario medir e interpretar físicamente la polarización de la luz del Sol en líneas espectrales que se originan en su atmósfera.

El mecanismo físico más conocido que produce polarización en una línea espectral es el efecto Zeeman, con el cual se habían realizado hasta entonces la mayor parte de las investigaciones. La polarización producida por el efecto Zeeman se debe a la separación en energía de los niveles magnéticos pertenecientes al nivel superior y/o al nivel inferior de la línea espectral

considerada. Una buena noticia es que la mera detección de polarización debida al efecto Zeeman implica la presencia de un campo magnético. Las malas noticias son las siguientes: en primer lugar, las técnicas de diagnóstico de plasmas basadas en la polarización del efecto Zeeman son de poco interés práctico para la determinación del campo magnético en plasmas calientes (como los de la cromosfera y corona del Sol) porque la amplitud de la señal de polarización es tanto menor cuanto mayor es la anchura térmica de las líneas espectrales; en segundo lugar, el efecto Zeeman como técnica de diagnóstico de plasmas es “ciego” a la presencia de campos magnéticos retorcidos por debajo del elemento de resolución de los telescopios actuales.

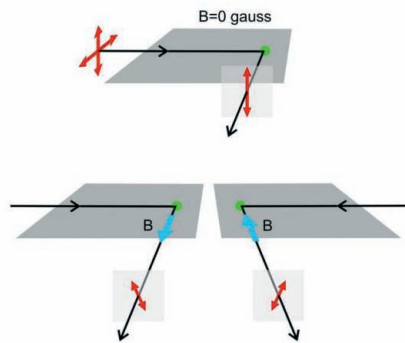
En resumen, la no detección de polarización inducida por el efecto

Zeeman *no* implica necesariamente la ausencia de campos magnéticos en el plasma observado.

### *¿Cuál fue la solución a ese problema y la contribución que tus dos artículos en Nature hicieron al campo de trabajo en el que se enmarcan?*

La solución al problema de la determinación del campo magnético en tales regiones del plasma de la atmósfera solar consistió en desarrollar y aplicar a observaciones espectropolarimétricas novedosas técnicas de diagnóstico basadas en el efecto Hanle (Figura 1).

En nuestra investigación del magnetismo de las regiones aparentemente no magnéticas de la fotosfera solar (Trujillo Bueno, Shchukina y Asensio Ramos 2004) la idea consistió en medir la amplitud



*Figura 1. El panel superior de esta figura ilustra que procesos de dispersión (scattering) de la luz por átomos o moléculas en una atmósfera estelar producen señales de polarización lineal en las líneas espectrales. Cada uno de los dos paneles inferiores indica que dicha polarización es modificada por la presencia de un campo magnético (efecto Hanle). Para las situaciones representadas en cada panel inferior la modificación respecto del caso no magnetizado consiste en una disminución de la amplitud de la polarización y en una rotación de la dirección de polarización. Nótese que incluso para el caso en el que las dos polaridades magnéticas de los dos paneles inferiores estén mezcladas por debajo del límite de resolución, nos queda aún un efecto medible pues la amplitud de la polarización de la luz observada sigue siendo menor que la correspondiente al caso no magnetizado.*

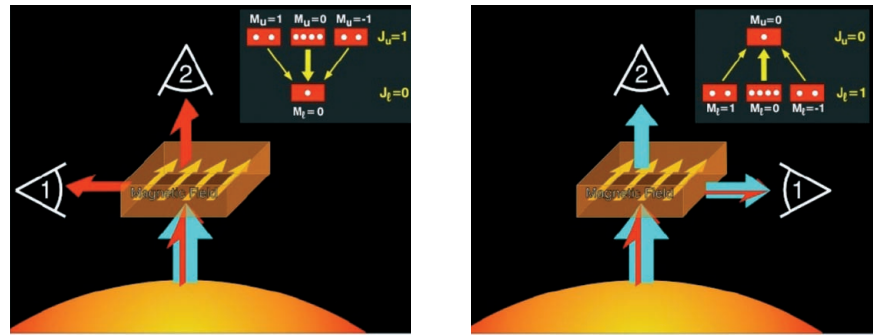
de la polarización lineal producida por procesos de dispersión (*scattering*) en líneas espectrales atómicas y moleculares cuidadosamente seleccionadas y en compararla con aquella que produciría el Sol si no estuviese magnetizado.

La diferencia entre la polarización observada y la correspondiente al caso no magnetizado se debe a la presencia de un campo magnético “oculto”, no resuelto espacialmente, cuya intensidad logramos determinar mediante la simulación numérica del fenómeno de la polarización inducida por procesos de *scattering* y su modificación por el efecto Hanle en modelos tridimensionales hidrodinámicos de la fotosfera solar. La intensidad media de este campo magnético resulta ser muy considerable (del orden de 100 gauss), siendo además muchísimo más grande en las regiones inter-granulares que en las regiones granulares de la fotosfera solar. La intensidad y ubicuidad de este campo magnético implican que las regiones aparentemente tranquilas de la atmósfera solar contienen una enorme cantidad de energía magnética, tan grande que sólo una

pequeña fracción sería suficiente para compensar las pérdidas de energía por radiación que se producen en las regiones externas de la atmósfera solar (la cromosfera y la corona).

En nuestra otra publicación (Trujillo Bueno et al. 2002) logramos predecir (mediante cálculos basados en la teoría cuántica de la polarización) y descubrir (mediante observaciones con el Tenerife Infrared Polarimeter desarrollado por el IAC) la existencia de importantes señales de polarización en las líneas espectrales del triplete del helio neutro a 10830 Angstroms, al observar gigantes estructuras del plasma de la corona solar (protuberancias) donde se pensaba previamente que dicha polarización debería de ser insignificante. En particular, demostramos que el efecto Hanle puede utilizarse como técnica de diagnóstico de campos magnéticos sobre todo el disco solar, y no sólo en geometría de *scattering* a  $90^\circ$  como se hacía previamente. Asimismo, descubrimos un nuevo mecanismo físico que genera

polarización en líneas espectrales (la absorción selectiva de estados de polarización) que es muy difícil de estudiar en los laboratorios terrestres, pues requiere observar la luz parcialmente absorbida por un plasma de muy baja densidad pero de grandes dimensiones (Figura 2). Además, para que se produzca, los átomos del plasma en estudio tienen que estar iluminados de forma anisotrópica, lo que acontece de forma natural en las regiones externas de las atmósferas estelares. La importancia de este descubrimiento radica en que permite investigar de un modo mucho más fiable los campos magnéticos en la cromosfera y corona del Sol, así como en otros sistemas astrofísicos como el de las atmósferas de las supernovas. Por ejemplo, recientes aplicaciones de nuestra técnica de diagnóstico están permitiendo estudiar la fuerza y geometría de los campos magnéticos que confinan el plasma de las gigantescas protuberancias solares, las cuales suelen desencadenar impresionantes erupciones de masa coronal que en ocasiones afectan a la Tierra.



*Figura 2. Ilustración de la polarización de la radiación emergente que resulta de procesos de scattering a  $90^\circ$  y de procesos de scattering a lo largo de la línea de visión, cuando tales procesos tienen lugar en un plasma ópticamente delgado sometido a un campo magnético horizontal. El panel izquierdo se refiere a una línea espectral cuyo nivel superior tiene momento angular  $J(\text{up})=1$  y su nivel inferior  $J(\text{low})=0$ , mientras que el panel derecho corresponde al caso de una transición con  $J(\text{up})=0$  y  $J(\text{low})=1$ . En cada caso la iluminación anisotrópica de los átomos produce la polarización atómica dibujada (véase las diferencias entre las poblaciones de los tres niveles magnéticos pertenecientes a cada nivel atómico con  $J=1$ ). Por lo tanto, en el panel izquierdo la polarización lineal observada es debida a emisión selectiva de estados de polarización, mientras que en el panel derecho el único mecanismo en acción es absorción selectiva de estados de polarización. Por esta razón, en el panel derecho el observador situado en la posición (1) ve que la luz dispersada a  $90^\circ$  por un plasma ópticamente delgado no está polarizada, mientras que el observador situado en la posición (2) ve luz linealmente polarizada perpendicular al campo magnético.*





*Desde que se publicaron esos dos artículos, ¿ha habido avances significativos en esa área específica?*

Sí. En primer lugar, hoy en día muchos de los científicos que trabajan en física solar y estelar están aplicando nuestras técnicas de diagnóstico de plasmas para inferir el campo magnético a partir de observaciones de la polarización causada por la acción conjunta de los efectos Hanle y Zeeman, lo que está dando lugar a un avance muy importante en nuestro conocimiento empírico de los campos magnéticos que confinan el plasma de estructuras cromosféricas y coronales. Por otra parte, algunas agencias espaciales como la de Japón están planeando un nuevo telescopio espacial solar, una de cuyas dos opciones incluye sofisticados instrumentos para observar las señales de polarización en líneas espectrales que hemos investigado en nuestros trabajos. Tal desarrollo daría lugar a un avance sin precedentes en física solar y estelar.

*¿Cuáles son los problemas fundamentales en la actualidad en ese campo de la Astrofísica y qué descubrimientos se esperan realizar en los próximos años?*

En el terreno instrumental, el principal problema radica en que no disponemos de ningún telescopio solar terrestre de gran apertura (por ejemplo, con un diámetro de 4 metros), lo cual es esencial con vistas a poder detectar muchas de tales señales de polarización con una resolución espacial de 100 km sobre la atmósfera solar y con una resolución temporal del orden de segundos. Afortunadamente, varios países europeos están trabajando en equipo en el diseño de lo que podría ser el Gran Telescopio Solar Europeo, aunque de obtenerse financiación para su construcción en uno de los observatorios de Canarias no estaría operativo hasta dentro de al menos 10 años. Otra buena noticia es que, como mencionaba anteriormente, la agencia espacial japonesa está muy interesada en dotar a su siguiente telescopio solar con un novedoso instrumento diseñado para medir desde el espacio las señales de polarización que resultan

de la acción conjunta de los efectos Hanle y Zeeman. De hecho, acabamos de tener una importantísima reunión científica en Tokio donde hemos discutido en profundidad las dos posibles opciones que se contemplan para dicho telescopio espacial conocido por el nombre de SOLAR-C.

En el terreno teórico, incluyendo el de la simulación numérica del proceso de la generación y transporte de radiación polarizada en plasmas magnetizados, quizás el principal problema es que somos muy pocos los científicos que estamos trabajando en este fascinante campo de investigación en Astrofísica, el cual requiere combinar cuidadosamente la física atómica, la simulación numérica, y observaciones espectropolarimétricas con sofisticados instrumentos.

*¿Ha tenido alguna influencia sobre tu carrera profesional?, ¿has continuado en esa línea y te ha abierto nuevos campos o posteriormente te dedicaste a otros temas?*

Creo que mucha, aunque yo no creo que un buen artículo en *Nature* o *Science* sea mejor que un buen artículo

en otras revistas como *The Astrophysical Journal* o *Astronomy and Astrophysics*. Los artículos en *Nature* y *Science* son como notas de prensa de lujo, pero no todo lo que un científico logra es adecuado para su publicación en tales revistas interdisciplinarias. Está bien publicar de vez en cuando en ellas, siempre y cuando se trate de buenos artículos de posible interés también para científicos que trabajan en otras disciplinas, pero el objetivo debe ser

siempre el intentar aportar un grano de arena significativo para el avance de la Ciencia, y en publicar de forma clara y rigurosa los resultados científicos en la revista que se estime idónea para cada investigación en particular. En cuanto a la segunda pregunta, continuamos trabajando con mucho interés en esta línea de investigación, pero intentando facilitar la aplicación de estos desarrollos que hemos logrado en el mundo de la física solar y estelar a otros campos de la Astrofísica.

SELECTIVE ABSORPTION PROCESSES AS THE ORIGIN OF  
PUZZLING SPECTRAL LINE POLARIZATION FROM THE SUN  
J. TRUJILLO-BUENO, E. LANDI DEGL'INNOCENTI,  
M. COLLADOS, L. MERENDA Y R. MANSO SAINZ.  
2002, *NATURE*, 415, 403

A SUBSTANTIAL AMOUNT OF HIDDEN MAGNETIC ENERGY  
IN THE QUIET SUN  
J. TRUJILLO-BUENO, N. SHCHUKINA Y A. ASENSIO  
RAMOS  
2004, *NATURE*, 430, 326



Margarita Hernanz Carbó  
Institut de Ciències de l'Espai  
(CSIC-IEEC, Barcelona)



*¿Cuál era el problema al que os enfrentasteis?*

Aunque a primera vista todas las estrellas del firmamento parecen inmutables y con brillo constante, a menudo ocurren explosiones estelares, que provocan el aumento espectacular de la luminosidad de alguna de ellas. Un ejemplo son las explosiones de novas, que se producen cuando una estrella enana blanca arranca materia rica en hidrógeno de una estrella compañera próxima a ella. La acumulación progresiva de masa sobre la superficie de la enana blanca acaba provocando la combustión nuclear descontrolada del hidrógeno, con la consiguiente expulsión de la envoltura de la estrella a velocidades de varios centenares o miles de km/s, acompañada de un gran aumento de luminosidad. El proceso de apagado de la explosión y de vuelta al estado

anterior de transferencia pacífica de materia es poco conocido, y sólo observable en rayos X. Por ello decidimos observar mediante satélites la emisión de rayos X de algunas novas tras su explosión.

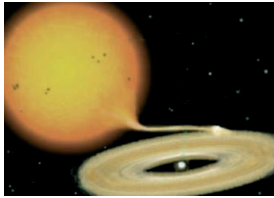
*¿Cuál fue la solución a ese problema y la contribución que ese artículo hizo al campo de trabajo en el que se enmarca?*

Los rayos X son el único medio para estudiar las fases post-explosivas de las novas; una vez se ha expulsado la envoltura, en la superficie de la enana blanca continúa la combustión nuclear (pacífica) del hidrógeno, por lo que su atmósfera se mantiene muy caliente y emite rayos X. El satélite XMM-Newton (siglas de X-ray Multimirror Mission) de la Agencia Espacial Europea (ESA), ofrece una oportunidad única para estudiar

dicha emisión, por su gran capacidad colectora. Nuestra observación con XMM-Newton de la nova V2487 Oph, que había explotado en 1998, produjo resultados sorprendentes, ya que no se detectó la atmósfera caliente de la enana blanca, sino un tipo de emisión de rayos X distinto, característico de la caída violenta de materia sobre una enana blanca con un intenso campo magnético. Por ello, dedujimos que la transferencia de materia se había reestablecido tan sólo mil días después de la explosión.

*Desde que ese artículo se publicó, ¿ha habido avances significativos en esa área específica?*

Desde el año 2002, se ha avanzado mucho en el campo de las observaciones en rayos X, ya que los satélites XMM-Newton y Chandra han proporcionado nuevos datos de



*Figura 1. Representación artística de una enana blanca atrayendo materia de la estrella compañera. El resultado de esta acumulación de materia es una explosión nuclear conocida como nova.*

excelente calidad. Se han obtenido espectros de alta resolución, pasando de la era de la imagen a la de la espectroscopía, tal como ocurrió hace décadas en la astronomía óptica. El poder conocer la cantidad de energía por unidad de tiempo emitida a cada longitud de onda o frecuencia, a través del estudio de las denominadas líneas de emisión y/o de absorción, permite estudiar en detalle los fenómenos físicos subyacentes. En el caso de las novas, cada vez se dispone de mayor información relativa a la propia atmósfera muy caliente de la enana blanca, así como del material circundante, tanto del expulsado durante la explosión como del que cae nuevamente sobre la enana blanca, transferido por su compañera.

*¿Cuáles son los problemas fundamentales en la actualidad en ese campo de la Astrofísica y qué descubrimientos se esperan realizar en los próximos años?*

En el campo de las explosiones estelares existen varios problemas básicos aún por resolver. Por una parte, los modelos teóricos de la propia explosión aún adolecen de algunas simplificaciones,

como la hipótesis de simetría esférica y el consiguiente cálculo en una dimensión, que deberán superarse en el futuro próximo. Tanto el avance continuo en la potencia de los ordenadores, como el desarrollo de nuevas técnicas numéricas, permitirán abordar el fenómeno de la explosión en tres dimensiones, con tiempos de cálculo razonables. Respecto a las observaciones en rayos X, el nivel de detalle que se está alcanzando con los espectrómetros de rayos X a bordo de los satélites XMM-Newton y Chandra es un reto para su interpretación teórica, siendo necesarios modelos de emisión de rayos X más completos: modelos de atmósferas muy calientes de enanas blancas, así como modelos de acrecimiento de materia con presencia de campos magnéticos intensos.

*¿Ha tenido alguna influencia sobre tu carrera profesional?, ¿has continuado en esa línea y te ha abierto nuevos campos o posteriormente te dedicaste a otros temas?*

Mi carrera profesional ha continuado explorando la vía abierta con la publicación del artículo en *Science* en el 2002. Es sabido que en ciencia un

sólo objeto no define bien un fenómeno, por lo que deben encontrarse más casos para poder establecer el carácter general o excepcional del evento. El disponer del satélite de rayos X XMM-Newton nos ha permitido ampliar a otros objetos el estudio del apagado de las novae y su posterior recuperación. No hemos encontrado ningún objeto del mismo tipo aún, pero tenemos indicios de que deben existir a partir de la detección de objetos semejantes. Además, queremos sacar partido de futuros instrumentos espaciales –tanto de rayos X como de rayos gamma– por lo que estamos también implicados en su diseño, de cara a garantizar que en el futuro próximo sea posible desarrollar ciencia de la máxima calidad.

*¿Tienes alguna anécdota relacionada con la gestación y publicación de este artículo y que consideres adecuado contar?*

La publicación de este artículo tuvo bastante impacto mediático, mayor

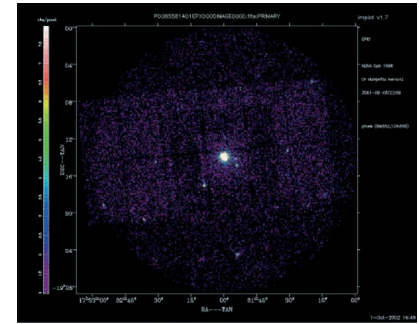
que el habitual, por el hecho de que éramos dos mujeres las autoras. Aunque este aspecto no tendría por qué sorprender, fue bastante destacado en los medios de comunicación, con frases como “dos astrónomas descubren...”; parecía que fuera más importante la autoría por parte de dos mujeres, que no el propio contenido del artículo. Además, se resaltó el hecho de que se tratara de una alumna de tesis –Glòria Sala– y su directora –yo misma– hecho por otra parte bastante habitual en nuestro campo de investigación. En suma, hubo varias entrevistas respecto a la “conciliación” de trabajo y familia, etc., que muy probablemente no se hubieran ni planteado si los autores no hubiéramos sido mujeres; valga decir que ello es prueba de que aún no se ha alcanzado la igualdad.

A CLASSICAL NOVA, V2487 OPH 1998, SEEN IN X-RAYS

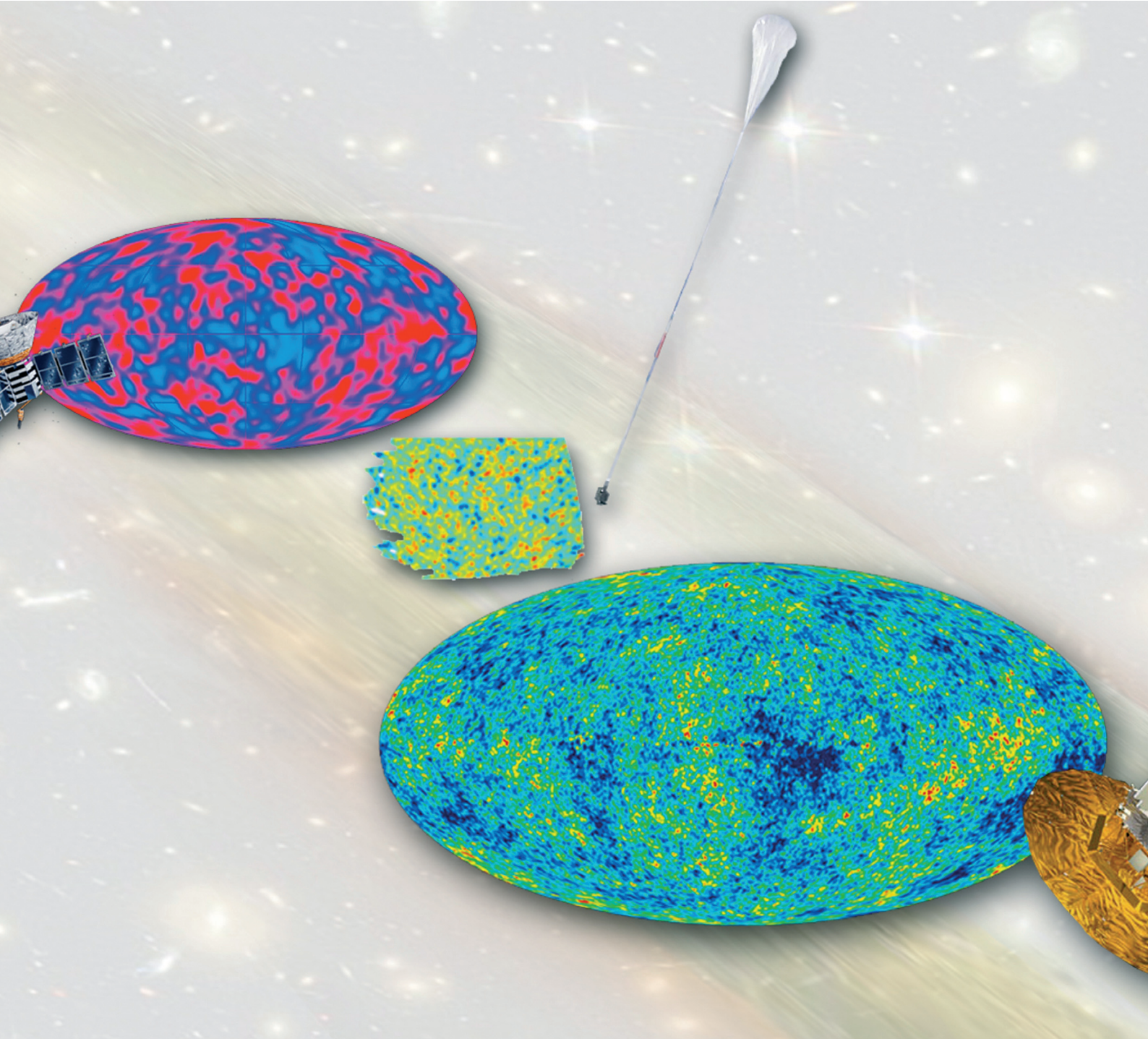
BEFORE AND AFTER ITS EXPLOSION

M. HERNANZ Y G. SALA

2002, SCIENCE, 298, 393



*Figura 2. Imagen de la Nova Oph 1998 obtenida en rayos X con el instrumento EPIC a bordo del observatorio XMM-Newton.*





*¿Cuál era el problema al que te enfrentaste?*

Debía escribir un artículo resumiendo el avance en nuestros conocimientos científicos sobre las primeras estrellas y galaxias que se formaron en el universo, y cómo éstas afectaron al medio intergaláctico.

*¿Cuál fue la solución a ese problema y la contribución que ese artículo hizo al campo de trabajo en el que se enmarca?*

La contribución fue hacer una revisión del trabajo hecho hasta aquel momento por muchos científicos, y de lo que habíamos aprendido a partir de diversas observaciones.

*Desde que ese artículo se publicó, ¿ha habido avances significativos en esa área específica?*

Sí, ha habido avances sustanciales. Uno de los más importantes fue el aumento de precisión con el cual se midió la opacidad del universo desde el momento en que se formaron las primeras estrellas. Podemos medir la opacidad del universo hacia la radiación más lejana que podemos observar. Esa radiación es la que se llama “radiación cósmica de fondo”, la que ha estado llenando todo el espacio desde el momento del *Big Bang*. La radiación cósmica empezó a propagarse libremente por el espacio cuando el universo tenía unos 400.000 años de edad, en el momento en que la temperatura había bajado lo suficiente para que por primera vez se formaran los átomos. Antes de esa época el universo era opaco, ya que la

materia ionizada (con núcleos atómicos y electrones libres) es mucho más opaca que los gases atómicos. Sin embargo, al formarse las primeras estrellas y galaxias, la materia se volvió a ionizar, esa época se denomina reionización. Al observar la radiación de fondo, podemos observar la fracción de esa radiación que ha sido absorbida en su camino hacia nosotros, cuando la radiación atravesó la época de reionización y se encontró con la materia ionizada, que da una cierta opacidad al universo.

Las primeras medidas habían sugerido una opacidad del 15%. Esto parecía indicar que las primeras estrellas se habían formado muy temprano comparado con lo que era de esperar en la teoría para la formación de estructuras en el universo, aunque el error de la medida era muy alto. Medidas posteriores con una mayor



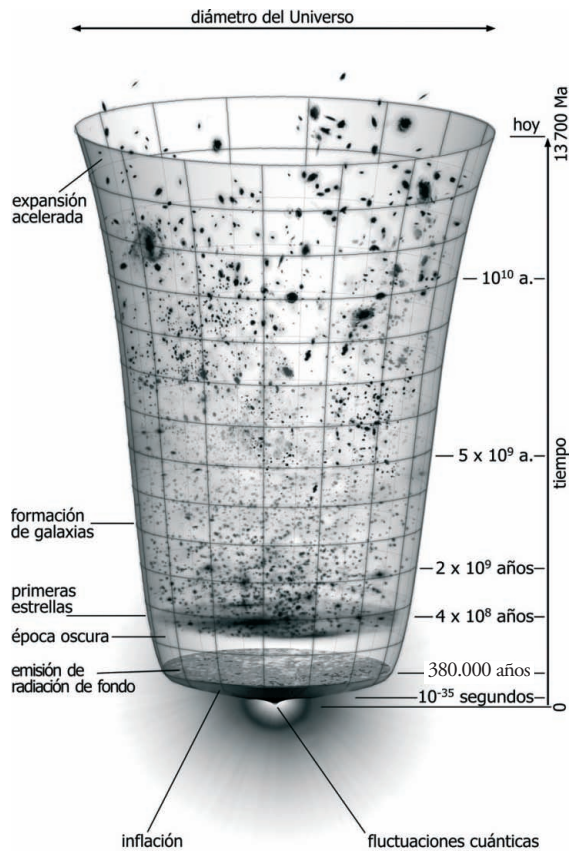


Figura 1. Esquema de la evolución del universo. Cortesía del consorcio WMAP, adaptada por Juan Antonio Bernedo.

precisión han indicado que la opacidad está alrededor del 8%, un valor mucho más acorde con las expectativas.

*¿Cuáles son los problemas fundamentales en la actualidad en ese campo de la Astrofísica y qué descubrimientos se esperan realizar en los próximos años?*

Los problemas son averiguar qué tipo de estrellas y galaxias fueron las primeras en formarse, a qué edad se formaron, y el tipo de radiación que emitieron para ionizar la materia del universo.

Podemos prever que se realizarán varios descubrimientos nuevos en ese campo que nos permitirán avanzar durante la próxima década. Telescopios en el infrarrojo nos permitirán descubrir galaxias cada vez más lejanas, observadas cuando el universo tenía menos de 1.000 millones de años y se estaban formando esas primeras estructuras.

Esperamos poder ver las mayores explosiones estelares, llamadas estallidos de rayos gamma, que se pueden observar también a las mayores distancias posibles debido a su luminosidad excepcional; la detección de esos estallidos demuestra la presencia de estrellas masivas y nos permite

examinar el estado de su medio circundante. Otra dirección de avance importante va a ser la posible detección de emisión de hidrógeno en la línea de 21 cm por parte de la materia atómica intergaláctica en el universo primitivo, en el momento de la formación de las primeras estrellas, usando radiotelescopios a muy bajas frecuencias. Esto representaría un gran hito para la cosmología observacional.

*¿Ha tenido alguna influencia sobre tu carrera profesional?, ¿has continuado en esa línea y te ha abierto nuevos campos o posteriormente te dedicaste a otros temas?*

Sigo pensando e investigando sobre el tema de que trató mi artículo, pero trabajo también en otros temas distintos.

*¿Tienes alguna anécdota relacionada con la gestación y publicación de este artículo y que consideres adecuado contar?*

Cuando estaba escribiendo ese artículo vivía en el estado de Ohio, y tenía una novia suiza que era profesora de la universidad en el departamento de literatura china. El tema de mi artículo quedaba evidentemente muy lejos de su especialidad. Sin embargo, cuando faltaban unos diez días para la fecha límite de entrega del artículo y todavía no tenía nada escrito, lo cual ya me estaba poniendo nervioso, ella me dio una idea para una forma de empezar su redacción.

A partir de aquí las ideas que tenía en la cabeza fueron plasmándose en forma escrita rápidamente. Al final del artículo mencioné el nombre de mi novia en los

agradecimientos. Luego le di una copia cuando salió publicado, pero creo que nunca se dio cuenta de que había sido citada en el agradecimiento de un artículo en *Science*.

---

*THE DARK AGE OF THE UNIVERSE*

*J. MIRALDA-ESCUDE*

*2003, SCIENCE, 300, 1904*



Josep Miquel Girart Medina  
Institut de Ciències de l'Espai  
(CSIC-IEEC, Barcelona)



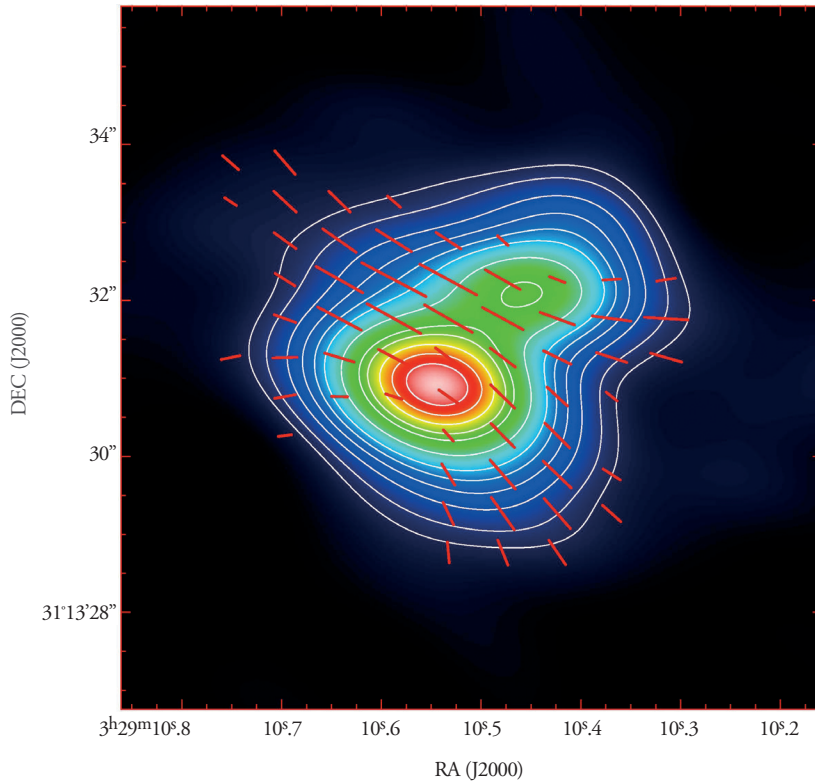
### *¿Cuál era el problema al que os enfrentasteis?*

Las estrellas se forman del colapso (por su propia gravedad) de gigantes nubes interestelares formadas por gas molecular y partículas de polvo. Estas partículas de polvo hacen que esas nubes sean opacas a la radiación visible. Así que si queremos estudiar la formación estelar debemos irnos a longitudes de onda infrarrojas y de microondas. El gran desarrollo en la instrumentación de telescopios que trabajan a estas longitudes de onda ha permitido en las últimas décadas realizar un enorme avance en el conocimiento de la formación estelar. Pero todavía queda mucho camino por hacer, y hay muchas incógnitas. Una de ellas es cuál es el mecanismo que controla el inicio y posterior evolución del colapso de una nube: ¿los campos magnéticos, la turbulencia?

### *¿Cuál fue la solución a ese problema y la contribución que ese artículo hizo al campo de trabajo en el que se enmarca?*

El campo magnético interestelar solo se puede estudiar si se consigue detectar la parte polarizada de la radiación. La emisión polarizada constituye solo una pequeña fracción de la radiación total que un telescopio recibe, ¡radiación total que especialmente en longitudes de onda de microondas de por si ya es muy débil! (por eso los radiotelescopios suelen tener dimensiones grandes). Uno de los primeros progresos lo realizamos hace una década con el conjunto de antenas BIMA (California). En este radiotelescopio instalamos un sistema que permitía detectar la emisión polarizada de los granos de polvo en las nubes moleculares donde se están formando estrellas.

Más recientemente, se instaló un sistema polarizador en el SMA (Submillimeter Array, en Mauna Kea, Hawaii), el primer conjunto de antenas que llega a longitudes de onda por debajo del milímetro. Aprovechando que este radiotelescopio es muy sensible a la radiación generada por el polvo interestelar, apuntamos el telescopio a una de las mejores candidatas que teníamos: una región en la que se están formando estrellas que serán como el Sol, que solo está a 1000 años luz de la Tierra. ¡Y dimos en la diana! Las imágenes que obtuvimos mostraban con claridad que el colapso de la nube arrastra el campo magnético, tomando éste una forma similar a la de un reloj de arena, tal como predicen los modelos que suponen al campo magnético el papel de “controlador” del colapso.



*Figura 1. Imagen del SMA a 0,88 mm de la emisión del polvo asociado a la región de formación estelar NGC 1333 IRAS 4A, donde se están formando estrellas como el Sol. Las barras rojas indican la dirección del campo magnético.*

*Desde que ese artículo se publicó, ¿ha habido avances significativos en esa área específica?*

Se ha avanzado, pero modestamente. A pesar de la potencia del SMA, el número de nubes moleculares que son suficientemente brillantes a longitudes de onda submilimétricas no es muy grande, así que la muestra a estudiar es relativamente pequeña. Pero, paso a paso, creo que en pocos años el avance será significativo.

*¿Cuáles son los problemas fundamentales en la actualidad en ese campo de la Astrofísica y qué descubrimientos se esperan realizar en los próximos años?*

Respecto a la formación estelar, hay todavía bastantes aspectos controvertidos o poco conocidos. Uno es saber si las estrellas más masivas se forman de la misma manera que las de más baja masa, como el Sol. Otro es saber cómo se forman los planetas. El avance de ambos problemas está limitado por la enorme dificultad de observar estos procesos. En este sentido, ALMA (Atacama Large Millimeter Array), el nuevo conjunto de antenas que se está construyendo en Chile a más de 5.000 metros de altura,

va a tener un impacto enorme en el progreso de estos aspectos, así como de otros muchos. Hay una parte importante de la comunidad astronómica, que como se dice en catalán, “espera amb candeletes” (“espera con ansia” o “espera con ganas”) la puesta en marcha de ALMA.

*¿Ha tenido alguna influencia sobre tu carrera profesional?, ¿has continuado en esa línea y te ha abierto nuevos campos o posteriormente te dedicaste a otros temas?*

Desde que nos dimos cuenta de la importancia de los resultados, nuestro grupo de trabajo ha enfocado gran parte de su investigación al estudio del campo magnético en nubes moleculares, intentando sacar el máximo rédito a la potencia del SMA, así como de otros instrumentos que permiten detectar la emisión polarizada de la radiación interestelar.

*¿Tienes alguna anécdota relacionada con la gestación y publicación de este artículo y que consideres adecuado contar?*

Nuestras observaciones fueron de las primeras que se realizaron con el sistema

polarizador del SMA, así que íbamos de conejillos de indias. El tratamiento de los datos obtenidos de las observaciones con el SMA lo realicé en el mismo Hawaii en colaboración con mi colega Ramprasad Rao (un hindú afincado en Hawaii y que trabaja para el SMA). Por motivos varios nos dimos cuenta de que el *software* que el SMA había diseñado para el tratamiento de las observaciones literalmente se colapsaba con nuestras datos, obtenidos usando el sistema polarizador. Fueron unos días que prácticamente no avanzamos nada, ¡una frustración total!

Tuvimos que “volver al pasado”, y usar *software* más antiguo que había funcionado muy bien para BIMA y adaptar algunas rutinas para las especificaciones del SMA, sin estar seguros de que funcionaría. Al final, lo conseguimos, y cuando obtuvimos las primeras imágenes nos dimos cuenta enseguida de la importancia de los resultados que encerraban.

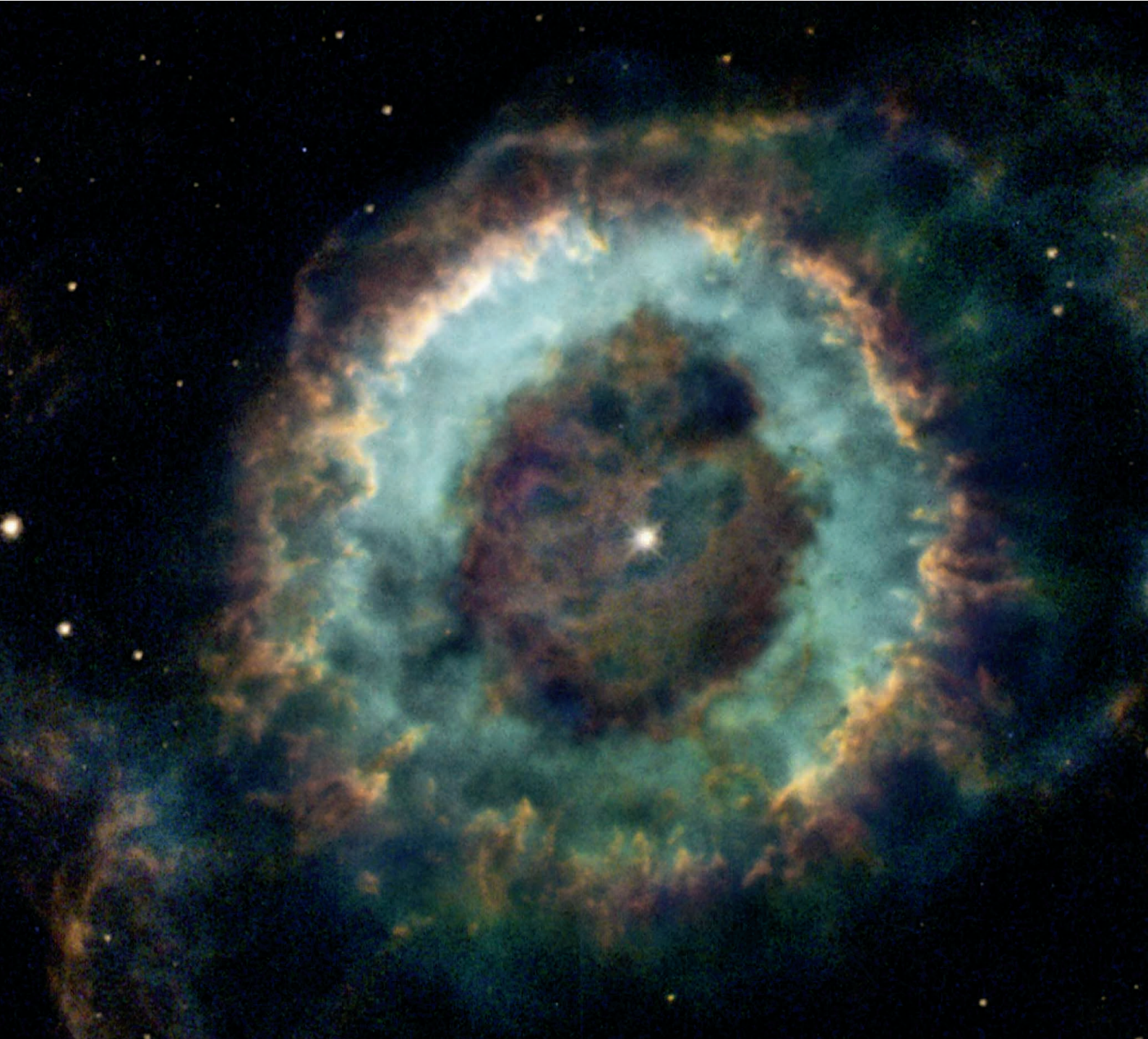
MAGNETIC FIELDS IN THE FORMATION OF SUN-LIKE STARS

J.M. GIRART, R. RAO Y D.P. MARRONE

2006, SCIENCE, 313, 812



Figura 2. El Submillimeter Array, situado cerca de la cima de Mauna Kea, en Hawaii, a más de 4000 metros de altura.



Aníbal García Hernández  
Instituto de Astrofísica  
de Canarias (Tenerife)



### *¿Cuál era el problema al que os enfrentasteis?*

Queríamos identificar por primera vez las estrellas viejas de nuestra Galaxia (estrellas AGB, de sus siglas en inglés *Asymptotic Giant Branch*, Rama Asintótica de la Gigantes) con masas entre 4 y 8 veces la del Sol, para así poder estudiar su composición química y conocer qué elementos se producen en el interior de estas estrellas. Esto nos permitiría comprobar observacionalmente los modelos teóricos de las etapas finales de la vida de este tipo de estrellas (evolución estelar) así como los mecanismos físicos (nucleosíntesis estelar) que las convierten en auténticas fábricas de elementos pesados, algunos muy exóticos como rubidio, zirconio, bario, estroncio, etc. En particular, los modelos de evolución estelar

predecían desde hace más de 40 años que este tipo de estrellas debían producir rubidio (en particular el isótopo rubidio  $^{87}\text{Rb}$ ) en grandes cantidades, pero sin embargo esto nunca había sido confirmado con observaciones.

### *¿Cuál fue la solución a ese problema y la contribución que ese artículo hizo al campo de trabajo en el que se enmarca?*

Basándonos en medidas en longitudes de onda de radio, así como en los colores infrarrojos peculiares pudimos aislar eficientemente las estrellas adecuadas por primera vez. El análisis químico de estas estrellas nos permitió descubrir que poco antes de morir muestran en su superficie cantidades extraordinarias de rubidio (hasta 100-1000 veces la

cantidad de este elemento presente en el Sol). Aunque la existencia de este tipo de estrellas masivas y evolucionadas fuertemente enriquecidas en rubidio había sido predicha hace más de 40 años por los modelos teóricos de nucleosíntesis estelar, hasta la fecha no se había obtenido una confirmación observacional.

Este trabajo ha permitido estudiar por primera vez las últimas etapas en la vida de las estrellas AGB más masivas. Además, estas estrellas son importantes contribuyentes al enriquecimiento del medio interestelar, por lo que entender lo que sucede dentro de ellas y cuál es la composición química del material devuelto al medio interestelar al final de sus días es crucial para entender la evolución química de nuestra Galaxia.



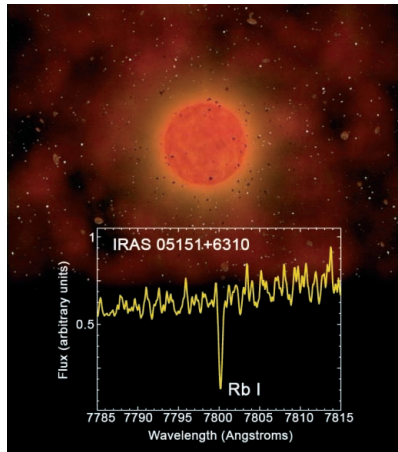


Figura 1. El rubidio es detectado como una línea de absorción muy intensa a una longitud de onda de 780 nanómetros. Se muestra un espectro de una de las estrellas ricas en rubidio descubiertas, superpuesto a una impresión artística de una estrella AGB. Imagen (Cortesía de ESA, European Space Agency).

*Desde que ese artículo se publicó, ¿ha habido avances significativos en esa área específica?*

Los resultados de este artículo no fueron explicados completamente por los modelos teóricos disponibles en su momento y este trabajo ha hecho posible que podamos mejorarlos, de forma que reproduzcan las observaciones. Actualmente, los modelos se han refinado y son capaces de reproducir las observaciones de estrellas de rubidio. Además, este tipo de estrellas podrían explicar las anomalías químicas que se encuentran en los meteoritos más viejos del Sistema Solar y por otra parte se está comenzando a identificarlas en otras galaxias cercanas.

*¿Cuáles son los problemas fundamentales en la actualidad en ese campo de la Astrofísica y qué descubrimientos se esperan realizar en los próximos años?*

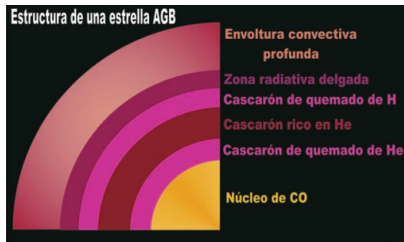
Los problemas fundamentales están relacionados con lo débiles que son estas estrellas en luz visible y con la mejora de los modelos teóricos

actuales. Aunque este tipo de estrellas se encuentra en prácticamente cualquier galaxia, las grandes distancias a otras galaxias hacen que sea muy difícil detectarlas, incluso utilizando telescopios de 8-10 metros de diámetro. Ahora que somos capaces de aislar eficientemente las estrellas adecuadas por primera vez, será posible detectarlas y estudiarlas en las galaxias más cercanas (las denominadas galaxias del Grupo Local).

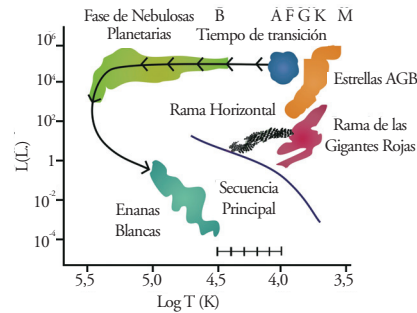
Por otra parte, la información que se pueda obtener en otras longitudes de onda nos dará información muy importante que nos permitirá refinar los modelos teóricos actuales, lo cual ayudará a comprender mejor las últimas etapas en la vida de esos objetos.

*¿Ha tenido alguna influencia sobre tu carrera profesional?, ¿has continuado en esa línea y te ha abierto nuevos campos o posteriormente te dedicaste a otros temas?*

Este trabajo ha permitido continuar en esta línea de investigación, puesto que estas estrellas se pueden estudiar en otros rangos de longitud de onda como el infrarrojo, en los que obtenemos



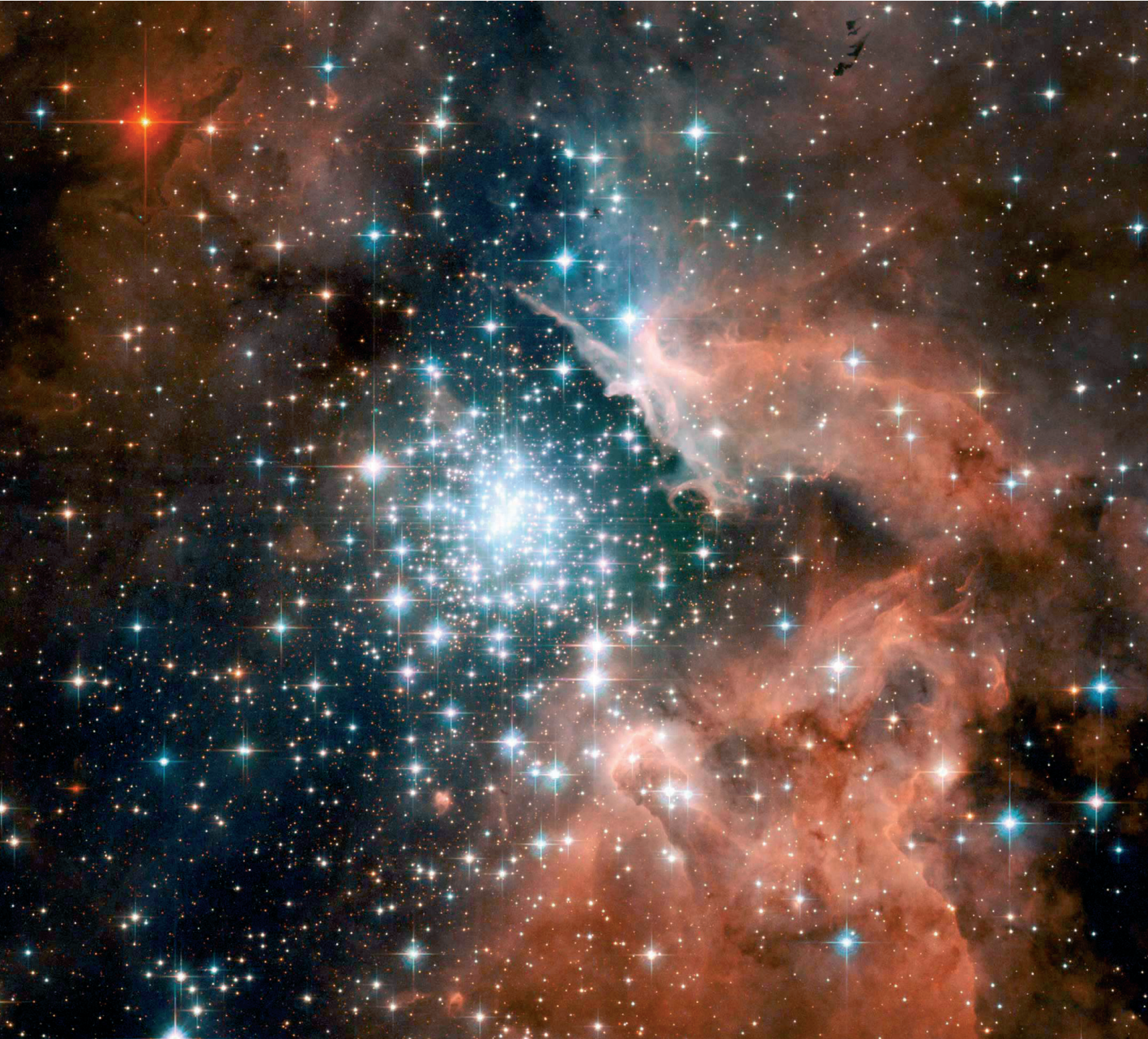
*Figura 2. Esquema de la estructura estelar de las estrellas de masa baja e intermedia (menores que 8 veces la masa del Sol) al final de la fase AGB. Básicamente las estrellas AGB están compuestas de un núcleo inerte de C y O que está rodeado de dos capas delgadas de helio e hidrógeno, las cuales están envueltas en una extensa envoltura convectiva de hidrógeno. Nótese que la figura no está a escala y que en particular la envoltura es muchísimo más grande que el núcleo de C y O.*



*Figura 3. Diagrama H-R (Hertzsprung-Russell) que muestra la luminosidad estelar (en luminosidades solares) frente a la temperatura (en grados kelvin). Se muestran las principales fases evolutivas en la vida de las estrellas de masa baja e intermedia (masas menores que 8 veces la masa de nuestro Sol). Tras agotar el hidrógeno (secuencia principal) y el helio (Rama de las Gigantes Rojas) en sus núcleos, estas estrellas evolucionan hacia la AGB (Rama Asintótica de las Gigantes). Finalmente, forman nebulosas planetarias y acaban sus vidas como enanas blancas.*

información de otros elementos químicos. Además, la identificación de estas estrellas en nuestra Galaxia, así como el estudio de su composición química, han abierto nuevos campos de investigación como por ejemplo su papel en la evolución química de otras galaxias, y el conocimiento del entorno en el que nuestro Sistema Solar se formó.

RUBIDIUM-RICH ASYMPTOTIC GIANT BRANCH STARS  
 A. GARCÍA HERNÁNDEZ, P. GARCÍA LARIO, B. PLEZ,  
 F. D'ANTONA, A. MANCHADO Y J.M. TRIGO  
 RODRÍGUEZ  
 2006, SCIENCE, 314, 1751



María Teresa Beltrán Sorolla  
INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri  
(Firencia, Italia)



### *¿Cuál era el problema al que os enfrentasteis?*

El problema era saber cómo se forman las estrellas masivas, que son estrellas con una masa superior a 8 veces la masa del Sol. Las estrellas de gran masa son ingredientes clave de las galaxias, ya que dominan su apariencia y evolución, inyectan energía en el medio interestelar y regulan la tasa de formación de estrellas. Además, son las responsables de la producción de elementos pesados necesarios para la vida como el oxígeno, el carbono, el calcio o el hierro. A pesar de la importancia de estas estrellas, poco se conoce sobre su mecanismo de formación. Una de las teorías apunta a que las estrellas masivas se forman como resultado de un proceso de colapso gravitatorio de manera parecida a como se formó nuestro Sol; otras en cambio proponen que se

forman por la fusión de muchas estrellas de masa más pequeña.

### *¿Cuál fue la solución a ese problema y la contribución que ese artículo hizo al campo de trabajo en el que se enmarca?*

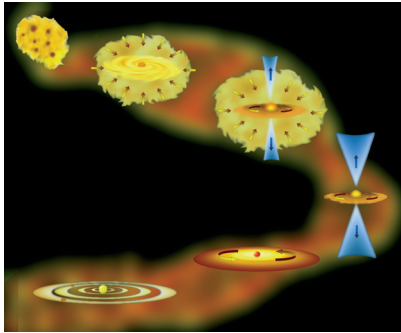
En el proceso de formación de estrellas de baja masa, los movimientos de colapso, expansión y rotación representan un papel muy importante. A pesar de que esos movimientos de rotación, de expansión, y en mucha menor medida de colapso, ya habían sido detectados con anterioridad en regiones de formación estelar masiva, nunca hasta la fecha se habían observado simultáneamente en un mismo objeto estelar.

Lo que hicimos en nuestro estudio fue buscar evidencias observacionales de dichos movimientos alrededor de

un objeto estelar muy joven en formación llamado G24.78+0.08 A1, que tiene unas 20 masas solares. Dichas observaciones revelaron por primera vez la presencia simultánea de los tres ingredientes básicos en la formación estelar: rotación, colapso, y expansión. De este modo se confirmaron las predicciones de la teoría que propone que las estrellas masivas se formarían de una manera parecida a como lo hizo el Sol.

### *Desde que ese artículo se publicó, ¿ha habido avances significativos en esa área específica?*

En los últimos años se ha descubierto algún ejemplo más de colapso en estrellas masivas, pero todavía se pueden contar con los dedos de la mano las estrellas masivas en las que se han detectado claramente los tres elementos básicos de la formación estelar.



*Figura 1. Esquema de la formación de una estrella. La nube protoestelar colapsa, y la presencia de rotación hace aparecer un disco. Parte del material de la nube es eyectado en dos jets perpendiculares al disco, mientras el material de éste es acrecido por la estrella.*

Al tener una estadística tan pobre es difícil derivar parámetros importantes en el proceso de la formación estelar como por ejemplo la tasa de acreción con la que el material es incorporado a la estrella en formación. El hecho de que haya tan pocos ejemplos se debe mayoritariamente a la dificultad que supone estudiar regiones de formación masiva, debido a su menor número si se comparan con las regiones de formación de estrellas de baja masa, su mayor distancia respecto a nosotros, y al hecho de que los tiempos de vida de las estrellas masivas son muy cortos.

### *¿Cuáles son los problemas fundamentales en la actualidad en ese campo de la Astrofísica y qué descubrimientos se esperan realizar en los próximos años?*

Nuestro estudio confirmó que las estrellas de hasta 20 masas solares se pueden formar por acreción o colapso de material a través de un disco en rotación que circunda a la estrella. Sin embargo, queda todavía por demostrar si las estrellas mucho más masivas se forman también por dicho mecanismo. Alrededor de dichas estrellas no se han detectado discos en

rotación y colapso, como se han observado en estrellas menos masivas. Por eso hay algunas teorías que proponen que dichas estrellas se formarían por mecanismos diferentes, como por ejemplo por la fusión de estrellas de baja masa.

Los avances en este campo tendrán lugar en los próximos años cuando empiecen a funcionar los nuevos instrumentos que están en fase de construcción, como las antenas del interferómetro ALMA, el satélite infrarrojo Herschel, o el Gran Telescopio Canarias. Con estos instrumentos será posible ver qué sucede en la zona más cercana a la estrella para así comprobar si dichos discos existen.

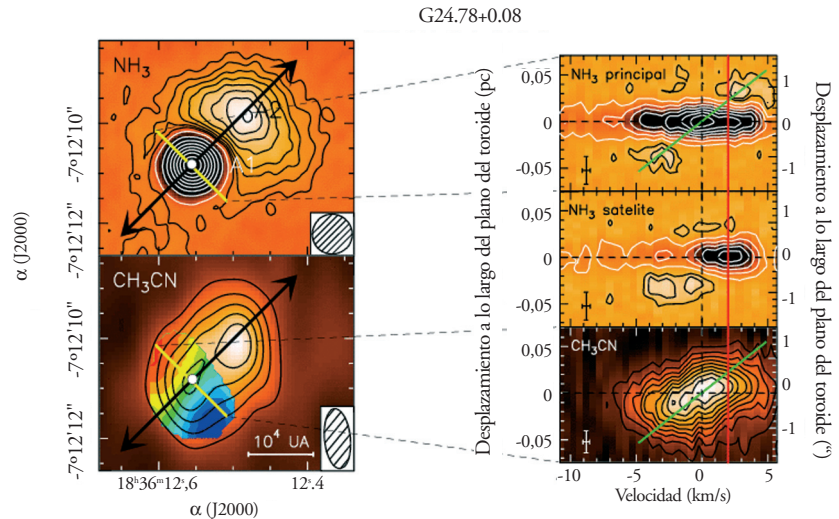
### *¿Ha tenido alguna influencia sobre tu carrera profesional?, ¿has continuado en esa línea y te ha abierto nuevos campos o posteriormente te dedicaste a otros temas?*

He continuado con esta línea de investigación, ampliando la búsqueda de colapsos a otras estrellas masivas. Además, siempre siguiendo la hipótesis de que las estrellas masivas se

formarían como las estrellas de baja masa, hemos empezado a realizar estudios sobre la importancia del campo magnético. Para estrellas de baja masa se sabe que el campo magnético representa un papel fundamental en el proceso de formación, pero queda por demostrar su importancia en el caso de estrellas masivas.

*¿Tienes alguna anécdota relacionada con la gestación y publicación de este artículo y que consideres adecuado contar?*

La publicación del artículo tuvo una gran repercusión a nivel mundial, algo que me parecía imposible teniendo en cuenta que se trata de un artículo de Astronomía. Como curiosidad me puse a buscar en Internet y encontré artículos que hablaban de nuestro descubrimiento escritos en árabe, chino, japonés, tailandés, coreano, finlandés, etc., por citar los más exóticos. El más curioso de todos era un artículo de un periódico de Nigeria donde junto al texto aparecía una foto de un astronauta haciendo un paseo espacial. El pie de figura de esa foto era "Astrónomo trabajando". Es verdad que



a los astrónomos nos gustaría ver más de cerca los objetos que estudiamos, pero de momento no creo que ninguno haya llegado tan lejos.

INFALL OF GAS AS THE FORMATION MECHANISM OF

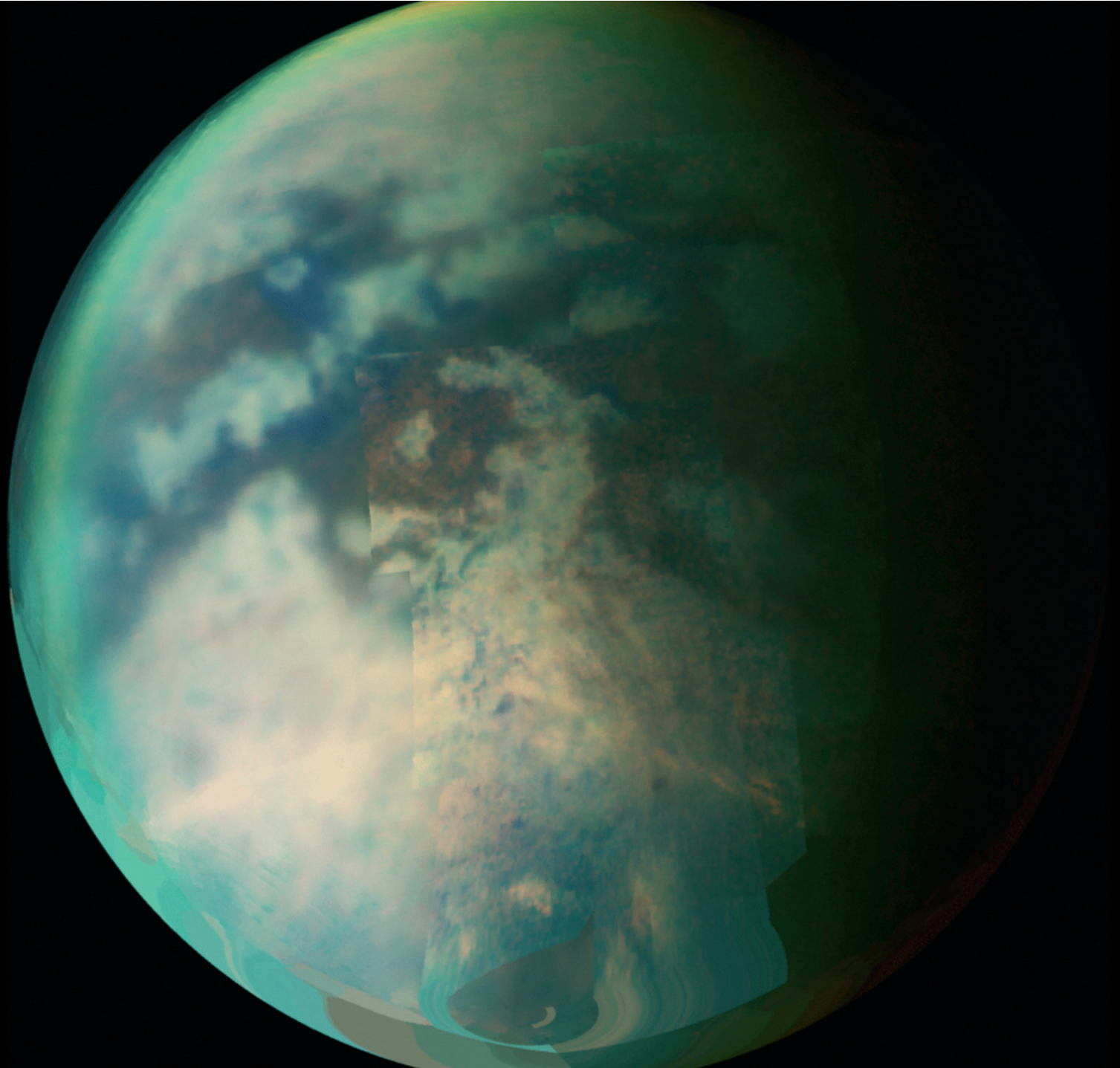
STARS UP TO 20 TIMES MORE MASSIVE THAN THE SUN

M.T. BELTRÁN, R. CESARONI, C. CODELLA, L. TESTI,

R.S. FURUYA Y L. OLMÍ

2006, NATURE, 443, 427

*Figura 2. (Paneles izquierda) Absorción y emisión por gas molecular hacia la región HII en G24.78+0.08 A1, una estrella masiva en formación de tipo espectral O9.5 y 20 masas solares. El panel superior muestra el mapa de la emisión integrada de  $\text{NH}_3$ . En el panel inferior, los contornos indican la emisión integrada de  $\text{CH}_3\text{CN}$ . (Paneles derecha) Campo de velocidades en el toroide masivo G24.78+0.08 A1. El panel superior muestra la línea principal de  $\text{NH}_3$ , el panel central la línea satélite de  $\text{NH}_3$  y el panel inferior  $\text{CH}_3\text{CN}$ . En el panel central puede verse muy claramente que el pico de la absorción observada en la línea satélite de  $\text{NH}_3$  está desplazado 2 km/s respecto a la velocidad estelar, tal y como indica la línea roja. Este corrimiento de la absorción a velocidades positivas indica que el gas, situado entre la estrella y el observador, se está alejando del observador y acercándose a la estrella, y por tanto, colapsando hacia G24.78+0.08.*



Ricardo Hueso Alonso  
Departamento de Física Aplicada I  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad del País Vasco, Bilbao



### *¿Cuál era el problema al que os enfrentasteis?*

En el año 2005 la sonda europea Huygens penetró por primera vez en la luna de Saturno Titán. Esta luna es el único satélite natural con atmósfera y su tamaño es comparable al de Mercurio. A la enorme distancia que la separa del Sol, 15.000 millones de kilómetros, la temperatura es tan baja,  $-180^{\circ}\text{C}$ , que el metano que se encuentra en su atmósfera puede condensar formando nubes que han sido observadas con regularidad desde la Tierra utilizando grandes telescopios.

Huygens encontró un paisaje esculpido por torrenteras y estructuras fluviales, una superficie húmeda, aunque no líquidos y rocas redondeadas como en el cauce seco de un río. Ambos hechos sugerían

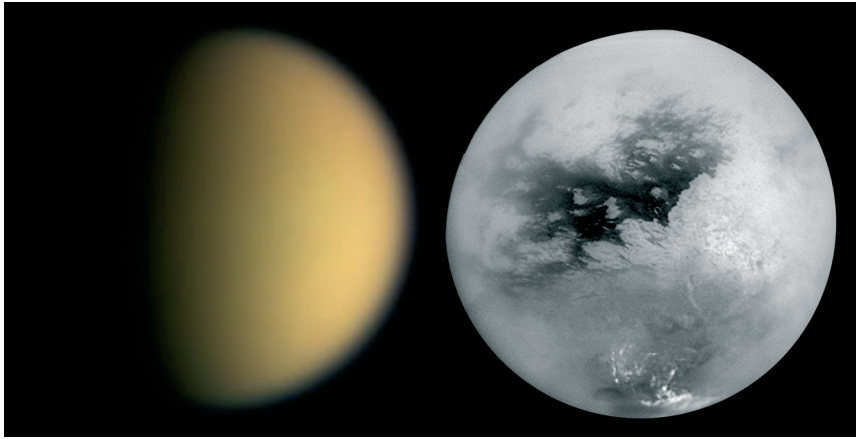
que ocasionalmente se producen lluvias intensas de metano líquido en la superficie de Titán. Agustín Sánchez-Lavega y yo abordamos la tarea de modelizar este fenómeno intentando cuantificar la cantidad de lluvia de metano que puede caer en la superficie de Titán.

### *¿Cuál fue la solución a ese problema y la contribución que ese artículo hizo al campo de trabajo en el que se enmarca?*

En el estudio que fue publicado en *Nature* realizamos un modelo numérico tridimensional de cómo se forma una tormenta de metano en la atmósfera de Titán. El principal desafío en este modelo era incorporar los aspectos de cómo se forman las partículas pequeñas de líquido y metano helado que forman la nube y como crecen hasta dar lugar a

precipitación capaz de alcanzar la superficie. El modelo en sí estaba adaptado de trabajos anteriores realizados por nuestro equipo sobre la formación de tormentas de agua en las atmósferas de los planetas gigantes Júpiter y Saturno, pero su adaptación a las condiciones de Titán requirió un gran esfuerzo. Nuestro modelo predice que, en las condiciones adecuadas en Titán, es posible formar tormentas convectivas similares a las que tenemos en la Tierra pero basadas en la condensación y precipitación de metano. La precipitación que pueden producir estos fenómenos es del orden de 50-200 litros por metro cuadrado en unas pocas horas, comparables a las intensas tormentas que producen inundaciones locales en los meses de verano y primavera en la península ibérica.





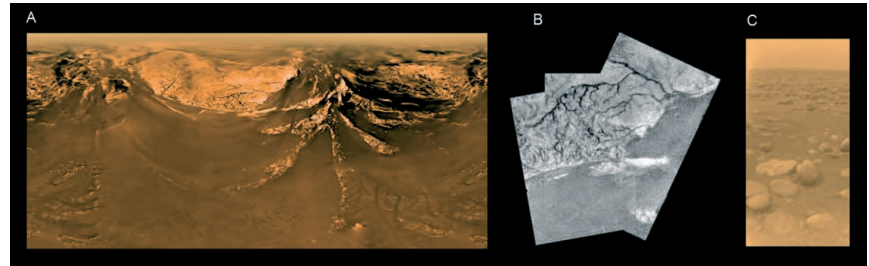
*Figura 1. Titán observado por la sonda Cassini. La atmósfera está cubierta por nieblas permanentes a alta altitud que impiden ver la superficie (izquierda). En las longitudes de onda adecuadas (derecha) las nieblas se vuelven transparentes y se puede observar la superficie y la formación de tormentas en este caso en la región polar sur.*

*Desde que ese artículo se publicó, ¿ha habido avances significativos en esa área específica?*

Desde luego. Aunque la sonda Huygens emitió datos de la superficie de Titán durante solo un breve periodo de tiempo, la sonda americana Cassini orbita Saturno y sus lunas desde el año 2004, proporcionando nuevas observaciones de la superficie de Titán. En particular su radar ha encontrado grandes lagos en los hemisferios norte y sur. Además hay una monitorización regular de Titán desde la Tierra utilizando grandes telescopios y se comienza a entender el ciclo estacional de su atmósfera, gobernada por su lenta rotación y el ciclo atmosférico del metano. Hace unos meses supimos que han encontrado variaciones en la superficie en un lugar de la región polar sur tras un periodo de intensas tormentas observadas desde la Tierra, una de las predicciones específicas de nuestro modelo. Existe por lo tanto una gran cantidad de nuevas observaciones consonantes con nuestros resultados y se ha avanzado en modelos globales de la atmósfera que tienen en cuenta la condensación del metano.

*¿Cuáles son los problemas fundamentales en la actualidad en ese campo de la Astrofísica y qué descubrimientos se esperan realizar en los próximos años?*

No se comprende la frecuencia de las tormentas ni su relación con el ciclo estacional en Titán. Tampoco se conoce con claridad el origen del metano atmosférico pues se sabe que éste es destruido en la alta atmósfera por la radiación ultravioleta del Sol, recomponiéndose en hidrocarburos más complejos y formando las densas capas de niebla rojiza que ocultan la superficie. La influencia global de las tormentas sobre la superficie comienza a explorarse ahora a partir de las observaciones radar de terrenos similares a dunas en gran parte del planeta y grandes lagos en las regiones polares. Sin embargo no se sabe si los lagos son profundos o superficiales ni cuanto metano y etano pueden almacenar. Algunas de estas incógnitas podrán ser desveladas por los nuevos datos de Cassini pero muchas requerirán esperar los resultados de una nueva sonda enviada a explorar este mundo y cuya propuesta a las agencias espaciales europea y estadounidense está siendo estudiada en la actualidad.



*Figura 2. Observaciones de la superficie de Titán efectuadas por la sonda Huygens, las torrenteras se aprecian con claridad y la forma redondeada de las rocas de la superficie. El material de la superficie es principalmente hielo de agua a temperaturas muy frías.*

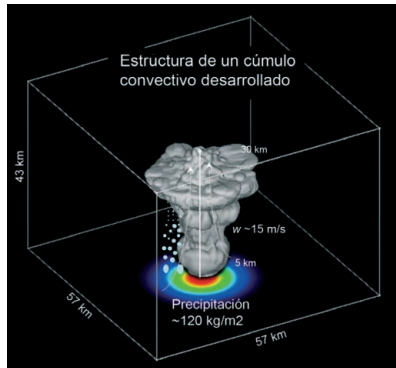


Figura 3. Simulación de una tormenta convectiva en Titán con detalles de la precipitación y velocidades verticales desarrolladas en esta nube de desarrollo vertical.

*¿Ha tenido alguna influencia sobre tu carrera profesional?, ¿has continuado en esa línea y te ha abierto nuevos campos o posteriormente te dedicaste a otros temas?*

Este trabajo fue el primero y el único hasta ahora que hemos realizado sobre la atmósfera de Titán. Aunque iniciamos esta línea de investigación, posteriormente pasamos a formar parte del equipo de análisis de datos de la misión espacial europea Venus Express que explora Venus desde el año 2006 y no hemos podido continuar explorando Titán. Sin embargo, gracias a este estudio he sido consultado por comités de la Agencia Espacial Europea (ESA) y Agencia Espacial Americana (NASA) en temas relativos al diseño y propuesta de nuevas misiones de exploración en Titán. También he arbitrado artículos sobre la atmósfera de Titán. A un nivel más general, publicar este artículo significó un reconocimiento a una tarea investigadora que permitió abordar con mayor entusiasmo nuevos objetivos científicos.

*¿Tienes alguna anécdota relacionada con la gestación y publicación de este artículo y que consideres adecuado contar?*

Este artículo fue escrito y enviado para su publicación tras el verano de 2005, cuando mi beca postdoctoral acababa de expirar y me encontraba en paro y sin derecho a prestación monetaria alguna tras nueve años de investigación como becario. Pasé unos meses viviendo de mis ahorros mientras pulíamos los últimos detalles de esta investigación sabiendo que tenía unos resultados que no podía dejar estancados en un cajón. Posteriormente conseguí reincorporarme al mundo científico gracias a un contrato como investigador Ramón y Cajal. El impacto del artículo sobre la lluvia de metano en Titán atrajo el interés de diferentes publicaciones divulgativas y medios de comunicación.

---

METHANE STORMS ON SATURN'S MOON TITAN

R. HUESO Y A. SÁNCHEZ-LAVEGA

2006, NATURE, 442, 428

Rafael A. García Bustinduy  
Service d'Astrophysique  
(CEA-Saclay, Francia)



### *¿Cuál era el problema al que os enfrentasteis?*

El estudio que hicimos tenía por objeto la detección de modos de oscilación gravitatorios (también llamados modos g) en el Sol. A diferencia de los modos acústicos (también llamados modos p) que fueron detectados a finales de los años 60, los modos g han permanecido indetectables hasta ahora. Su importancia radica en que estas ondas, al contrario que los modos p, se propagan en la zona radiativa del Sol, en particular en su núcleo, por lo que su detección nos permitirá profundizar en las propiedades estructurales y dinámicas de esa región, donde tienen lugar las reacciones nucleares. El problema con el que nos enfrentamos es que en la zona convectiva del Sol (el 30% más externo de su estructura) los modos g

se hacen evanescentes, alcanzando la superficie con velocidades del orden de 1 mm/s o incluso inferiores por lo que han sido imposibles de detectar hasta ahora.

### *¿Cuál fue la solución a ese problema y la contribución que ese artículo hizo al campo de trabajo en el que se enmarca?*

Para detectar estas ondas tan débiles, se desarrolló el instrumento GOLF (Global Oscillations at Low Frequency) dentro de un proyecto de colaboración hispano-francés, que forma parte de la carga útil del satélite SOHO (Solar and Heliospheric Observatory), lanzado el 2 de diciembre de 1995. El objetivo principal era y es la detección de los modos acústicos de baja frecuencia y de los modos g. Ha sido necesario acumular 10 años de datos para poder

tener la sensibilidad suficiente para detectar dichas oscilaciones. La detección de los modos g se realizó indirectamente, estudiando sus propiedades asintóticas en el espacio de Fourier. De esta forma detectamos la periodicidad debida a los modos bipolares ( $l=1$ ) comparando los resultados con las predicciones (ver Figura 1). Esta ha sido la primera vez que se puede probar su existencia en el Sol. Este estudio permitió, así mismo, constreñir la velocidad de rotación del núcleo solar que rota unas 4 a 5 veces más rápido que el resto de la zona radiativa.

### *Desde que ese artículo se publicó, ¿ha habido avances significativos en esa área específica?*

Dada la enorme complicación que engendra la medida de señales tan débiles en la superficie del Sol y que

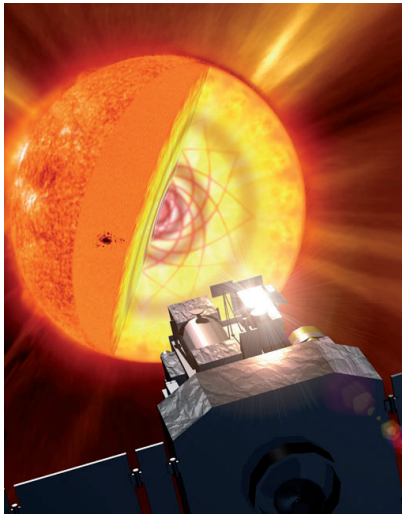


Figura 1. Periodograma del espectro de frecuencias de 10 años de datos tomados con el experimento GOLF. El pico principal corresponde a la periodicidad de los modos gravitatorios bipolares. En la parte inferior de la figura se muestra el mismo análisis pero utilizando frecuencias teóricas de dichos modos. El nivel de confianza de la estructura encontrada es superior al 99.97%.

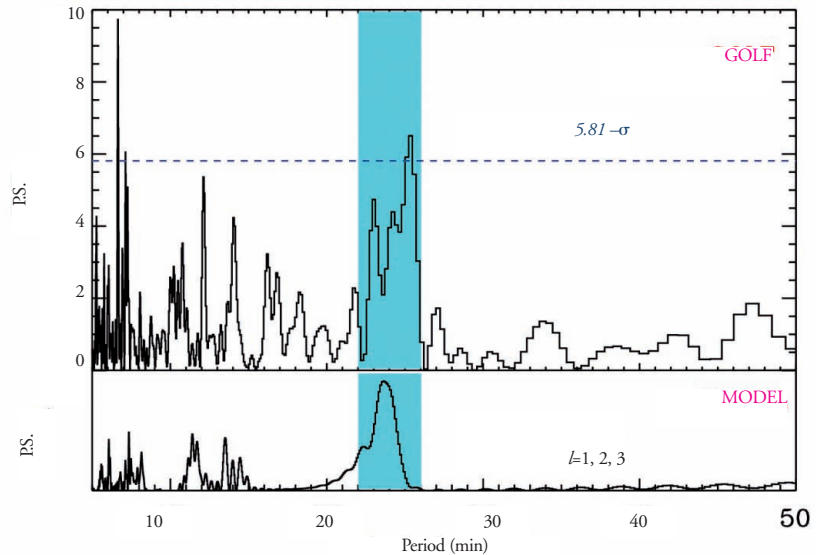


Figura 2. Fotomontaje que representa al satélite SOHO observando el Sol, y un corte en el mismo en donde se aprecia la zona convectiva (el 30% más externo de su estructura) y la zona radiativa, donde se propagan los modos gravitatorios (representados por las líneas continuas). Cortesía del IAC.

no haya ningún otro instrumento capaz de llegar a una sensibilidad tan alta, hace que el progreso en este campo sea lento. En la actualidad hemos extendido los cálculos usando series de datos de 14 años (40% más que en el estudio original) y hemos aumentado la precisión en nuestros resultados. Por otro lado, la búsqueda de los modos  $g$  individuales continúa y comenzamos a tener resultados muy esperanzadores.

Los avances más importantes han venido desde las implicaciones teóricas debidas a la medida de la rotación del núcleo solar así como la verificación de las nuevas tablas de opacidades que se han medido recientemente y que presentan ciertas incompatibilidades con nuestros resultados. De hecho, hace pocas fechas se ha publicado una nueva tabla de opacidades que resuelve parcialmente el problema.

*¿Cuáles son los problemas fundamentales en la actualidad en ese campo de la Astrofísica y que descubrimientos se esperan realizar en los próximos años?*

Desde el punto de vista observacional, hay que caracterizar los modos gravitatorios con precisión (sus amplitudes, frecuencias, tiempos de vida, etc), así como medir modos p de grado muy elevado, lo cual va a permitir estudiar en profundidad las zonas radiativa y convectiva solares. Este conocimiento ayudará a comprender la estructura y la dinámica de las regiones internas del Sol y, en definitiva, los mecanismos que rigen el magnetismo solar y sus ciclos, poco conocidos aún a día de

hoy. Como es sabido dichos ciclos afectan a las condiciones en el espacio (por ejemplo en el caso de largos vuelos tripulados a Marte), producen perturbaciones en las conexiones vía satélite e incluso se sabe que afectan al clima de la Tierra.

*¿Ha tenido alguna influencia sobre tu carrera profesional?, ¿has continuado en esa línea y te ha abierto nuevos campos o posteriormente te dedicaste a otros temas?*

Después de casi 15 años construyendo y trabajando con el instrumento GOLF ha sido una gran satisfacción poder medir aquello para lo cual fue diseñado y construido. Evidentemente hemos abierto una puerta y el objetivo es poder atravesarla y profundizar en este campo que acaba de nacer para los físicos solares. Al mismo tiempo, las técnicas que hemos empleado para extraer señales tan débiles pueden emplearse para el estudio de pulsaciones de baja relación señal/ruido en otras estrellas. De hecho, estas técnicas ya las estamos usando en los datos de los satélites CoRoT (Convection Rotation and planetary Transits) y Kepler.

*¿Tienes alguna anécdota relacionada con la gestación y publicación de este artículo y que consideres adecuado contar?*

Cuando se publicó el artículo en Science estaba en el IAC de visita y hubo muchos medios de comunicación que se interesaron por la noticia y nos hicieron varias entrevistas. Una de ellas salió publicada en la versión canaria de un periódico de tirada nacional en cuya web pusieron una reseña a dicha entrevista en la que varios miembros del equipo participamos. Lo que no podíamos imaginar es que esa noticia fue la más leída durante el mes en que se publicó y por ello nos dieron una pequeña estatuilla conmemorativa. Nadie del equipo podía imaginar que la gente pudiera interesarse tanto por una noticia científica sobre el Sol, hasta el punto de ser los más leídos en aquel momento.

TRACKING SOLAR GRAVITY MODES: THE DYNAMICS

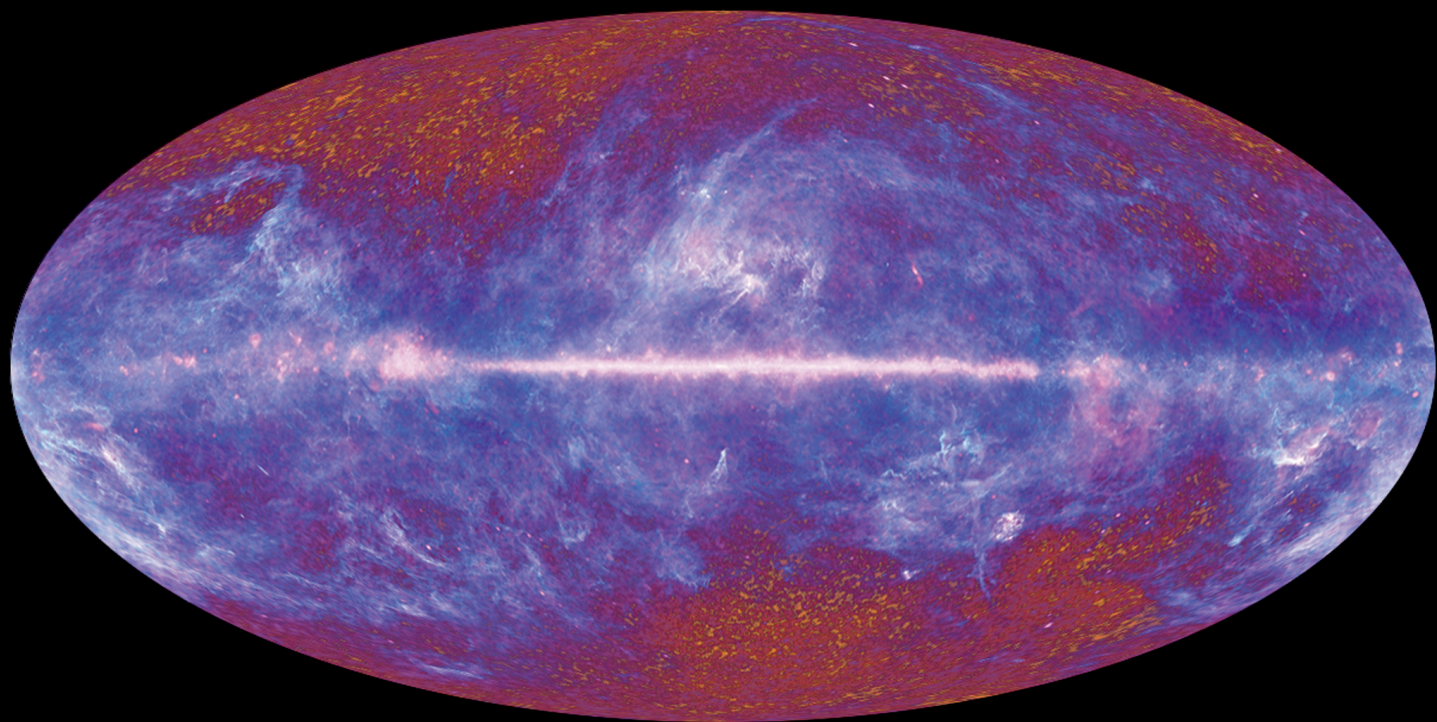
OF THE SOLAR CORE

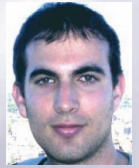
R.A. GARCÍA, S. TURCK-CHIEZE, S.J. JIMÉNEZ-REYES,

J. BALLOT, P.L. PALLÉ, A. EFF-DARWICH, S. MATHUR

Y J. PROVOST

2007, SCIENCE, 316, 1591





*¿Cuál era el problema al que os enfrentasteis?*

En trabajos previos al publicado en *Science*, detectamos una anomalía en los datos del satélite WMAP de la NASA que mide las anisotropías de la radiación de fondo cósmico de microondas. Esta anomalía fue detectada filtrando los datos con una función llamada “ondícula de sombrero mejicano”, y resultó ser debida a una gran mancha fría de origen desconocido en el hemisferio sur galáctico, con un radio angular de unos 5 grados. El problema era precisamente que su origen era desconocido y que la probabilidad de observar una mancha así de acuerdo al modelo estándar es del 1%.

*¿Cuál fue la solución a ese problema y la contribución que ese artículo hizo al campo de trabajo en el que se enmarca?*

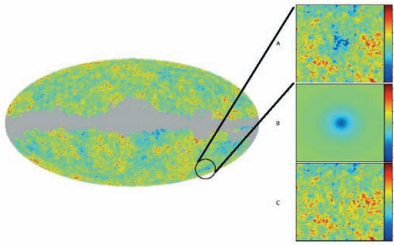
Tras descartar en varios trabajos que la mancha fuese debida a contaminación galáctica o ruido instrumental, decidimos comprobar si podía haber sido creada por un defecto cósmico llamado “textura”. La teoría de defectos cósmicos predecía una forma, amplitud y tamaño concretos para la mancha por lo que realizamos un ajuste bayesiano para comprobar si la hipótesis explicaba de manera satisfactoria los datos. El resultado del ajuste nos hizo ver que la mancha era compatible con la hipótesis de la textura. La primera detección de un defecto cósmico sería un gran avance en la comprensión del universo primitivo y de la física de altas energías. Sin embargo son necesarios

análisis adicionales para tener una confirmación definitiva.

*Desde que ese artículo se publicó, ¿ha habido avances significativos en esa área específica?*

Recientemente hemos publicado un trabajo comparando tres hipótesis para explicar el origen de la mancha. La probabilidad de que hubiese sido generada por un gran vacío o un gran cúmulo era muy baja y la hipótesis de la textura cósmica seguía siendo la más probable. Actualmente estamos trabajando en un análisis extendido a todo el cielo para intentar detectar las texturas adicionales que predice la teoría. Sin embargo, al ser más pequeña la escala angular de dichas texturas su detección es más complicada porque las anisotropías no generadas por texturas alcanzan su máxima potencia a escalas entre 1 o 2 grados.





*Figura 1. Datos de la radiación de fondo de microondas medidos por el satélite WMAP de la NASA (izquierda) y una proyección acimutal de un “parche” de unos 43 grados de lado (A), centrados en una mancha fría prominentemente detectada utilizando ondas esféricas. Mediante un ajuste bayesiano demostramos que la hipótesis más probable para explicar la mancha es una suma de dos señales. Una debida a un defecto cósmico, llamado textura (B) y una señal gaussiana debida a las fluctuaciones de densidad del universo primitivo (C).*

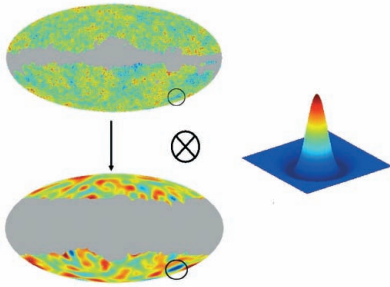
### *¿Cuáles son los problemas fundamentales en la actualidad en ese campo de la Astrofísica y qué descubrimientos se esperan realizar en los próximos años?*

En cosmología tenemos un modelo estándar, también llamado “concordante” que explica razonablemente bien el universo que observamos. Sin embargo el gran problema es que, según este modelo, desconocemos la naturaleza de aproximadamente el 95 % del contenido del universo. El 74% de la densidad de energía del universo sería debida a una energía oscura de origen desconocido y que sería la causante de la expansión acelerada del universo. La mayor parte de la energía restante se encuentra en forma de materia oscura fría, que es materia no bariónica y no relativista de composición desconocida. Sólo el

4% de la energía del universo es debida a materia bariónica ordinaria. Descubrir la naturaleza de la energía y materia oscuras es el gran reto para los próximos años en el campo de la cosmología.

### *¿Ha tenido alguna influencia sobre tu carrera profesional?, ¿has continuado en esa línea y te ha abierto nuevos campos o posteriormente te dedicaste a otros temas?*

Ahora mismo estamos finalizando un trabajo que podría confirmar nuestro hallazgo. Mi carrera profesional ha avanzado sensiblemente ya que leí la tesis doctoral semanas después de la publicación del artículo y ahora, un año después, acabo de firmar un contrato de Profesor Ayudante Doctor en la Universidad de Cantabria.



**Figura 2.** Los datos de la radiación de fondo de microondas medidos por el satélite WMAP de la NASA (arriba) son filtrados con la ondícula de sombrero mejicano a escala angular de 5 grados (derecha) para reducir el ruido y otras señales contaminantes además de amplificar la señal a la escala seleccionada. El mapa filtrado (abajo) es menos ruidoso y en él se observa una mancha fría en el hemisferio sur galáctico que es la más prominente de todas ellas y podría ser debida a un defecto cósmico.

*¿Tienes alguna anécdota relacionada con la gestación y publicación de este artículo y que consideres adecuado contar?*

Tuve la suerte de que coincidiera la publicación del artículo en *Science* con la concesión del Premio Príncipe de Asturias a las revistas *Science* y *Nature*, por lo que se nos invitó a dar una rueda de prensa en Oviedo, que es donde viven mis abuelos y tengo buenos amigos. La rueda de prensa fue una experiencia interesante y conocí la fama aunque de forma muy efímera, ya que concedí entrevistas a algunos radios y nuestro trabajo se mencionó en la prensa nacional e internacional.

A COSMIC MICROWAVE BACKGROUND FEATURE

CONSISTENT WITH A COSMIC TEXTURE

M. CRUZ, N. TUROK, P. VIELVA, E. MARTÍNEZ-GONZÁLEZ, Y M. HOBSON

2007, *SCIENCE*, 318, 1612





*¿Cuál era el problema al que os enfrentasteis?*

¿Quién no se ha detenido nunca a contemplar el cielo estrellado y se ha preguntado si estaremos solos en el universo? Las últimas dos décadas han sido testigos del descubrimiento de cientos de planetas extrasolares y los recientes avances en la detección y caracterización de planetas extrasolares (planetas en torno a otras estrellas) nos hacen pensar que la respuesta a esa pregunta intemporal, es ahora solamente una cuestión de tiempo. Aunque la mayoría de los planetas detectados son gigantes gaseosos, poco a poco nos acercamos a la detección de planetas rocosos similares al nuestro. Cuando los encontremos, los esfuerzos se concentrarán en determinar la posible presencia de vida. Y precisamente ese era el problema que nos planteábamos:

¿Qué características exhibe la luz reflejada y/o emitida por la Tierra vista desde una distancia astronómica?, ¿Y qué rasgos son atribuibles exclusivamente a la existencia de vida?

*¿Cuál fue la solución a ese problema y la contribución que ese artículo hizo al campo de trabajo en el que se enmarca?*

La solución a ese problema fue estudiar el espectro de transmisión de la Tierra mediante un eclipse de Luna. Durante el eclipse, solamente la luz solar que atraviesa la atmósfera terrestre puede llegar a la zona más oscura de sombra que la Tierra proyecta sobre la Luna, la umbra. Estudiando la luz umbral reflejada en la Luna podemos recrear la observación de un tránsito de la Tierra frente al Sol.

Mediante estas observaciones podemos fácilmente detectar la presencia de oxígeno, agua, ozono, dióxido de carbono y metano en nuestra atmósfera. Sorprendentemente, algunos gases de origen biológico, como el metano (apenas presente en la atmósfera), muestran rasgos mucho más destacados de lo que los modelos predecían. Un científico que nos observara desde una estrella lejana no tendría ninguna duda en identificar a nuestro planeta como rebosante de vida.

*Desde que ese artículo se publicó, ¿ha habido avances significativos en esa área específica?*

El estudio de exoplanetas es un campo increíblemente dinámico, en el que en 2009 se han publicado más de dos artículos diarios. Hay más de 400 planetas detectados y los nuevos



*Figura 1. La Luna durante un eclipse desde Canarias. Foto cortesía de Daniel López (IAC).*



*Figura 2. Representación artística de la Tierra, vista desde la Luna durante un eclipse lunar. Imagen cortesía de Gabriel Pérez (IAC).*

descubrimientos de planetas se anuncian ya por decenas. Así que, sí, hay avances significativos: cada vez se descubren planetas más pequeños, más fríos, más cerca de la zona de habitabilidad, y que poco a poco nos acercan a la detección de planetas como el nuestro.

En cuanto a la caracterización de la atmósfera terrestre, es pronto todavía para que hayan aparecido más artículos sobre el tema, aunque en nuestro grupo ya estamos preparando una extensión de este estudio a otros dominios del espectro electromagnético, en especial al infrarrojo donde abundan las huellas de los principales gases de efecto invernadero, y a más altas resoluciones espectrales.

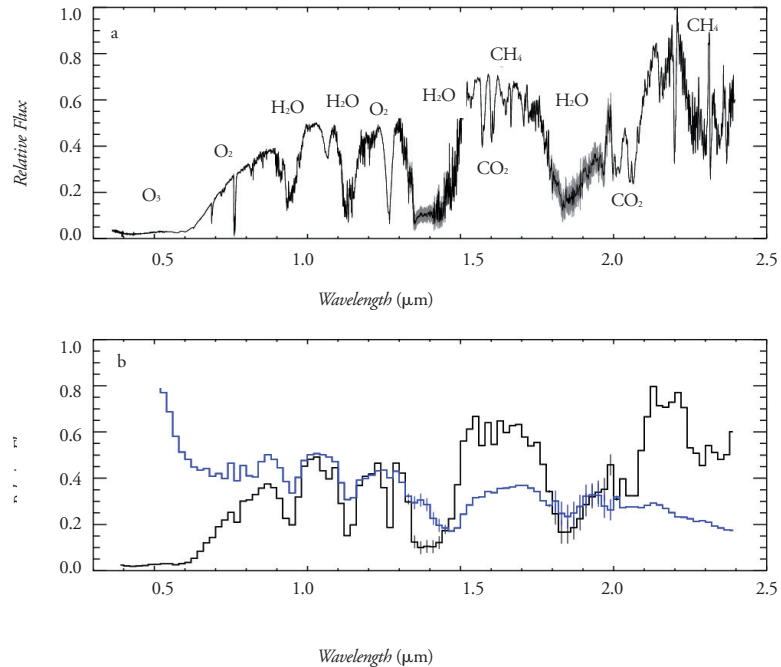
*¿Cuáles son los problemas fundamentales en la actualidad en ese campo de la Astrofísica y que descubrimientos se esperan realizar en los próximos años?*

En la actualidad la búsqueda de exoplanetas y la existencia de vida en el universo se enfrenta a los límites técnicos de detección derivados de la gran diferencia en brillo que existe

entre estos planetas y sus estrellas (la Tierra es mil millones de veces menos brillante que el Sol), y lo cerca que están cuando ambos objetos se observan desde una gran distancia. Actualmente se están diseñando instrumentos que serán capaces de detectar planetas terrestres, sin embargo, se necesitará de otro salto cuantitativo para pasar de la detección de esos planetas a la caracterización de sus atmósferas. La técnica mas prometedora en estos momentos es la espectroscopía diferencial para aquellos planetas, unos pocos, que por geometría crucen periódicamente por delante de su estrella. En este sentido, nuestro estudio parece indicar que la búsqueda de vida puede resultar un poco más fácil de lo previsto.

*¿Ha tenido alguna influencia sobre tu carrera profesional?, ¿has continuado en esa línea y te ha abierto nuevos campos o posteriormente te dedicaste a otros temas?*

La verdad es que todavía es pronto para decir como ha influido en mi carrera profesional, solo han pasado



*Figura 3. Arriba: El espectro de transmisión del planeta Tierra, donde se marcan la mayoría de rasgos de los gases de su atmósfera. Abajo, comparación entre el espectro de transmisión (negro) y la reflexión (azul) de la Tierra, degenerados a baja resolución espectral.*

unos meses. La primera vez que publiqué en Science, creo que me sirvió para acceder al contrato Ramón y Cajal del que disfruto en la actualidad. Me gustaría pensar que esta nueva publicación sirva para estabilizarme en una plaza fija (aunque estamos en época de crisis). Lo que sí está claro es que planeo seguir con esta línea de investigación, ya que además de ser apasionante parece tener un gran recorrido por delante a medio y largo plazo. De momento, las observaciones de la Tierra y el resto de planetas del Sistema Solar serán nuestras medidas de referencia para la búsqueda de vida en torno a las estrellas de nuestra Galaxia. Y a pesar de lo que uno

podría pensar, quedan todavía muchos aspectos por caracterizar de nuestro propio planeta.

*¿Tienes alguna anécdota relacionada con la gestación y publicación de este artículo y que consideres adecuado contar?*

Recuerdo que debido a la hora en que empezaba el eclipse de Luna, solo podíamos observar su segunda mitad. Al anochecer, el eclipse era ya visible a simple vista pero la Luna estaba todavía demasiado baja en el horizonte para ser accesible a los telescopios. Así que nos sentamos al aire libre a tomar fotos y a disfrutar como espectadores de este espectacular fenómeno.

En cuanto la Luna cruzo el límite a partir del cual podíamos apuntarla, pasamos del ocio recreativo al trabajo concentrado de los astrónomos. No había ni un minuto que perder, porque los eclipses no ocurren todos los días. Además los primeros resultados eran ya visibles en un crudo análisis de los datos hechos en el mismo telescopio, y que discutimos antes de acostarnos. Fue una gran noche, excitante y muy divertida.

---

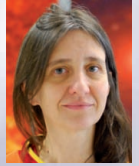
*EARTH'S TRANSMISSION SPECTRUM FROM LUNAR ECLIPSE*

*OBSERVATIONS*

*E. PALLÉ, M.R. ZAPATERO-OSORIO, R. BARRENA, P.*

*MONTAÑÉS-RODRÍGUEZ Y E.L. MARTÍN.*

*2009, NATURE, 459, 814*



### *¿Cómo fue la génesis y cuáles son los objetivos del observatorio XMM-Newton?*

XMM-Newton es una misión para la observación del cielo en rayos X de la Agencia Espacial Europea (ESA), lanzada el 10 de diciembre de 1999. El principal reto y objetivo de XMM-Newton era poner la astronomía de rayos X al nivel del resto de las disciplinas en Astronomía.

La astronomía de rayos X, debido a que estos son absorbidos por la atmósfera de la Tierra, tiene una historia muy corta y ligada a la exploración espacial. No fue posible detectar rayos X del Sol hasta que no se desarrollaron los primeros globos o cohetes en los años 50. Hubo que esperar hasta 1962 para ver rayos X cósmicos de algún objeto diferente del Sol. En la década de los 70 se lanzaron los primeros satélites que detectaron

más y más fuentes de rayos X. Fue entonces cuando se comprendió que era necesario aumentar la sensibilidad de los instrumentos y su capacidad de realizar espectros, separar los rayos X en función de su energía o “color”. En 1982 se hizo una propuesta para construir un satélite cuyos “puntos fuertes” fueran precisamente esos dos. En 1984 ESA aprobó el desarrollo de la misión de rayos X multi-espejo (X-ray Multi-Mirror Mission) como una de las cuatro piedras angulares de su programa “Horizonte 2000”, diseñado para llevar a la ESA al siglo XXI como uno de los líderes mundiales en la investigación espacial. El observatorio espacial XMM-Newton debería servir para comprender el universo en condiciones extremas de temperatura, como las generadas cuando el gas acelerado hasta velocidades próximas a la de la luz

choca con material del medio interestelar o inter-galáctico, o en condiciones extremas de gravedad, como las que tienen lugar en las cercanías de agujeros negros o estrellas de neutrones, muchas veces modificadas también por campos magnéticos muy intensos.

El aumento de la sensibilidad a los rayos X se consiguió diseñando espejos cilíndricos, ligeramente curvados, que consiguen focalizar los fotones que inciden de forma rasante en su interior, y anidando muchos de esos cilindros, uno dentro de otro como muñecas rusas, para aumentar el área colectora. XMM-Newton lleva tres telescopios cada uno con 58 espejos de ese tipo.

El poder espectroscópico se consiguió diseñando las primeras redes de reflexión que dispersan los fotones X con un ángulo diferente según su



energía. Para completar el conjunto, se construyó un telescopio óptico que se colocó paralelo a los telescopios de rayos X, consiguiendo obtener luz visible o ultravioleta a la vez que los rayos X.

### *¿Cuál es el contenido del artículo de revisión que habéis publicado en Nature?*

Antes de contestar a la pregunta, me gustaría decir que XMM-Newton tiene un “primo”, nacido casi a la vez, el satélite Chandra de NASA. Gracias a sus propiedades complementarias, se ha conseguido realizar imágenes de gran nitidez y medir con precisión la energía de los rayos X cósmicos. Así, menos de 50 años después de la detección de la primera fuente de rayos X extrasolar, los dos observatorios han conseguido un aumento en la sensibilidad comparable al conseguido en los 400 años de astronomía óptica desde Galileo hasta nuestros días.

En el artículo de *Nature*, publicado con motivo del décimo aniversario de las primeras observaciones con ambos satélites, se destacan algunos de los muchos descubrimientos realizados por

XMM-Newton y Chandra y que han transformado la Astronomía del siglo XXI.

El artículo ofrece una lista de los descubrimientos más significativos, si bien dejando claro que la lista es subjetiva y no es completa, es decir, “...son todos los que están, pero no están todos los que son”. El trabajo abarca aspectos muy diversos: desde los mecanismos de producción de rayos X en cometas, hasta la influencia de los rayos X en la formación de planetas alrededor de estrellas jóvenes o el comportamiento en el medio inter-galáctico de chorros de gas caliente que escapan a alta velocidad de las galaxias y que de esta manera consiguen regular el crecimiento de las mismas, de agujeros negros gigantes en su núcleo e incluso de las grandes estructuras del universo. En el artículo se explican con detalle algunos de estos descubrimientos y cómo XMM-Newton y Chandra han contribuido y están contribuyendo a entender uno de los misterios más importantes de la astronomía en la actualidad: la naturaleza de la materia y energía oscuras.

### *¿Cuáles son los problemas fundamentales en la actualidad en ese campo de la Astrofísica y qué descubrimientos se esperan realizar en los próximos años?*

Es difícil predecir cuales serán los principales descubrimientos para el futuro y el impacto que puedan tener. Estamos convencidos de que una gran parte de ellos vendrán de muestreos del cielo, cada vez más profundos y cubriendo áreas cada vez mayores. Esperamos que XMM-Newton y Chandra todavía resuelvan en un futuro cercano algunos temas críticos que van desde la composición sub-nuclear de las estrellas de neutrones hasta la estructura a gran escala del universo. Se estudiarán objetos tan diversos como las capas altas de la atmósfera terrestre o los núcleos de las galaxias más jóvenes, todavía no detectados porque su extrema lejanía los hace muy débiles. Se confía hacer un censo detallado de esos objetos a lo largo de la historia del universo. Se pretende estudiar regiones donde se forman estrellas, tanto en la Vía Láctea, como en galaxias lejanas, mas jóvenes, para entender qué es lo que determina que se inicie el nacimiento de una

estrella y cómo a su vez los procesos que ocurren en estas regiones modifican su entorno, enriqueciéndolo e inyectando energía en el gas interestelar, o de forma similar, cómo los agujeros negros gigantes inyectan energía en el gas de los cúmulos de galaxias.

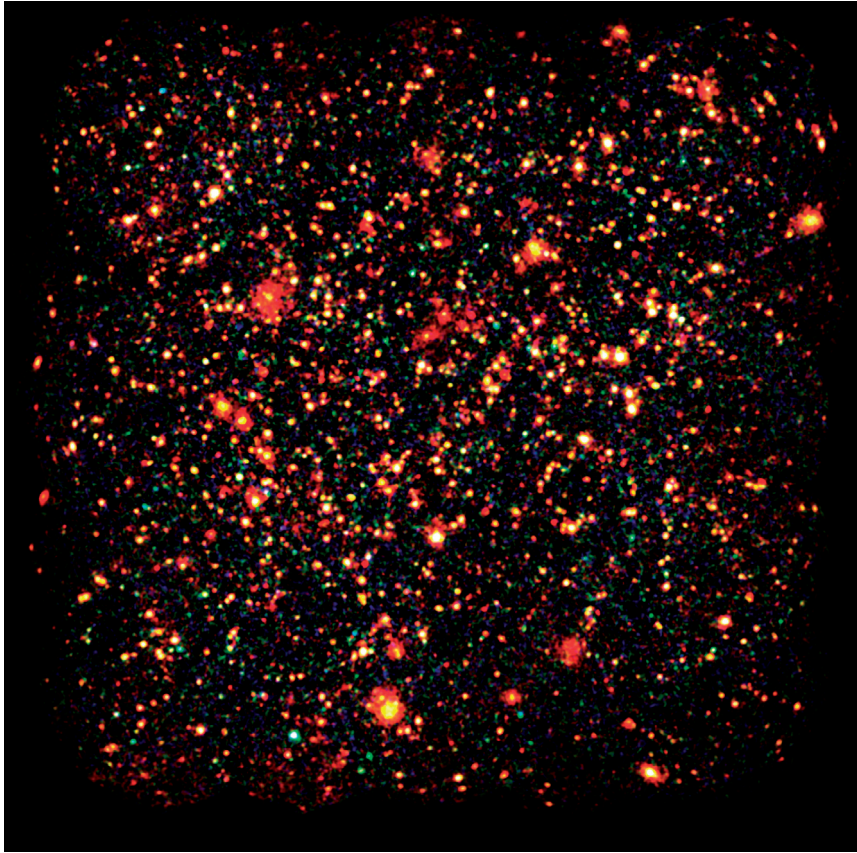
Con toda seguridad, algunos de los descubrimientos vendrán de la mano de colaboraciones con otros telescopios, como por ejemplo las misiones espaciales de la ESA Herschel y Planck, lanzadas en mayo de 2009 y que van a resultar esenciales para comprender la formación de las estrellas, en el caso Herschel- o la naturaleza de la materia y energía oscuras, en el caso de Planck.

*¿Podrías comentar la influencia que trabajar en este proyecto ha tenido en tu carrera profesional?*

Mi carrera profesional ha cambiado por completo desde que trabajo en el proyecto XMM-Newton. Por un lado mi trabajo ha dejado de ser casi exclusivamente de investigación astronómica, para pasar a ser de servicio a los astrónomos, algo que a pesar de reducir mi “productividad” científica, siempre he considerado muy



*Figura 1. Imagen de Messier 82, una galaxia con formación estelar intensa vista con XMM-Newton en luz óptica, ultravioleta y rayos X; estos últimos se muestran principalmente en tonos azules. Mientras que en luz visible y ultravioleta se ve sobre todo el plano de la galaxia, con bandas oscuras debidas a polvo y puntos brillantes debidos a formación de estrellas, los rayos X muestran dos conos de gas muy caliente que consigue escapar del disco galáctico gracias al impulso proporcionado por las estrellas más grandes cuando explotan como supernovas. Esta imagen ilustra de forma espectacular la importancia de obtener información en distintas longitudes de onda (óptico, ultravioleta o rayos X), algo que es posible con XMM-Newton. Cortesía: P. Rodríguez-Pascual y ESA.*



*Figura 2. El cielo en rayos X: la imagen muestra miles de fuentes de rayos X en una zona del cielo que cubre un área aproximadamente 10 veces la de la luna llena, el campo XMM-COSMOS. Los colores rojos muestran los rayos X menos energéticos y los azules los de más energía, con los verdes en medio de ambos. La mayoría de los aproximadamente 2000 puntos de colores son núcleos brillantes o activos de galaxias lejanas, mientras que las más de 100 zonas que aparecen como manchas extensas corresponden a agrupaciones o cúmulos de galaxias. Cortesía: G.Hasinger, N.Cappelluti, la colaboración XMM-COSMOS y ESA.*

importante. Por otro lado, mi propia tarea investigadora se ha visto centrada cada vez más en el análisis e interpretación de datos de rayos X. Lo que conservo de mis años de astrónoma anteriores es el interés por los núcleos activos de galaxias y su relación con la formación estelar; ahora lo estudio sobre todo en rayos X, aunque intento conservar una visión global, dado que emiten en todo el espectro electromagnético.

*¿Tienes alguna anécdota relacionada con la gestación y publicación de este artículo o con lo que habéis vivido en los diez años del proyecto XMM-Newton?*

Respecto al artículo me gustaría destacar que la colaboración con los coautores que forman parte del equipo de Chandra ha sido excelente. Juntos hemos intentado, y creo que logrado, poner de manifiesto sobre todo la complementariedad y excelencia de ambos observatorios.

Respecto al proyecto XMM-Newton, en más de 10 años ha habido todo tipo de anécdotas. Uno de los mayores hitos en cualquier misión espacial es el lanzamiento: en unos segundos se pone

en juego el pasado y el futuro de casi una generación de científicos. Vimos el lanzamiento de XMM-Newton en directo, rodeados de colegas que sufrieron con nosotros los nervios y disfrutaron con nosotros del éxito. A los pocos días venía el siguiente paso crítico: quitar las tapas de los telescopios y tomar los primeros datos con los instrumentos, la “primera luz”. Es impresionante comprobar que cosas tan simples como levantar una tapa o abrir una cámara se vuelven problemáticas en el espacio, ¡afortunadamente ambas salieron bien! El suceso más crítico ocurrió en octubre de 2008. Por unas horas, incluso días, pensamos que habíamos perdido el satélite para siempre. Se había quedado “sordo”, “mudo” y quizá “ciego”. Dejó de mandar señales y de responder a las nuestras. ¿Dónde estaba?, ¿por qué no respondía?. Afortunadamente su problema se pudo resolver en cuanto se entendió: un interruptor se había quedado atascado y hubo que mandarle una señal muy potente para moverlo y que hiciera contacto de nuevo. Respondió y XMM-Newton sigue funcionando a la perfección, como antes.

En el plano personal, me siento privilegiada por poder trabajar en un proyecto tan apasionante como XMM-Newton y reconozco que he tenido un poco la suerte de haber “estado en el lugar adecuado en el momento adecuado”, pero sin duda lo más importante ha sido el trabajo con la gente del proyecto, con personas que valoro y admiro mucho, tanto en el aspecto profesional como en el humano. Lo más duro en ese aspecto es la impotencia que siento cuando les veo temer por su futuro. Cuando un proyecto espacial envejece, su mantenimiento es cada vez mas gravoso para las agencias espaciales, cuyo objetivo principal es desarrollar nuevas tecnologías en colaboración con la industria. Aunque a los científicos nos cuesta mucho comprender razonamientos basados en la productividad inmediata, no nos queda más remedio que intentar conseguir cada vez mejores resultados con menos recursos. A pesar de los esfuerzos que se realizan, los puestos de trabajo parecen amenazados por la necesidad de disminuir gastos, más en épocas de crisis. Esa inseguridad es muy dura. Por ello quiero acabar dando las gracias a

todos los que siguen trabajando día a día, haciendo que XMM-Newton sea y siga siendo por muchos años más un gran éxito científico.

*THE FIRST DECADE OF SCIENCE WITH CHANDRA  
AND XMM-NEWTON*

*M. DE SANTOS-LLEÓ, N. SCHARTEL, H. TANANBAUM,*

*W. TUCKER Y M.C. WEISSKOPF*

*2009, NATURE, 462, 997*



La evolución temporal de la expansión de una supernova, seguimientos detallados de estallidos de rayos gamma, descubrimientos acerca de las tormentas en Saturno y Júpiter, la primera enana marrón, la confirmación de la presencia de agujeros negros en estrellas binarias, modelos de novas y supernovas, el papel del campo magnético en la rotación de las galaxias, varios estudios del Sol, el ciclo del metano en Titán, los impactos de material volátil sobre la Luna, el descubrimiento de una burbuja esférica alrededor de un embrión estelar, la descripción del medio intergaláctico...

Estos son algunos de los resultados que presentamos en 'Astronomía made in Spain', un proyecto de la Sociedad Española de Astronomía para celebrar el Año Internacional de la Astronomía 2009. Este libro recoge una recopilación de respuestas a seis preguntas que hemos enviado a los investigadores españoles que han publicado como primer autor un artículo en las revistas *Nature* o *Science* en los últimos 30 años. Sirva este legado como homenaje a todos los astrónomos españoles, estímulo para los estudiantes e historia viva de descubrimientos contada de primera mano, sin intermediarios, por las personas que los hicieron posibles.

*Benjamin Montesinos  
Emilio J. Alfaro*

