

# I NFORMACIÓN y A CTUALIDAD A STRONÓMICA

<http://www.iaa.csic.es/revista.html>

OCTUBRE 2007, NÚMERO: 23

## LA CAPA DE OZONO

INDICIOS DE RECUPERACIÓN

ACTIVIDAD GALÁCTICA  
MUJERES ASTRÓNOMAS  
COMETAS



INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE ANDALUCÍA  
Consejo Superior de Investigaciones Científicas  
IAA-CSIC

<http://www.iaa.csic.es>



# SUMARIO

## REPORTAJES

La capa de ozono: indicios de recuperación ...3

Mujeres en astronomía ...7

Activas y perezosas: las galaxias también lo son ...11

DECONSTRUCCIÓN Y otros ENSAYOS. Las factorías de supernovas ...14

ACTUALIDAD ...16

ENTRE BASTIDORES ...20

HISTORIAS DE ASTRONOMÍA. Púlsares ...21

CIENCIA: PILARES E INCERTIDUMBRES. Cometas ...22

ACTIVIDADES IAA ...23

**Director:** Carlos Barceló. **Jefa de ediciones:** Silbia López de Lacalle. **Comité editorial:** Antxon Alberdi, Emilio J. García, Rafael Garrido, Javier Gorosabel, Rafael Morales, Olga Muñoz, Miguel Ángel Pérez-Torres, Julio Rodríguez, Pablo Santos y Montserrat Villar. **Edición, diseño y maquetación:** Silbia López de Lacalle. **Imprime:** ELOPRINT S.L.

Esta revista se publica con la ayuda de la Acción Complementaria CCT003-05-00325 del Programa Nacional de Fomento de la Cultura Científica y Tecnológica.

Se permite la reproducción de cualquier texto o imagen contenidos en este ejemplar citando como fuente "IAA: Información y Actualidad Astronómica" y al autor o autores.

El comité editorial no se hace responsable de las opiniones formuladas en los artículos publicados.

Instituto de Astrofísica de Andalucía  
c/ Camino Bajo de Huétor 50 , 18008 Granada. Tlf: 958121311 Fax: 958814530. e-mail: revista@iaa.es

Depósito legal: GR-605/2000  
ISSN: 1576-5598

LA CAPA DE OZONO:

# Indicios de recuperación

LOS MODELOS NUMÉRICOS PREDICEN QUE, CON LAS LIMITACIONES DE EMISIÓN DE GASES, EL OZONO SE ENCONTRARÁ EN CONCENTRACIONES SIMILARES A LAS DE ANTES DEL AGUJERO (1980) HACIA MEDIADOS DE ESTE SIGLO

Por Manuel López Puertas (IAA-CSIC)

**EL OZONO, QUE ETIMOLÓGICAMENTE SIGNIFICA "OLER",** da nombre a una molécula compuesta por tres átomos de oxígeno -O<sub>3</sub>- que, en condiciones normales de presión y temperatura, es un gas incoloro, de olor acre y que puede ser tóxico si se respira en grandes cantidades. Se encuentra de forma natural en nuestra atmósfera, principalmente en dos regiones: el 10% en la troposfera y el 90% en la estratosfera (ver esquema dcha); por encima de esta altura solo se encuentra en cantidades ínfimas. La capa con elevada concentración de ozono de la estratosfera se conoce comúnmente como la capa de ozono. Su concentración es muy baja comparada con los principales gases, el nitrógeno y oxígeno moleculares (N<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>). Si comprimiéramos el ozono de toda la atmósfera en una sola capa en la superficie de la Tierra tendría el grosor de un lápiz (unos 3-4 mm). Sin embargo, estas pequeñas cantidades son suficientes para proteger la vida en la Tierra de la dañina radiación ultravioleta (UV) solar.

El ozono se forma en la estratosfera de manera natural en dos pasos, a partir del O<sub>2</sub> y en presencia de radiación ultravioleta solar. Primero la radiación UV rompe la molécula de O<sub>2</sub> en dos átomos de oxígeno y estos se recombinan posteriormente con dos moléculas de oxígeno para formar dos moléculas de ozono. Asimismo, el ozono también se destruye en la atmósfera mediante reacciones químicas en las que intervienen compuestos naturales (por ejemplo, los óxidos del nitrógeno) y compuestos producidos por el hombre, como los compuestos de cloro y bromo.

En la troposfera, cerca de la superficie terrestre, además de la producción natural mencionada arriba, el ozono también se

produce por reacciones con gases contaminantes, como hidrocarburos y óxidos de nitrógeno, que también requieren la presencia de luz. La combustión de carburantes fósiles es la principal fuente de polución en la producción del ozono troposférico.

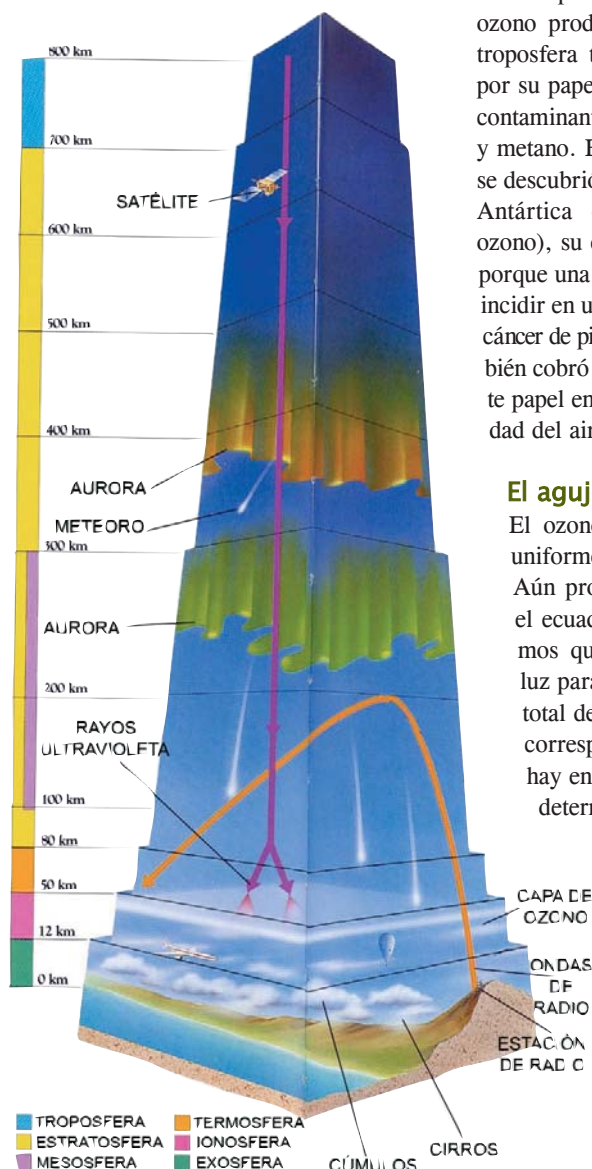
## El bueno, el malo y el ozono

El ozono estratosférico absorbe parte de la radiación ultravioleta solar (UV-B, 280-315 nm), perjudicial para la vida en la superficie terrestre. Por esta razón, el ozono de la estratosfera se considera como ozono "bueno". Por el contrario, un exceso de ozono en la superficie, formado a partir de los gases contaminantes, se considera ozono "malo", porque es perjudicial para el hombre, las plantas y los animales -reduce el crecimiento de cosechas y bosques y produce problemas en las vías respiratorias-. Además, el ozono en esta región contribuye al calentamiento global de la superficie terrestre. No obstante, el ozono producido de forma natural en la troposfera también se considera "bueno" por su papel de agente limpiador de gases contaminantes como monóxido de carbono y metano. En la década de los 80, cuando se descubrió su drástica reducción sobre la Antártica (el denominado agujero de ozono), su estudio pasó a ser fundamental porque una disminución progresiva podría incidir en un mayor riesgo de aparición de cáncer de piel. Y, más recientemente, también cobró protagonismo por su importante papel en la contaminación y en la calidad del aire en las grandes urbes.

## El agujero de ozono

El ozono no se encuentra distribuido uniformemente sobre todo el globo. Aún produciéndose principalmente en el ecuador y en los trópicos (recordemos que necesita de la presencia de luz para formarse), la mayor cantidad total de ozono (o columna de ozono), correspondiente a todo el ozono que hay en la atmósfera por encima de un determinado sitio, se encuentra en

latitudes medias y cercanas a los polos (salvo en las condiciones del agujero de ozono, primavera austral), debido al régimen de vientos ecuador-polo reinante en la estratosfera. Esto produce un fuerte cambio con la latitud.

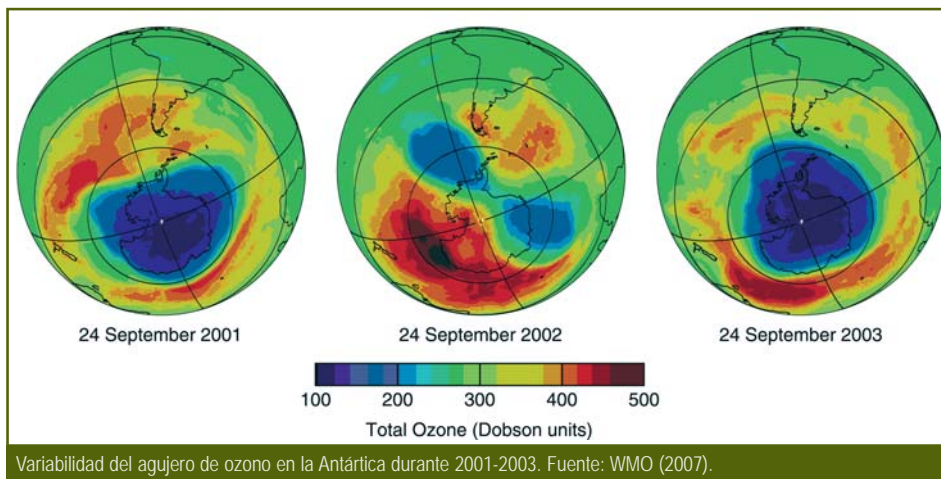


Corte esquemático de la atmósfera terrestre.

A principios de la década de los 80, investigadores del *British Antarctic Survey* y de la agencia meteorológica de Japón observaron en varias estaciones de la Antártica que la columna de ozono a finales del invierno y principios de primavera (septiembre-octubre) disminuía de forma espectacular. Estas observaciones fueron confirmadas posteriormente con las medidas de satélites que mostraban que esta reducción se extendía sobre una vasta región (20-25 millones de km<sup>2</sup>) centrada en el polo Sur (imagen dcha). De ahí el nombre de "agujero de ozono". Hoy sabemos (en 1995 se concedió el Premio Nobel de Química a los investigadores Mario Molina, Sherwood Roland y Paul Crutzen por sus trabajos sobre la destrucción del ozono atmosférico) que el agujero de ozono se produce por la emisión a la atmósfera de compuestos de cloro y bromo (los cloro-fluorocarbonos, CFCs) empleados en las industrias de refrigeración y aire acondicionado. Estos gases, químicamente inertes e insolubles en la lluvia y nieve en la baja atmósfera, se acumulan en la misma y se transportan a la estratosfera donde, en presencia de luz UV, se convierten en gases reactivos que, mediante reacciones catalíticas, destruyen al ozono. La eventual eliminación de los CFCs de la atmósfera tiene lugar a través de la disolución en lluvia y nieve de los productos reactivos de cloro y bromo aunque a un ritmo lentísimo -la vida media de una molécula de CFC en la atmósfera es de casi un siglo-.

*En promedio, la capa de ozono global se ha reducido desde 1980 y actualmente es un 4% menor que entonces*

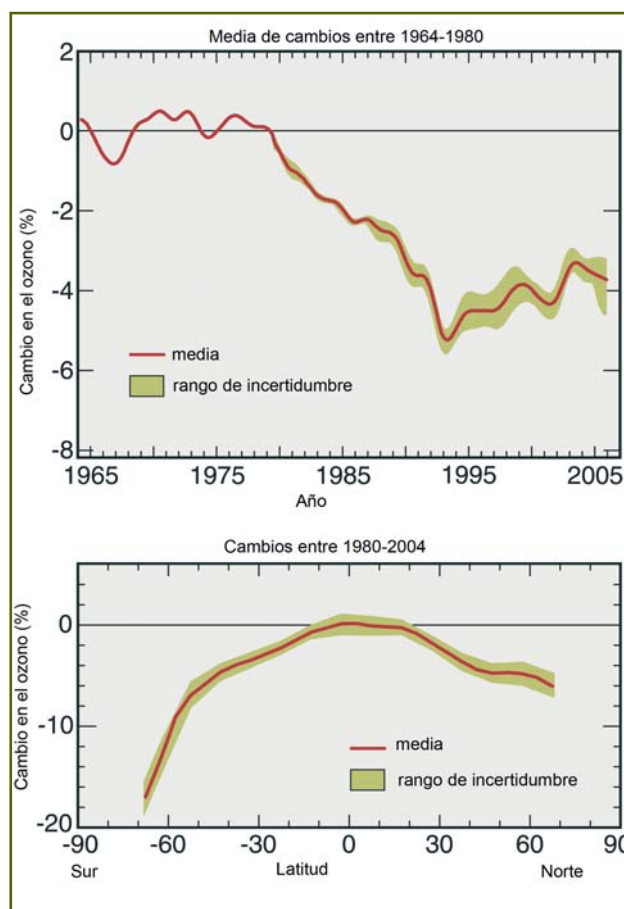
Merced a los procesos dinámicos, los CFCs se distribuyen casi uniformemente por todo el globo. ¿Por qué se produce entonces el agujero en la Antártica? La respuesta está en las bajas temperaturas de la estratosfera en el invierno polar antártico, producidas por el denominado vórtice polar, un potente anticiclón que se forma en la baja estratosfera (30 km). Estas bajas temperaturas favorecen la formación de nubes de hielo (nubes estratosféricas polares). En la superficie de los cristales de hielo tienen lugar, durante el invierno polar, reacciones químicas que transforman los productos del cloro en otros que, tras la llegada de la luz en la primavera, producen los productos clorados reactivos que destruyen al ozono. En el Ártico también se pro-



Variabilidad del agujero de ozono en la Antártica durante 2001-2003. Fuente: WMO (2007).

**Variabilidad del agujero de ozono en la Antártica durante 2001-2003**

La imagen muestra la pérdida de ozono en el hemisferio Sur desde 1965 a 2005. En el 2002 ocurrió, por primera vez en la historia, una ruptura del vórtice polar antártico (algo muy frecuente en el Ártico), que impidió que se alcanzaran temperaturas muy bajas y propició que la reducción de O<sub>3</sub> fuera pequeña (imagen superior, panel central). En 2004 la pérdida de ozono también fue mucho menor. No está claro por qué han ocurrido estas reducciones tan débiles en estos años, aunque parece que están asociadas al cambio climático. Sin embargo, en el 2006 casi se alcanza un nuevo récord absoluto de pérdida de ozono. De cualquier manera, la tendencia en promedio de los últimos años es a una recuperación de la capa de ozono. Fuente: WMO (2007). ÚLTIMA HORA: recientes estudios desvelan que la pérdida de ozono este año es también muy baja, similar a la de 2004.



duce una disminución del ozono al final del invierno y principios de primavera (febrero-abril), aunque mucho menor que en el Antártico, debido a las temperaturas menos frías, y es mucho más variable. La distinta orografía y distribución de continentes y océanos en el hemisferio Norte tiene un papel muy importante, ya que aumenta la actividad de propagación de ondas en la estratosfera y evita así que las temperaturas del vórtice polar Ártico sean tan bajas. La pérdida de ozono no solo ocurre en las regiones polares. Aunque en menor intensidad, también sucede en latitudes medias, y

en mayor medida en el hemisferio Sur que en el Norte (ver imagen, panel inferior). Considerando el promedio de todas las latitudes, la capa de ozono global se ha reducido paulatinamente desde 1980 y actualmente es un 4% menor que entonces (ver imagen, panel superior), valor significativamente mayor que su variabilidad natural.

**Soluciones al problema**

Debido al alto poder destructor del O<sub>3</sub> de los CFCs y a su larga vida en la atmósfera, rápidamente se establecieron protocolos para disminuir su producción. Así, el

OZONO Y RAYOS UV

La variación de la columna de ozono a lo largo de un día es prácticamente nula, por lo que la mayor variación de la radiación solar en la superficie viene dada por la inclinación de los rayos solares, al margen de efectos menores como la nubosidad y la concentración de aerosoles. El cambio en la radiación solar recibida en la superficie a la latitud de España (40°) en el solsticio de verano (21 de junio) desde las 9 a las 12 de la mañana (de 11 am a 2 pm hora civil) es de un 35% (y un 65% de 8 a 12h), equivalente al mismo factor en la columna de ozono. Este factor es mucho más elevado que la reducción de la columna de ozono desde 1980 en todas las latitudes salvo en torno al polo Sur (latitudes >60°S). Así pues, salvo en la Antártica durante la primavera austral, el efecto de la pérdida de ozono sobre el aumento de la radiación UV en la superficie es casi despreciable frente a la variación diurna. Si estamos sensibilizados por nuestra exposición a la radiación UV, no debemos pues preocuparnos en exceso del agujero de ozono sino de no tomar el Sol en las horas centrales del día. Los índices de radiación UV actualmente publicados en varias páginas web, normalmente junto a columnas de ozono, reflejan más bien la latitud, estación y hora del lugar más que la pérdida del ozono.

16 de septiembre de 1987 se firmó el protocolo de Montreal (la ONU celebra el día mundial del ozono este día, y este año se celebra el veinte aniversario), donde se establecieron límites de producción de CFCs que posteriormente tuvieron que ser revisados a la baja en sucesivas enmiendas en Londres (1990), Copenhague (1992) y Pekín (1999). Como resultado de dicho protocolo y las sucesivas enmiendas, la cantidad de gases destructores del ozono ha empezado a disminuir recientemente y, desde finales del siglo

*Los modelos numéricos predicen que el ozono se encontrará en concentraciones similares a las de antes del agujero hacia mediados de este siglo*

pasado, se ha observado una estabilización de la pérdida de ozono. Sin embargo, el agujero de ozono presenta una alta variabilidad que impide afirmar con rotundidad cuándo exactamente y en qué medida se recuperará.

Los modelos numéricos predicen que, con las limitaciones actuales de emisión de gases, el ozono se encontrará en concentraciones similares a las de antes del agujero (las de 1980) hacia mediados de este siglo (imagen dcha). La capa de ozono se recuperará a medida que los compuestos clorados y bromados vayan desapareciendo de la atmósfera, aunque existen varios factores, tanto de índole natural como de origen humano, que pueden cambiar el ritmo de su recuperación. Factores naturales como la variabilidad de la actividad solar y las erupciones volcánicas, así como el cambio climático, pueden alterar su evolución.

**Factores de variabilidad**

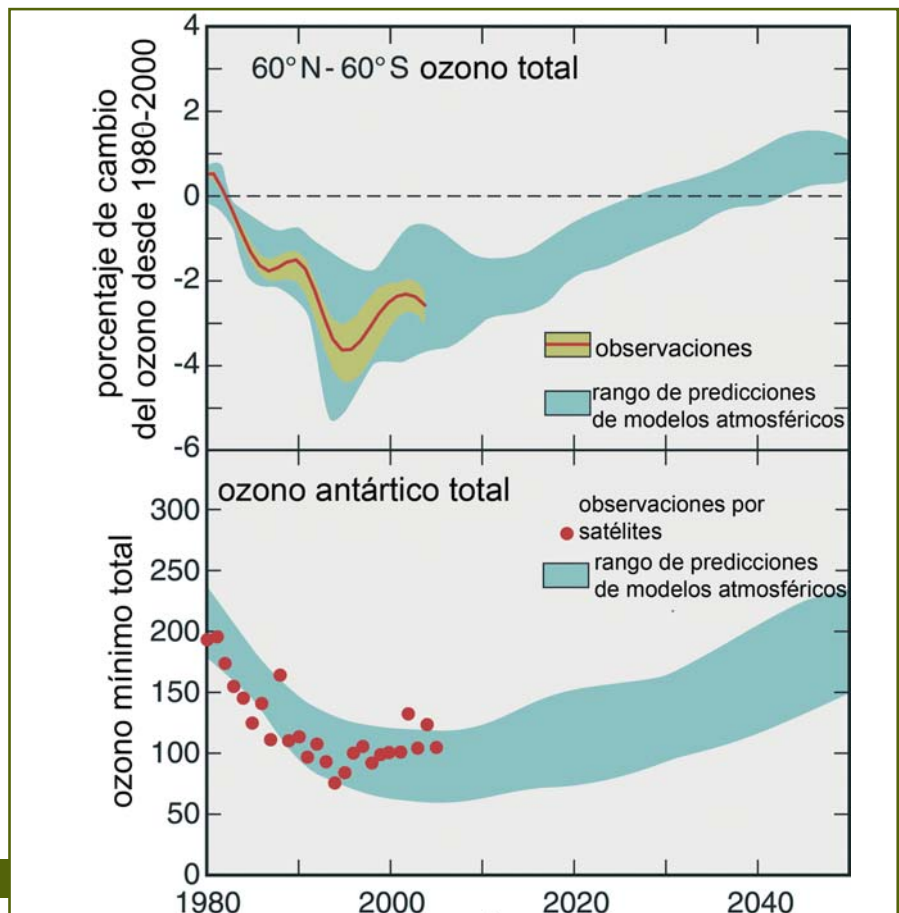
Como ya hemos mencionado, en condiciones de mayor radiación solar se produce más ozono. Así, la columna total de ozono tiene una variabilidad de un 5% asociada al ciclo solar de once años. Por otra parte, una mayor actividad solar genera perturbaciones (tormentas) magnéticas, lo que produce una mayor concentración de óxidos del nitrógeno en las regiones polares y, por tanto, una disminución del ozono (ver recuadro en la página siguiente).

La erupción de grandes volcanes, como el Chichón en 1982 o el Monte Pinatubo en 1991, inyectó en la estratosfera gran cantidad de aerosoles sulfatados, que proporcionan la base para las reacciones que dan lugar a los gases destructores del

ozono. Durante esos años se detectaron los niveles más bajos de ozono en la Antártica. Así pues, si entraran en erupción volcanes similares en los próximos años, cuando los niveles de CFCs en la atmósfera aún serán altos, se retrasaría en varios años la recuperación de la capa de ozono.

Por otra parte, los efectos del cambio climático (cuya causa principal no es la reducción de ozono sino el elevado aumento de las concentraciones de los gases invernadero como el dióxido de carbono o el metano) pueden incidir en un sentido u otro en la recuperación de la capa de ozono. Aunque este es, hoy día, un campo de

intensa investigación, sabemos que la emisión de gases invernadero aumenta la temperatura en la superficie pero baja la de la estratosfera, que contiene la mayor parte del ozono. La destrucción natural del ozono es más lenta a menores temperaturas en la alta estratosfera y, por tanto, produciría una recuperación más rápida del mismo. Por el contrario, temperaturas más bajas en la estratosfera inferior propician un aumento en la aparición de nubes

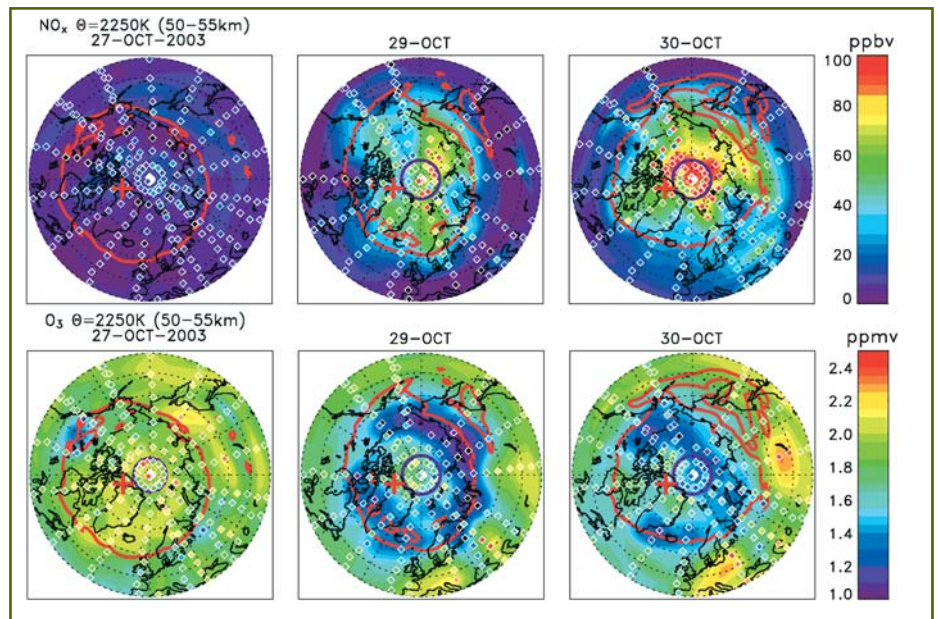


Predicción de la recuperación de la capa de ozono. WMO (2007).

estratosféricas polares, que contribuyen a una mayor pérdida del ozono. En este mismo sentido, el aumento de la cantidad de vapor de agua en la estratosfera constatado recientemente también conduciría a una mayor presencia de estas nubes y de menos ozono.

Los efectos del cambio climático también se dejan sentir a través de los cambios en la dinámica atmosférica como consecuencia del cambio en la estructura térmica. ¿De qué forma afectará al ozono global? Aún no lo sabemos con certeza. Por una parte, parecen existir indicios de una aceleración del transporte meridional ecuador-polos, que puede afectar al transporte de ozono, producido principalmente en los trópicos. Por otra parte, el cambio climático puede afectar a los procesos dinámicos fortaleciendo el vórtice polar, esto es, temperaturas bajas, mayor presencia de nubes estratosféricas polares y mayor pérdida de ozono; o puede que aumente la actividad de ondas planetarias, causando vórtices más débiles y menos fríos, menos nubes y mayores niveles de ozono. Así pues, la predicción de la recuperación de la capa de ozono a los niveles anteriores a 1980 es, hoy por hoy, bastante incierta.

## EFECTO DE LA VARIABILIDAD DE LA ACTIVIDAD SOLAR SOBRE EL OZONO POLAR



Con objeto de predecir la evolución futura de la capa de ozono es necesario conocer todos aquellos procesos, tanto naturales como causados por el hombre, que lo controlan. Entre las causas naturales se encuentran la variabilidad de la actividad solar, que tiene una doble vertiente. Por un lado, la variación de la radiación solar UV que nos llega a la atmósfera, principalmente asociada al ciclo solar de once años y, por otro, la producción de grandes cantidades de partículas (principalmente protones y electrones) eyectadas por el Sol que, dirigidas a lo largo de las líneas de campo magnético terrestre, inciden en las regiones polares. En el Instituto de Astrofísica de Andalucía realizamos una intensa actividad en el segundo aspecto. Las medidas excepcionales suministradas por el instrumento MIPAS, a bordo del satélite Envisat de ESA, nos está permitiendo estudiar en profundidad los efectos

de la denominadas "tormentas magnéticas" solares sobre la concentración de ozono en las regiones polares. Estos eventos inyectan gran cantidad de protones y electrones altamente energéticos en las regiones polares, capaces de penetrar hasta los 30 km. En su penetración, ionizan el nitrógeno molecular que rápidamente reacciona con el oxígeno para formar óxidos del nitrógeno (NO y NO<sub>2</sub>). Estos gases participan de forma natural en ciclos catalíticos destructores del O<sub>3</sub>. Así pues, uno de los efectos de estas tormentas es la destrucción del ozono polar. Si inciden sobre la atmósfera cuando no está iluminada (invierno polar) los efectos pueden ser muy elevados (hasta una reducción del 10% en la columna de O<sub>3</sub>) y sus efectos se pueden dejar sentir durante varios meses. Otro aspecto más persistente aunque menos intenso es el producido por la precipitación de electrones

Aumento de los óxidos del nitrógeno en el polo Norte (arriba) después de la tormenta solar del 29 de octubre de 2003, y la correspondiente reducción en la concentración de O<sub>3</sub> (paneles inferiores). Fuente: López-Puertas *et al.*

muy energéticos. La actividad magnética solar induce cambios en la magnetosfera terrestre (varios miles de km) que produce la precipitación de electrones muy energéticos sobre la alta atmósfera (100 km) en las regiones polares. Estos producen igualmente óxidos del nitrógeno en la alta atmósfera que, tras su descenso durante la noche polar, destruyen al ozono en la estratosfera. MIPAS es un instrumento ideal para cuantificar la destrucción de O<sub>3</sub> debido a estos fenómenos, pues mide tanto el O<sub>3</sub> como estos compuestos del nitrógeno de forma global y continua, no solo en regiones iluminadas sino particularmente en condiciones nocturnas.

### BIBLIOGRAFÍA

- García, R., Causes of ozone depletion, *Physics World*, April, p. 49-55, 1995.
- Solomon, S., Stratospheric ozone depletion: a review of concepts and history, *Rev. Geophys.*, 37, 275-316, 1999.
- WMO, (World Meteorological Organization), Scientific assessment of ozone depletion: 2006. Global ozone research and monitoring project-Report no. 50, Geneva, Switzerland, 2007.
- WMO, (World Meteorological Organization), Scientific assessment of ozone depletion: 2006. Twenty questions and answers about the ozone layer: 2006 update, Geneva, Switzerland, 2007
- Weatherhead E.C., and S.B. Andersen, The search for signs of recovery of the ozone layer, *Nature*, 44, 4, 39-45, 2006.
- <http://www.temis.nl/protocols/O3global.html>
- [http://www.ccpo.odu.edu/SEES/ozzone/oz\\_class.htm](http://www.ccpo.odu.edu/SEES/ozzone/oz_class.htm)



# Mujeres en astronomía

UNA VISIÓN HISTÓRICA DEL ACCESO DE LAS MUJERES A LA ASTRONOMÍA PONE DE MANIFIESTO EL CONTRASTE ENTRE LOS IMPEDIMENTOS SOCIALES QUE LO OBSTACULIZABAN Y EL AFÁN DE SUPERACIÓN DE LAS ASTRÓNOMAS

Por J. Masegosa (IAA-CSIC)

**CREO QUE LA ASTRONOMÍA MODERNA NO SE PUEDE CONCEBIR** sin el extraordinario trabajo realizado por todas aquellas mujeres que, con su dedicación y amor a la Ciencia, nos han dejado su legado. Con este artículo quiero rendir un homenaje muy especial a todas aquellas mujeres que, desde diferentes lugares, contribuyeron al progreso de la Astronomía, la mayor parte de ellas olvidadas por los historiadores de la ciencia.

## Años difíciles: siglos XVII-XVIII

Durante los siglos XVII y XVIII, la consideración de la Astronomía como una actividad artesanal llevó a la implicación de las mujeres en esta actividad familiar. Según los datos recopilados por la historiadora Londa Schiebinger, un número extraordinariamente grande de mujeres se dedicó a la Astronomía en Alemania: un 14% comparado con el 9% de mujeres astrónomas alemanas en 2007. Se dispone de datos biográficos de mujeres tan relevantes como Maria Cunitz (1610-1664) que, con su libro *Urania Propicia*, popularizó la Astronomía de Kepler entre los escolares; Maria Eimmart (1676-1707), conocida por sus 250 dibujos de las fases de la luna que sentarían las bases del mapa lunar y, sobre todo, Maria Winkelmann (1670-1720) por su lucha con la Academia de Berlín. Ella se inició en la Astronomía con su tío y continuó al casarse con el afamado astrónomo Gottfrid Kirch, 30 años mayor que ella. Maria trabajó en estrecha colaboración con su marido y, entre sus principales contribuciones, cabe destacar la elaboración de un calendario astronómico para la Academia de Ciencias y el descubrimiento de un cometa en 1708, hallazgo que fue atribuido a su marido. A la muerte de este en 1710, Maria solicitó la entrada en la Academia para seguir trabajando como astrónoma pero, a

pesar del apoyo de Leibniz, le fue denegado el acceso. En 1916 Maria regresó a la academia para trabajar, junto con sus dos hijas, como ayudantes de su hijo Christopher, a quien sí admitieron como miembro de pleno derecho. La admisión de mujeres con pleno derecho tuvo que esperar hasta 1964, con la historiadora Liselotte Welskopf. Desde la fundación de la Academia de Ciencias de Berlín en 1700, sólo 14 de sus 2.900 miembros han sido mujeres y entre ellas sólo 4 han sido miembros de pleno derecho. En el resto de Europa solo se encuentran escasas referencias a mujeres dedicadas a la Ciencia. La mayoría relativas a mujeres aristócratas como la Duquesa Cavendish (1623-1673) en Inglaterra o la Marquesa de Châtelet (1706-1749) en Francia. En Inglaterra encontramos a Caroline Herschel (1750-1848) y Mary Somerville (1782-1872), que fueron las primeras mujeres que tuvieron el honor de ingresar en la Royal Astronomical Society en 1835. La dedicación a la Ciencia de Caroline Herschel se debió a una ironía del destino. Tras un tifus a los diez años quedó físicamente muy desfavorecida, por lo que sus padres pensaron que no era apta para el matrimonio y la educaron para trabajar como ama de llaves. Se fue a vivir a Inglaterra como ayudante y ama de llaves de su hermano, Sir William Herschel. Se sabe que ella era la que realizaba todos los cálculos matemáticos que publicaba su hermano y le ayudaba en las observaciones astronó-



Ilustración: HST/NASA

micas. Después de la muerte de su hermano en 1822, publicó el *Catalogue of the Nebulae which have been observed by W. Herschel in a series of sweeps*. A pesar de que ella no consideró su trabajo especialmente importante por el hecho de ser mujer, la *Royal Astronomical Society* la tuvo en altísima consideración científica y fue la primera mujer pagada por el rey de Inglaterra por su trabajo de astrónoma, con cincuenta libras anuales.

Mary Somerville aparece como una mujer autodidacta. Después de la muerte de su primer marido, la independencia económica que obtuvo le permitió dedicarse a sus principales aficiones, las Matemáticas, la Astronomía y la Filosofía. Incentivada además por su segundo marido, su primo William Somerville, consiguió grandes progresos en su carrera científica. Entre sus logros destacan la versión traducida de la obra de Laplace *Mecanique Celeste* y el ensayo *The Connection of the Physical Sciences*. Trabajó de forma incansable hasta su muerte y publicó su último trabajo, *Molecular and Microscopic Science*, a la edad de 89 años.

La profesionalización de la Ciencia y el rechazo de las mujeres en las Universidades produjo la práctica desaparición de las mujeres en la Astronomía en Europa.

### Siglo XIX: las sufraguistas americanas. Mujeres computadoras

Entre todas las mujeres del siglo XIX, merece un lugar destacado Maria Mitchel (1818-1889), la primera astrónoma de Estados Unidos. Ella misma se definió como "poseedora de una habilidad normal, pero de extraordinaria paciencia". Su trabajo promovió un gran avance en la tarea educadora de mujeres en el *Vassar College*. Fundó la *Association for the Advancement of Women*, que presidió de 1873 a 1876, y de la que fue presidenta del comité científico hasta su muerte. A pesar de su dedicación como profesora de Astronomía en el *Vassar College*, nunca confió en que las mujeres hiciesen un trabajo comparable al de los hombres, sino solo aquel que requería mucha paciencia. Entre sus logros podemos encontrar el descubrimiento de un cometa que lleva su nombre, lo que le valió una medalla del rey de Dinamarca por el descubrimiento del año.

La idea de Maria Mitchel de que las mujeres estamos especialmente dotadas para las observaciones y los cálculos tediosos y repetitivos inspiró al profesor Pickering, de la Universidad de Harvard, a contratar un grupo de 21 mujeres, el conocido harén de

Pickering, para realizar una clasificación y catalogación de todos los espectros de estrellas hasta la novena magnitud. El aspecto más interesante de las mujeres de Harvard reside en que, además, pudieron realizar investigaciones independientes cuando su obligación con el catálogo espectroscópico se lo permitía. Williamina Fleming (1857-1911) descubrió las enanas blancas; Annie Cannon (1863-1941) elaboró la clasificación espectral de las estrellas que aún adoptamos; Antonia Maury (1866-1952) desarrolló su propio sistema de clasificación espectral, que años más tarde dio lugar al diagrama de Hertzsprung-Rusell; y Henrietta Leavitt (1868-1921) descubrió 1.777 estrellas variables en las Nubes de Magallanes y la relación periodo-luminosidad para las cefeidas.

El ejemplo de Harvard cundió rápidamente y cuando, en 1892, el Observatorio de París planteó el proyecto de cartografiado de todas las estrellas hasta magnitud once mediante la utilización de placas fotográficas, *La Carte du Ciel*, los Observatorios participantes, veinte en total, consideraron que resultaba más barato y eficiente emplear a mujeres. Eva Isaksson estima que solo en el Observatorio de Helsinki el trabajo realizado por el equipo de mujeres equivale a 168 trabajadores a tiempo completo durante el tiempo de duración del proyecto. Lo sorprendente de este gigantesco trabajo,

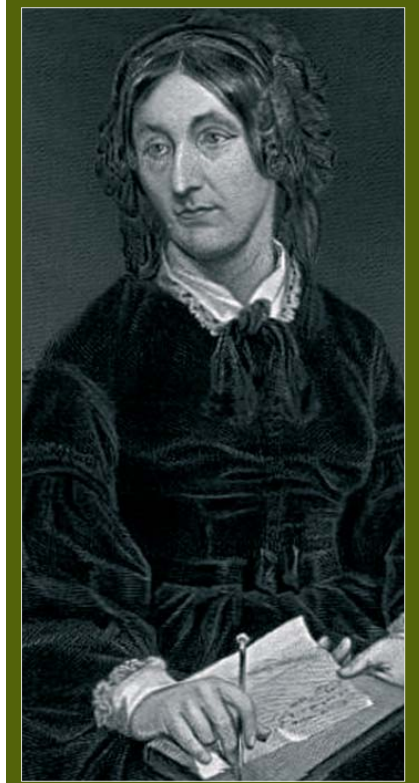
*Desde la fundación de la Academia de Ciencias de Berlín en 1700, solo catorce de sus 2900 miembros han sido mujeres, y entre ellas solo cuatro han sido miembros de pleno derecho*

la catalogación de seis millones de estrellas, es que no ayudó a la trayectoria futura de estas mujeres como astrónomas, como ocurrió en Harvard. Una de las razones argumentadas se atribuye a la contratación de mujeres sin ninguna preparación astronómica o científica, sino como meras calculadoras de posiciones en las placas. A todas ellas, con nombres completamente anónimos en su mayoría, les debemos gran parte de las técnicas desarrolladas así como las



Carolina Herschel. Ella decía de sí misma :  
"Desde el principio me sentí más sorprendida que gratificada por esa distinción, puesto que bien sé lo peligroso que es para una mujer atraer demasiada atención... cualquiera que diga demasiado de mí, dice bien poco de mi padre...".

Mary Somerville. Su libro *The Connection of the Physical Sciences* constituye un profundo ensayo filosófico con una amplia explicación científica acerca de los fundamentos de las fuerzas que mueven el universo.





posiciones y magnitudes de un catálogo de varios millones de estrellas.

## Llega el siglo XX: nuevas oportunidades

Durante la primera mitad del siglo XX, el acceso a la práctica científica en este siglo de gran efervescencia les estuvo vedado. El Observatorio de Monte Palomar es un ejemplo claro de cómo ya bien entrado el siglo XX, en los años 60, las grandes instalaciones se oponían a la formación de buenas profesionales en Astronomía. Vera Rubin cuenta que no se permitió la utilización de los telescopios por ninguna mujer hasta mitad de los 60. La revisión de los Informes Anuales del Observatorio permite concluir que en los años 40 y 50 las únicas mujeres que trabajaron en él son administrativas y personal de cálculo. La única mujer a la que se le permitió acceso en los años 30 fue a Cecilia Payne-Gaposchín (1900-1980), debido a su extraordinaria reputación, pero no para realizar una observación astronómica regular sino por unas pocas horas como cortesía del director del observatorio. A finales de los años 40, Margaret Burbidge solicitó una beca de la Carnegie para realizar sus observaciones allí. Como contestación recibió una carta de disculpas por haber cometido la equivocación de pedir una beca de la Carnegie para utilizar los telescopios cuando las mujeres no estaban autorizadas a usar dichas instalaciones. Años después, en 1955, pudo utilizar los telescopios gracias a su marido, Geoffrey Burbidge, que sí obtuvo una de estas becas. La primera astrónoma que utilizó el telescopio de Palomar de forma legal fue Vera Rubin, en 1964, lo que da una idea de las dificultades encontradas por estas mujeres, pioneras de la astronomía del siglo XX, para desarrollarse profesionalmente.

Para comprender el clima en el que trabajaron tomemos como ejemplo las biografías de las únicas mujeres a las que la Sociedad Astronómica del Pacífico otorgó medallas de oro (las conocidas *Bruce Medallist* a toda una vida dedicada a la ciencia): Margaret Burbidge, en 1982, Charlotte Moore Sitterly en 1990 y Vera Rubin en 2003. Cabe resaltar que, de las 227 medallas de oro concedidas por la *Royal Astronomical Society*, Vera



Maria Mitchell trabajando con sus alumnas en el *Vassar College*.

Harén de Pickering. Esta es la fotografía más famosa que se conoce de las mujeres que trabajaron para Pickering tomada el 13 de mayo de 1913. En ella se encuentran el Profesor Pickering con Margaret Harwood, Mollie O'Reilly, Edith Gill, Annie Jump Cannon, Evelyn Leland, Florence Cushman, Marion Whyte, Grace Brooks, Arville Walker, Johanna Mackie, Alta Carpenter, Mabel Gill e Ida Woods.



Rubin ha sido la única mujer merecedora de dicho honor en 1996, después de que pasaran 160 años de la otorgada a Carolina Herschell.

Margaret Burbidge (1919-) nació y fue educada en una familia de científicos. Tanto su padre como su madre se dedicaban a la química, pero desde su infancia la empujaron hacia cualquier actividad relacionada con las ciencias naturales. Comenzó su actividad en Astronomía en 1940 haciendo observaciones con el telescopio reflector Wilson de 24 pulgadas. Al término de la guerra hizo su doctorado sobre un estudio espectroscópico de estrellas Be en el *University College* de Londres. Encontró su primera dificultad por

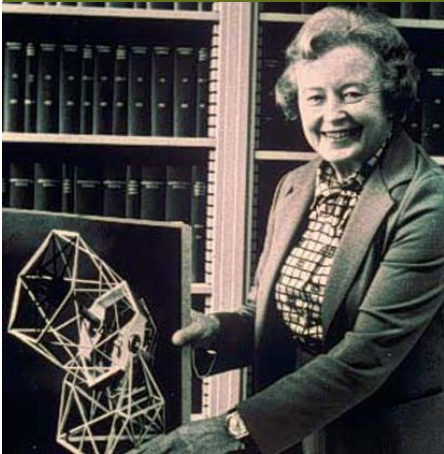
el hecho de ser mujer cuando pidió la beca para continuar sus observaciones en Monte Palomar. Ella misma lo describe como algo inesperado, que le produjo tanta rabia que buscó la manera de superar esa dificultad. Este hecho singular marcó su trayectoria posterior aportándole un carácter duro y agresivo. Su carrera investigadora se ha desarrollado entre Inglaterra y Estados Unidos donde, además de una trayectoria curricular brillante, ha ocupado cargos tan relevantes como directora del *Royal Greenwich Observatory* y presidenta de la *American Astronomical Society*. Charlotte Moore Sitterly (1898-1990) fue una eminente astrónoma americana que organizó, analizó y publicó los libros básicos sobre el espectro solar. Desde el año 1945 hasta su muerte trabajó en el *U.S. National Bureau of Standards and the Naval Research Laboratory*. Entre sus contribuciones cabe destacar la compilación de las tablas de niveles atómicos de energía que se utilizan como material de referencia estándar. Debido al escaso papel político que ha jugado en la Astronomía, se dispone de pocos datos biográficos personales, pero su legado científico fue tan relevante que le dieron la medalla a título póstumo en 1990.

Vera Rubin (1928-), motivada por la historia de Maria Mitchel, ingresó en el *Vassar College* y se graduó en la Universidad de Cornell. Fue

rechazada por la Universidad de Princeton porque no aceptaban mujeres. Su tesis de master sobre los movimientos relativos entre las galaxias produjo un gran revuelo en la reunión de la *American Astronomical Society*, donde fue presentado y obtuvo poca credibilidad. Después de esta experiencia inicial y debido al traslado de su marido, realizó su tesis doctoral en la *George Washington University*, tesis que nunca consiguió publicar en ninguna revista profesional de Astronomía. Sobre todo se la conoce por sus estudios sobre la cinemática de las galaxias espirales, que indicaron la existencia de una alta proporción de materia oscura en el Universo. Su trayectoria, tan poco



Cecilia Payne-Gaposchkin. Fue la primera mujer que obtuvo un doctorado en Astronomía en el Observatorio de Harvard.



Margaret Burbidge. Ella escribe en su biografía sobre el rechazo de la Institución Carnegie para observar en el observatorio de Monte Wilson: "...si los esfuerzos se ven frustrados por un muro de piedra o cualquier otro tipo de bloqueo, una debe encontrar otro camino hacia su meta...".

común, la ha convertido en una de las mujeres más activas en la defensa y promoción de mujeres en Astronomía. Ella misma escribía en *Newsweek* en 2005: "Esta es una batalla que tendrán que luchar las mujeres jóvenes. Hace treinta años pensábamos que la batalla acabaría pronto, pero la igualdad es tan elusiva como la materia oscura".

Acabará este homenaje con una de las astrónomas más relevantes del siglo XX y con la que, a mi entender, se ha cometido una gran injusticia: Jocelyn Bell Burnell (1943). Es la prueba viva de una científica de este siglo que ha superado todos los obstáculos. Jocelyn cuenta que su carrera profesional comenzó a la edad de once años cuando no pasó el examen que determinaba las aptitu-

des para realizar una carrera superior universitaria. Tuvo una segunda oportunidad a la edad de trece años en una escuela de York. En 1965 se graduó en Glasgow en contra de todas las recomendaciones de su entorno, que le aconsejaron que abandonara, ya que era la única mujer en la licenciatura de física. En 1968 obtuvo su doctorado en Astronomía por la Universidad de Cambridge. Durante la realización de su doctorado, conjuntamente con su director de tesis, Anthony Hewish, descubrió la existencia de los púlsares, hecho éste que le valió a Hewish y Ryle la concesión del Premio Nobel de Física en 1971. A pesar de que el trabajo se publicó como Hewish, Bell y tres colaboradores y que era bien conocido por toda la comunidad la participación activa de Jocelyn en este acontecimiento, no se la tuvo en cuenta para el Nobel. Lo más sorprendente es que Jocelyn no cejó en su empeño de continuar adelante e incluso se sintió orgullosa del honor recibido por Hewish. Cuando terminó su tesis en Cambridge, continuó con una carrera muy activa en Astronomía en la Universidad de Southampton, el *University College* de Londres y el Observatorio Real de Edimburgo, además de ser tutora, consultora y profesora de la *Open University* entre 1973 y 1987 y catedrática desde 1991. Por último hay que resaltar que en los últimos años de carrera profesional, entre 2001 y 2004, fue decana de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Bath y, entre 2002 y 2004, presidenta de la *Royal Astronomical Society*.

Quiero terminar mi pequeño homenaje a estas mujeres astrónomas con una frase de Jocelyn (*Science* 304, p. 489, 2004): "Las mujeres y las minorías no deberían hacer todo el esfuerzo de adaptación. Es momento de que la sociedad se movilice hacia las mujeres, y no las mujeres hacia la sociedad".



Vera Rubin. De ella el *Washington Post* escribió "madre joven encuentra el centro de la creación, o algo así", para hacerse eco de la discusión que planteó con la presentación de los resultados de su máster en una reunión de la *American Astronomical Society*.

Jocelyn Bell. A lo largo de su vida ha sido una gran promotora del trabajo de las mujeres. En un artículo reciente escribía: "Aunque el avance y el reconocimiento de las mujeres astrónomas venga a rachas y de modo inesperado, como el estudio de los púlsares, espero que se aceleren en el futuro".

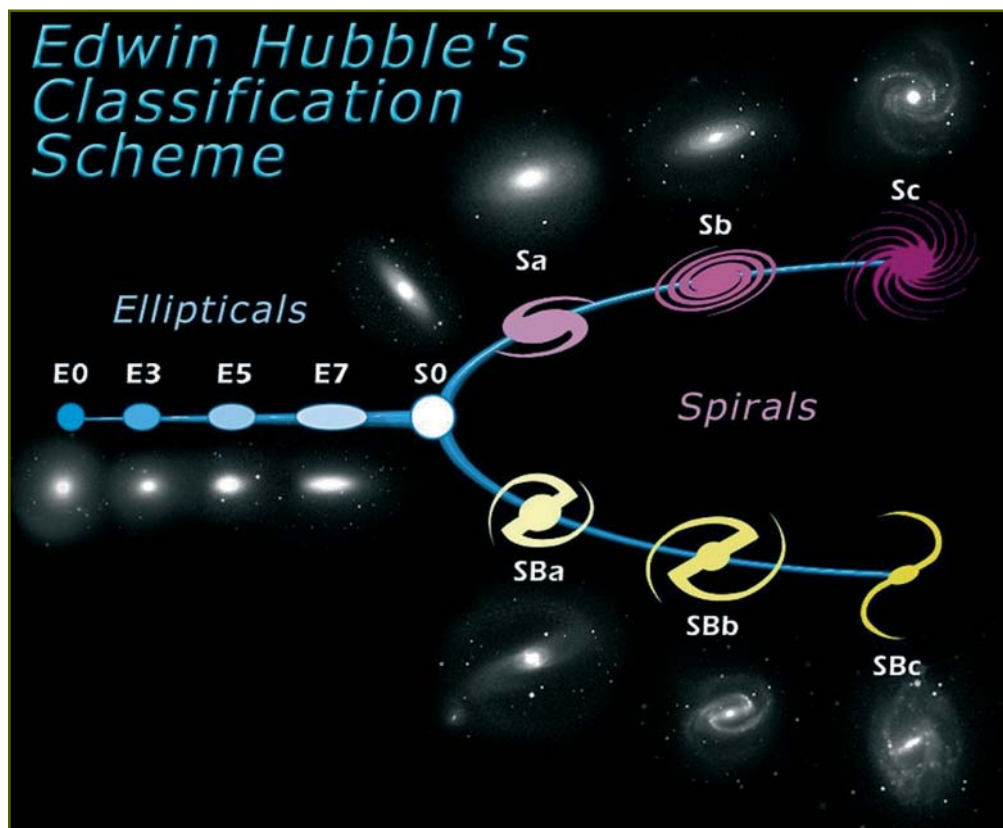


# Activas y perezosas: LAS GALAXIAS TAMBIÉN LO SON

Por Isabel Márquez (IAA-CSIC)

DESDE EL DESCUBRIMIENTO, EN LOS AÑOS 20, DE LA NATURALEZA EXTRAGALÁCTICA de muchas de las nebulosas que se observaban en el cielo nocturno, se ha intentado encontrar un patrón para agrupar las galaxias<sup>1</sup> en conjuntos con propiedades físicas comunes. El "diapasón" propuesto por Hubble (imagen dcha), si bien en principio responde a una clasificación taxonómica, es especialmente útil porque supone el establecimiento de grandes grupos caracterizados por compartir, ya no sólo la forma, sino las propiedades cinemáticas (relativas al movimiento), de contenido en estrellas, gas y polvo, y con procesos de formación de estrellas similares. Tal como se muestra en la imagen de la derecha, Hubble distingue entre elípticas, espirales y lenticulares (estas últimas como tipo intermedio), y las espirales subdivididas a su vez en barradas y no barradas.

Gracias a estudios posteriores a esta clasificación, sabemos que las elípticas albergan una población estelar fundamentalmente vieja y que su contenido en polvo y gas es mucho menor que en las espirales; las galaxias elípticas se mantienen estables frente al colapso gravitatorio debido al propio desorden de los movimientos de sus estrellas (la llamada dispersión de velocidad). Por su parte, las espirales se caracterizan por poseer dos componentes fundamentales, el bulbo (o componente esferoidal asimilable a las elípticas) y el disco, y por motivar procesos de formación estelar más recientes. La rotación del disco las hace estables frente al colapso gravitatorio. En el caso de las barradas, que son al menos dos tercios del total de las espirales, esta componente elongada puede tener consecuencias importantes en la evolución espontánea de sus propiedades. Existen, además, otros tipos de galaxias,



"Diapasón de Hubble", que se aplica a las galaxias cercanas y masivas. Las clasifica en dos grandes grupos: elípticas y espirales, estas a su vez separadas en barradas y no barradas.

como las irregulares, las enanas, o las de bajo brillo superficial -las que serían el colmo de la perezosa-, a las que no nos referiremos a continuación (en lo que a la actividad nuclear se refiere, estas galaxias no juegan prácticamente ningún papel).

La morfología de las galaxias depende generalmente del plano de visión (orientación) en el cielo, además de la longitud de onda en que se observe ya que, en función de esta, los fenómenos físicos que tienen lugar serán más o menos aparentes (imagen pág. siguiente). Así, en rayos X veremos el gas muy caliente (a millones de grados) visible en centros de cúmulos de galaxias, en explosiones de supernova, estrellas binarias de rayos X y en AGNs (núcle-

os activos de galaxias). En el ultravioleta y azul destacarán las estrellas muy calientes, masivas y jóvenes, mientras que en el rojo e infrarrojo cercano lo harán estrellas más viejas y menos masivas. En el infrarrojo medio predominará la emisión proveniente de polvo caliente y de estrellas muy frías, y en el infrarrojo lejano, la del polvo templado o frío. En frecuencias milimétricas se observarán las líneas moleculares y en radio frecuencias el hidrógeno atómico o los procesos de emisión de radiación sincrotrón (púlsares y AGNs).

Las galaxias ocupan además un rango muy amplio de distancias, de modo que, cuanto más lejos se hallen, se podrán distinguir menos detalles sobre su apariencia y la fre-

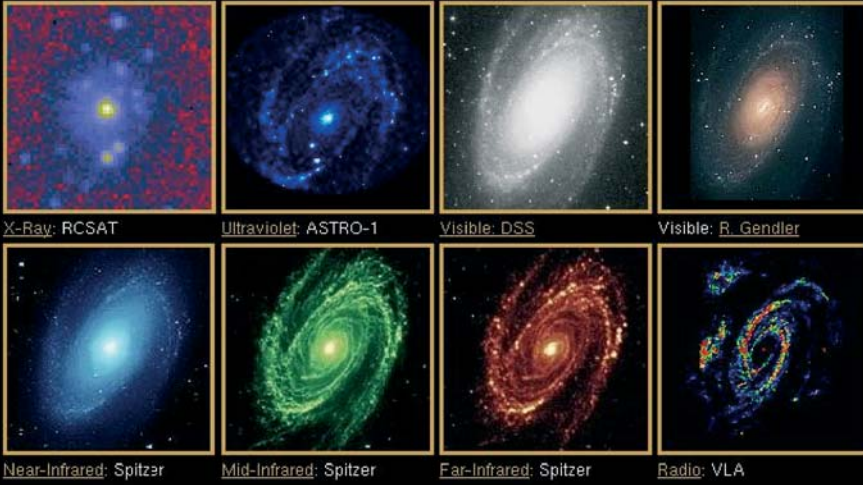
<sup>1</sup> En lo que sigue se utilizará una definición operativa de galaxia, como agrupación autogravitante de millones de estrellas de masas y edades diversas, nubes de gas a diferentes temperaturas, densidades y grados de ionización, polvo y materia oscura.

## M81 – Spiral Galaxy (Type Sb)

Distance: 12,000,000 light-years (3.7 Mpc)

Image Size = 14 x 14 arcmin

Visual Magnitude = 6.9



Imágenes de la galaxia M81 en diferentes longitudes de onda, que reflejan distintos procesos físicos.

cuencia observada se corresponderá con longitudes de onda progresivamente desplazadas hacia el azul debido a la expansión del Universo (efecto K). La comparación con los sistemas del Universo cercano habrá de hacerse considerando estas dos salvedades. Por otra parte, las galaxias no permanecen de manera inmutable en la secuencia de Hubble (hecha para el óptico, y para galaxias cercanas y masivas), sino que continúan "formándose", ya sea por evolución secular (interna), o por procesos de interacción.

### Las galaxias activas

Las galaxias activas sufren procesos fuera de lo que ocurre en las galaxias normales, con peculiaridades que se manifiestan a lo largo de todo el espectro electromagnético: peculiaridades morfológicas (estructuras compactas de alto brillo superficial, núcleo estelar o semiestelar, estructuras externas irregulares cuyo origen suele atribuirse a fuerzas de marea, núcleos dobles o triples) y características espectrales inusuales (líneas de emisión muy intensas y anchas, colores muy azules, emisión en radio, en rayos X o en el infrarrojo lejano anormalmente intensa). Hasta épocas muy recientes la gran mayoría de las galaxias activas se han encontrado por cartografiados del cielo en

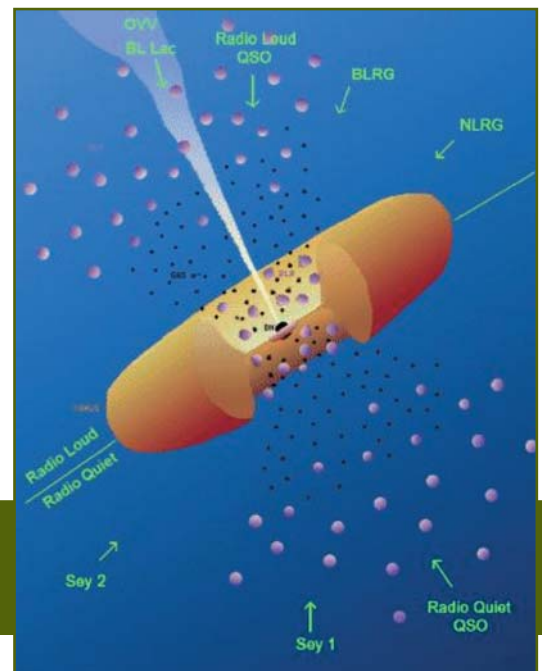
el óptico, seleccionando galaxias con excesos en el azul o ultravioleta, o buscando líneas de emisión en los espectros. El origen de esta actividad puede deberse a procesos de formación estelar muy potentes: la llamada actividad de tipo *starburst*, para la que la interacción gravitacional se ha sugerido como mecanismo inductor importante. Pero otros procesos cuyo origen no puede ser estelar tienen lugar en los núcleos de algunas galaxias: es la llamada actividad nuclear galáctica, o AGN, a la que nos dedicamos a continuación.

### AGNs

La actividad de tipo AGN se debe a los procesos de acreción que resultan de la caída de material sobre un agujero negro central supermasivo. La radiación ionizante en el disco de acreción calienta el gas y produce las propiedades características de este tipo de objetos: emisión en radio frecuencias, presencia de líneas espectrales anchas, variabilidad, continuo no-térmico y polarización. En el esquema actual (imagen inferior), el agujero negro central es extremadamente pequeño (alrededor de una millonésima del tamaño de la galaxia que lo alberga) y muy masivo (de 10 a 100

millones de masas solares). A distancias cien veces superiores se encuentra una región compacta de alta densidad, responsable de la líneas permitidas anchas, la llamada región de líneas anchas o BLR, de *Broad Line Region*. A su alrededor, un toroide de polvo que, según la visual del observador, puede llegar a ocultar la BLR. En escalas hasta mil veces superiores a la anterior, se encuentra una región de densidad más baja, responsable de la emisión de líneas prohibidas estrechas, la llamada región de líneas estrechas, o NLR, de *Narrow Line Region* (se les llama líneas prohibidas porque, en situaciones normales en laboratorios terrestres, estas líneas no aparecen). Los AGNs constituyen el fenómeno estable más energético del Universo, de modo que nos permiten acceder a épocas muy tempranas del Universo ya que son observables hasta distancias muy grandes. El porcentaje y la potencia de los AGN aumentan con el corrimiento al rojo, indicando que el Universo más joven era más activo. Sin embargo, cuanto mayor es la distancia, la apariencia es más débil y más pequeña, dificultándose enormemente el estudio de la morfología de las galaxias anfitrionas de AGNs lejanos.

Los AGNs se han catalogado en diferentes tipos, como son los cuásares, los núcleos tipo Seyfert o LINER o las radiogalaxias. Desde los años 80 se propuso una hipótesis, conocida como esquema de unificación, según la cual las diferencias entre las propiedades de unos tipos de AGNs y otros pueden explicarse considerando el efecto de ocultación del toroide central: en el caso de las galaxias sin emisión en radio, si la visual no intercepta este toroide, el obser-



Esquema de la región más central de una galaxia con AGN, con las diferentes zonas que se requieren para explicar las diferentes propiedades. (Urry y Padovani 1995). Según el esquema de unificación, los AGNs pueden agruparse considerando los efectos de ocultación del toroide central.

Imágenes de galaxias ULIRG obtenidas por nuestro grupo en el NOT (La Palma). Los procesos de interacción fuerte y fusión son muy frecuentes. (Masegosa y Márquez 2002).

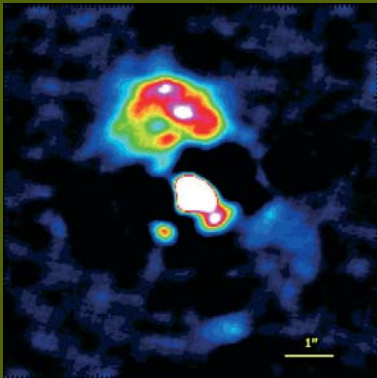
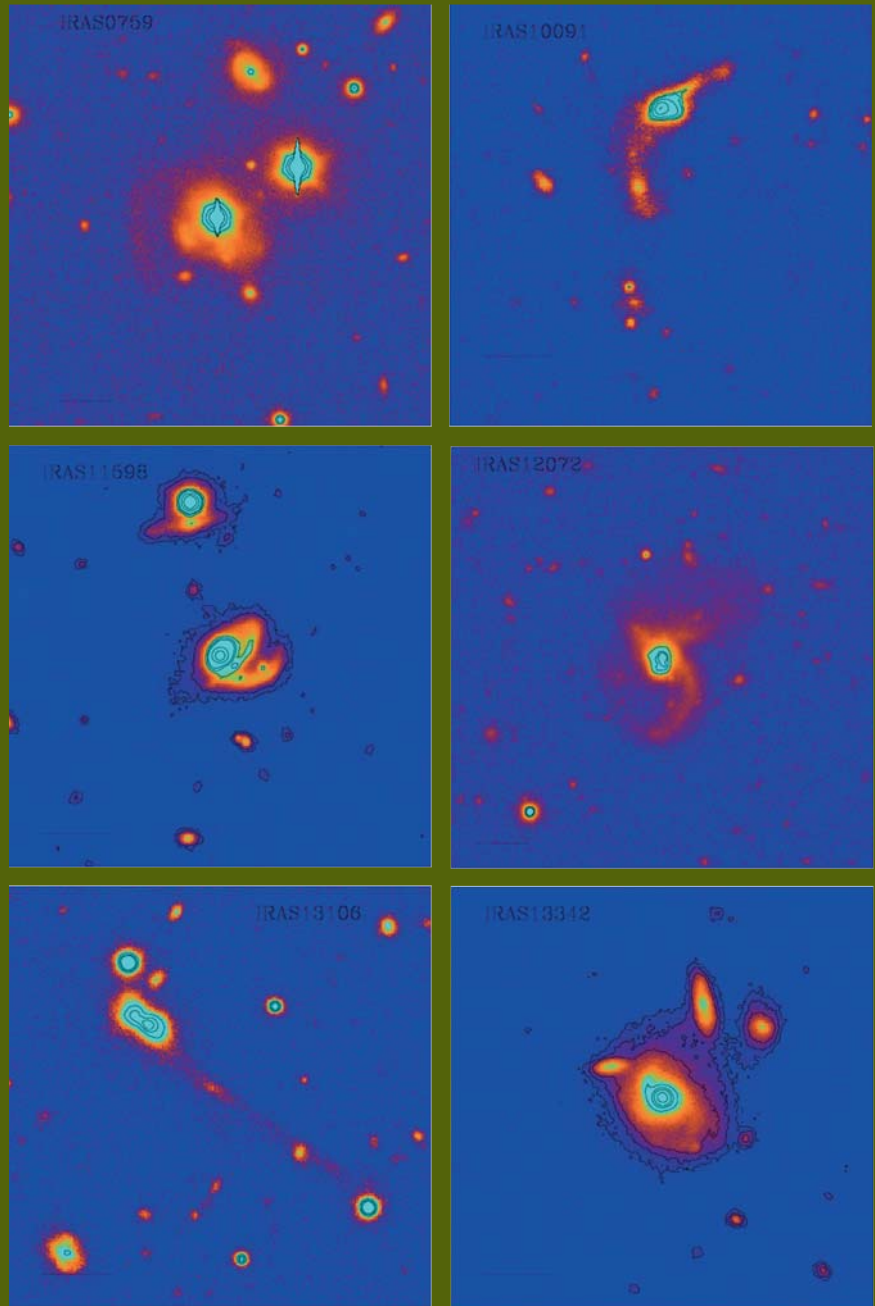


Imagen obtenida con óptica adaptativa en el telescopio Franco-canadiense (Hawái) de un cuásar. Tanto la galaxia anfitriona del cuásar como la compañera presentan signos inequívocos de fuerte interacción gravitacional (Márquez et al. 2001).



vador tendría acceso a la BLR y la NLR, y por tanto vería una galaxia de tipo Seyfert 1 o un cuásar; en caso contrario, solo accedería a la NLR, con lo que vería una galaxia de tipo Seyfert 2. De modo semejante ocurriría con los AGN con fuerte emisión en radio.

### Investigación en el IAA

Un caso especialmente interesante lo constituyen las galaxias ultraluminosas en el infrarrojo (ULIRGs), donde ambos tipos de actividad, AGN y *starburst*, pueden ser muy relevantes. Inmersas en grandes nubes de polvo, estas galaxias suelen encontrarse en sistemas en fuerte interacción, como ocurre también en los cuásares, como corroboraron trabajos de nuestro equipo (imágenes en esta página). El caso de los LINERs, probablemente en el extremo opuesto de actividad más baja, es parte fundamental de nuestro tema de trabajo<sup>2</sup>, en el que tratamos de dilucidar si se trata de núcleos con agujeros negros menos masivos, con mecanismos de acrecimiento menos eficientes o con un oscurecimiento más importante que en Seyferts.

Uno de los temas candentes sobre AGNs consiste en tratar de entender por qué solo un 10% de las galaxias masivas presenta este tipo de actividad, cuando se viene mostrando que todas ellas albergan un agujero negro central (también nuestra Vía Láctea, que podría clasificarse como

“perezosa”). Entre las condiciones necesarias para activar un núcleo están las de precisar tanto de un mecanismo de transporte hacia el puro centro como de suficiente material (gas, estrellas...) para alimentarlo. La interacción gravitacional implica el cumplimiento de ambos requisitos. En el caso de galaxias espirales aisladas, se han sugerido como posibles candidatos los procesos de evolución secular inducidos por la presencia de una barra, si bien los resultados indican que se precisan estructuras y procesos adicionales. Nuestra contribución al respec-

to muestra que galaxias espirales aisladas, con y sin núcleo activo, son semejantes desde todo punto de vista hasta las escalas de la NLR<sup>3</sup>. Nuestras investigaciones más recientes tratan de discernir cómo se relacionan tipo y potencia del AGN con las propiedades de la galaxia anfitriona, y si puede encontrarse una relación que no dependa a su vez del tipo de entorno en que se encuentra, para lo cual habremos de solventar, entre otras, todas las dificultades relativas al estudio morfológico de galaxias progresivamente más lejanas.

<sup>2</sup> Parte del trabajo de tesis de Omaira González Martín (ver González-Martín et al. 2006, 2007).

<sup>3</sup> Resultados del proyecto DEGAS, acrónimo de Dinámica y Estructura de Galaxias Activas, en el que participamos un grupo de astrónomos del IAA, de Francia y Chile.

# LAS FACTORÍAS

[1] Al igual que una capa de niebla, las nubes de polvo que envuelven las estrellas nacientes absorben la luz que estas emiten. La cantidad de radiación absorbida por estas nubes está relacionada con el llamado espesor óptico. Si esta cantidad es muy alta se dice que la nube es ópticamente gruesa, es decir, absorbe gran cantidad de radiación y no nos deja ver las estrellas que oculta. Por el contrario, si la nube es ópticamente delgada es prácticamente transparente. El espesor óptico depende de la longitud de onda y la misma nube de polvo puede ser ópticamente gruesa para longitudes como el visible pero, en cambio, ser transparente para longitudes de onda de milímetros o centímetros, dejándonos acceder al brote de formación estelar que oculta.

[2] En un brote de formación estelar las estrellas nacen de una misma nube de polvo y gas. Al colapsar, dicha nube se fragmenta, y de cada uno de estos fragmentos surge una estrella. En general, el cúmulo contendrá estrellas de muy diferentes masas, desde muy masivas a estrellas de baja masa. La función inicial de masas de un cúmulo indica las proporciones relativas de estrellas que hay de cada masa. Lo interesante es que las observaciones indican que esta función no depende de las condiciones de formación del cúmulo y es más o menos universal. Por tanto, si a partir del número de supernovas podemos determinar la tasa de estrellas masivas en un cúmulo, aplicando dicha función podemos determinar cuántas estrellas hay de cada masa, es decir, la masa total del cúmulo.

[3] El espectro infrarrojo se divide en tres regiones: cercano, medio y lejano. Este último está comprendido entre 40 y 350 micras, aunque en realidad las fronteras entre uno y otro están determinadas por la diferente tecnología que emplean los detectores. Además, las observaciones en el medio y lejano infrarrojo deben realizarse con telescopios fuera de la atmósfera. En una galaxia *starburst*, la alta emisión en el infrarrojo lejano se debe al polvo calentado por las explosiones de supernovas.

Los *starbursts*, o estallidos de formación estelar, son periodos de formación estelar muy intensos en una galaxia, con una duración característica de entre cien y mil millones de años. Para que puedan producirse estos estallidos, es necesario un suministro violento de gas a las regiones centrales de las galaxias, lo que está habitualmente favorecido por procesos de fusión o interacción galáctica. Las galaxias con estos brotes de formación estelar intensa se conocen como galaxias *starburst*, y para comprender su física se requieren observaciones en todos los rangos de frecuencia del espectro. Sin embargo, cuando los estallidos se producen en las regiones centrales de las galaxias, que corresponden a los brotes más compactos y luminosos, están envueltos en nubes de polvo que son ópticamente gruesas [1] a longitudes de onda cortas. Por ello son fundamentales las observaciones a longitudes de onda largas (milimétricas y centimétricas), ya que atraviesan el velo de extinción y permiten derivar las propiedades básicas de la población estelar.

Las galaxias luminosas/ultraluminosas en el infrarrojo (en inglés LIRGs/ULIRGs - *Ultra-Luminous InfraRed Galaxies*), que presentan luminosidades por encima de  $10^{10}/10^{11}$  luminosidades solares, son las mejores candidatas para albergar estallidos de formación estelar. La alta luminosidad en el infrarrojo se debe a la radiación emitida por los granos de polvo del medio interestelar, que se calientan por la absorción de foto-

nes procedentes de las estrellas jóvenes formadas en el estallido. Si hay muchas estrellas jóvenes, se emite radiación muy intensa que es reemitida en el rango infrarrojo por los granos de polvo. De hecho, suponiendo que la mayor parte de la energía emitida por las estrellas jóvenes se emplea en calentar los granos de polvo, puede estimarse la tasa de formación de estrellas masivas (las estrellas con masa superior a cinco soles).

Si consideramos que las estrellas masivas son la componente fundamental de la luminosidad estelar global y que "culminan" su vida como supernovas, podemos utilizar la detección de supernovas en longitudes de onda de radio (las denominadas radio supernovas) como una herramienta fundamental para comprender la física de los procesos de formación estelar. Este procedimiento resulta particularmente útil en las regiones centrales de las galaxias *starburst*, donde hay muchísimo polvo. Así, el ritmo de explosión de supernovas es un trazador de la tasa de formación de estrellas masivas y puede utilizarse incluso para determinar la tasa total de formación estelar, si se asume una función inicial de masas [2] para las estrellas de masa baja (por debajo de cinco masas solares). En ese sentido, las galaxias luminosas/ultraluminosas en el infrarrojo son excelentes candidatas para ser consideradas las fábricas de supernovas más eficientes. Diversos autores han hallado una relación empírica entre la luminosidad en el infrarrojo lejano [3] (emisión del polvo intergaláctico) y el



La galaxia M82.

[4] Si observamos con nuestros ojos un objeto muy lejano apenas podremos distinguir sus detalles. La cosa mejora si empleamos unos prismáticos, o mejor, un telescopio. En este caso, podemos decir que hemos mejorado nuestra resolución, es decir, la capacidad para resolver con detalle estructuras muy cercanas entre sí. Gracias a la radiointerferometría (una técnica que consiste en observar un mismo objeto con varias radioantenas separadas hasta por centenares de kilómetros y sintetizar un telescopio de tamaño equivalente a la distancia entre ellas) podemos alcanzar resoluciones angulares de milisegundos, es decir, distinguir objetos que en el cielo están separados por tan pequeño ángulo. Con esta resolución veríamos desde la Tierra a una persona tumbada sobre la superficie de la Luna o, en el caso de las galaxias, puntos separados por apenas tres años luz.

# DE SUPERNOVAS

ritmo de explosión de supernovas. Arp 220 es el prototipo de galaxia ULIRG ( $1,3 \times 10^{12}$  Luminosidades solares). Se han realizado observaciones radiointerferométricas con alta resolución angular [4] (equivalentes a una resolución lineal de un parsec) que demuestran que la región central contiene más de 49 fuentes puntuales, con flujos entre 60 microJy y 1,2 mJy [5], que han sido interpretadas como radio supernovas. La luminosidad de Arp 220 puede explicarse a partir de *starbursts*, sin recurrir a la presencia de un núcleo activo, con un ritmo de explosión de  $4 \pm 2$  supernovas por año que equivale a una tasa de formación estelar de 50-100 masas solares por año.

Otro caso bien estudiado, en el límite de las galaxias luminosas, es el del anillo de formación estelar circumnuclear de la galaxia M82 ( $2,8 \times 10^{10}$  Luminosidades solares), en el que se han detectado más de 50 remanentes de supernova. Mediante observaciones de alta resolución angular se ha podido determinar la distribución, luminosidad, tamaños, índice espectral [6] y, en algunos casos, la velocidad de expansión angular de los remanentes. Asumiendo una velocidad de expansión común para todos los remanentes (10.000 km/s), se ha podido determinar un ritmo de explosión de 0,07 supernovas por año, que equivale a una tasa de formación estelar de 1,8 masas solares por año. En el IAA estamos trabajando en un proyecto que estudia una muestra completa de galaxias LIRG/ULIRG del Universo local (20

Mpc < D < 350 Mpc). Cubren un amplio rango de luminosidades, desde  $7 \times 10^{10}$  hasta  $2 \times 10^{12}$  luminosidades solares. Estamos realizando un seguimiento de sus estructuras, con alta resolución angular, para detectar nuevas radiosupernovas y determinar la tasa de explosión de supernovas y la de formación de estrellas masivas. El objetivo consiste en determinar el mecanismo dominante en el calentamiento del polvo (brotes intensos de formación estelar vinculados a explosiones de supernova o la presencia de un Núcleo Activo) en las regiones nucleares y circumnucleares de las galaxias de nuestra muestra. Hasta ahora hemos detectado dos nuevas radiosupernovas: SN 2000ft en NGC 7469 y SN 2004ip en IRAS 18293-3413. Queremos destacar que, para el caso de SN 2000ft, la detección y modelado de las curvas de luz en radio han permitido determinar la fecha de explosión y caracterizar que se trata de una supernova tipo II [7] que, si bien es extraordinariamente brillante, evoluciona como muchas otras radiosupernovas que explotan en galaxias normales. La detección y seguimiento de nuevas radiosupernovas en otras LIRGs nos permitirá comprobar si el caso de SN 2000ft es generalizable, lo que indicaría que, a pesar de la elevada densidad en la que explotan las SNe en LIRGs, estas no se ven afectadas por el mismo.

ANTXON ALBERDI Y  
MIGUEL ÁNGEL PÉREZ-TORRES (IAA)  
deconstrucción: EMILIO J. GARCÍA (IAA)

[7] Cuando una estrella muy masiva (al menos ocho veces la masa del Sol) llega al final de sus días tras quemar gran parte de su combustible, muere de forma explosiva, expulsando su masa a una velocidad cercana a los cuarenta millones de km/h. Son las supernovas de tipo II, que se diferencian de otro fenómeno explosivo, las supernovas tipo Ia, en que estas últimas no son fruto de la evolución estelar, sino de la reactivación violenta e incontrolada de procesos termonucleares en una estrella ya moribunda: una enana blanca. Lo interesante tanto en una como otra es que son fácilmente reconocibles ya que sus restos (remanentes) evolucionan de manera muy característica.

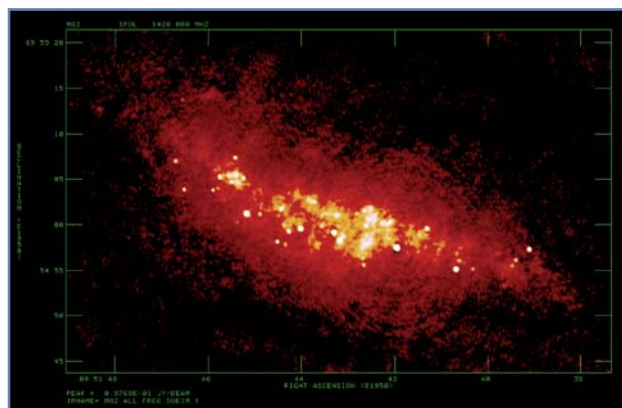


Imagen en radio de la galaxia *starburst* M82 a 1,4 GHz. Los puntos brillantes corresponden a las estructuras tipo cáscara esférica de los remanentes de supernova en expansión.

[6] Si representamos la energía emitida por una radiofuente a lo largo de un amplio rango de frecuencias se puede obtener mucha información sobre ella. Por ejemplo, la emisión de radiofuentes como Casiopea A o Cygnus A decae con el aumento de la frecuencia, en cambio en la Luna o Marte la emisión crece con la frecuencia. Este comportamiento de la radiación con la frecuencia viene caracterizado por el índice espectral. Un valor negativo para este índice indica un origen térmico de la emisión; por el contrario, un valor positivo manifiesta la presencia de otros mecanismos de radiación (por ejemplo, la radiación sincrotrón).

[5] Jy, Jansky. Unidad de densidad de flujo que se emplea en radioastronomía, es decir, la cantidad de energía por unidad de tiempo y área que recibimos de un emisor a una frecuencia dada. Su nombre es en honor de Karl Jansky, uno de los padres de la radioastronomía ( $1 \text{ Jansky} = 10^{-26} \text{ W/m}^2 \text{ Hz}$ ).

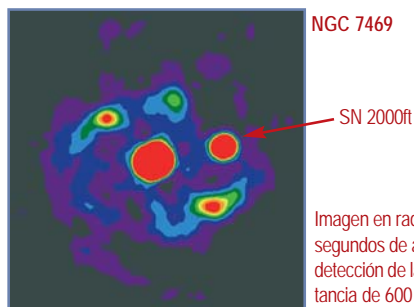
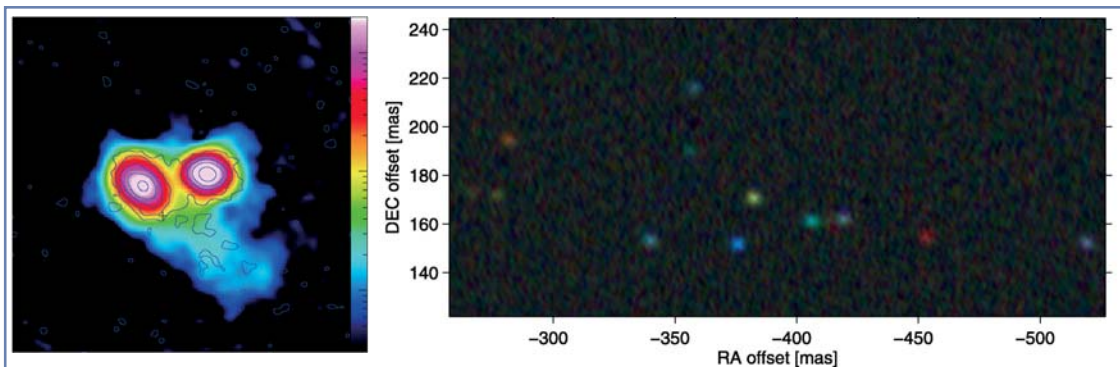


Imagen en radio de la galaxia NGC 7469 a 8,4 GHz. Tiene una resolución angular de 350 milisegundos de arco que corresponde a una resolución lineal de 120 parsec. Puede apreciarse la detección de la supernova SN 2000ft en el anillo circumnuclear de formación estelar, a una distancia de 600 parsec del núcleo.



Arp220  
Izda: Imagen en radio a 8,4 GHz con una resolución angular de 300 milisegundos de arco. Muestra que la galaxia contiene dos núcleos separados por un segundo de arco, que corresponden a regiones de formación estelar intensa.  
Dcha: Imagen VLBI de las supernovas individuales del núcleo este de Arp220.

## El nacimiento de una galaxia gigantesca

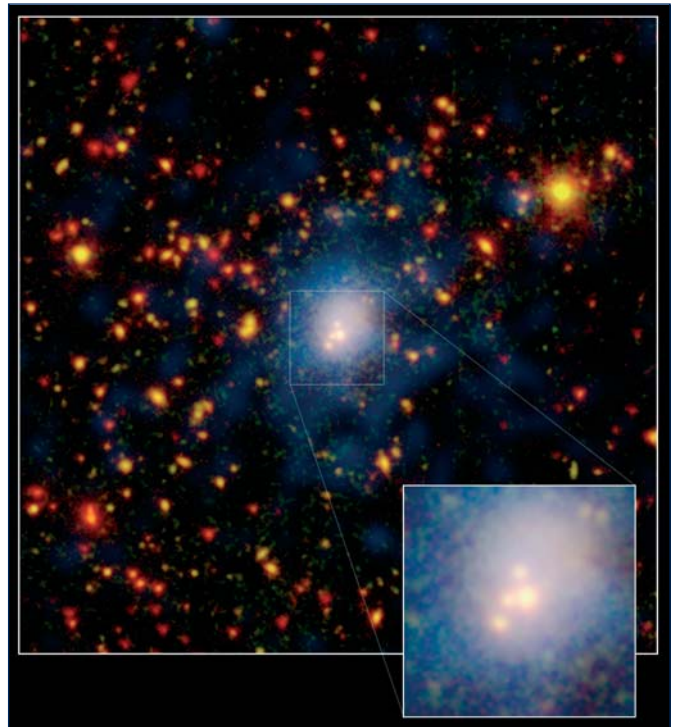
El telescopio espacial Spitzer de la NASA ha desvelado la fusión de cuatro galaxias, tres de ellas del tamaño de la Vía Láctea y la cuarta mucho mayor

► Hemos venido a un espectáculo de baile clásico. Disfrutamos de la suavidad rítmica con que los bailarines se mueven por el escenario siguiendo los acordes musicales. Sin embargo, algo no va bien. Algunos se acercan entre sí más de lo debido y no pueden evitar el contacto. Sus movimientos y su aspecto parecen distorsionarse. Los bailarines más ineptos pierden el control y chocan aparatosamente. La danza, antes suave, se convierte en una colisión violenta. Los espectadores dudamos de si los artistas en el escenario son contorsionistas circenses o bailarines de danza clásica.

Las galaxias también danzan y puede ocurrirles algo parecido. A menudo no están solas, sino que forman parte de agrupaciones cuyos miembros se mueven al compás de los acordes musicales definidos por la gravedad. Es esta fuerza la que los mantiene unidos y les marca los movimientos que deben seguir. En ocasiones, las galaxias llegan a estar tan juntas que interactúan entre sí, muestran signos de distorsión en su

aspecto y sus movimientos y son despojadas de gas y estrellas. A veces se acercan tanto que la colisión es inevitable. El resultado es la formación de una nueva galaxia de mayor tamaño, producto de la fusión de las que chocaron.

Este mecanismo de formación de galaxias (conocido como fusión de galaxias) se conoce desde hace décadas. Hasta ahora se habían observado fusiones entre una galaxia de gran masa y una o varias galaxias menores, o bien fusiones entre dos galaxias de masa elevada similar. A estas observaciones se une la última realizada por el telescopio espacial Spitzer de la NASA. De forma accidental ha descubierto una fusión en la que participan cuatro grandes galaxias: tres de ellas tienen tanta masa como nuestra Vía Láctea y la cuarta posee al menos tres veces más. Se trata de un espectáculo sin precedentes para los investigadores. La colisión es tan violenta que miles de millones de estrellas han sido esparcidas por el espacio. Como resultado de esta fusión se formará eventual-



La imagen nos muestra una de las mayores colisiones cósmicas jamás observada. Los nódulos amarillos brillantes en el centro son cuatro grandes galaxias que están chocando entre sí, a una distancia de unos cinco mil millones de años luz de la Tierra. Finalmente se fundirán para formar una de las galaxias más masivas del Universo. Este descubrimiento fue realizado de forma accidental por el telescopio espacial Spitzer de la NASA (EEUU).

mente una galaxia que tendrá al menos diez veces más masa que la Vía Láctea, en un proceso que habrá durando más de mil millones de años.

La danza gravitatoria de estas cuatro galaxias, armónica y suave en

el pasado, se ha convertido en un drama violento, extremo, cuyo resultado será la creación de una de las galaxias más masivas del Universo.

**Montserrat Villar (IAA).**

## ¿Un nuevo tipo de AGN o "todo depende del cristal con que se mire"?

Una porción importante de AGNs ha permanecido oculta hasta el momento

► Los núcleos de galaxias activas (o AGNs, como se los conoce por su acrónimo en inglés) se encuentran entre los objetos más luminosos del Universo. Algunos son capaces de radiar, desde una

región no mayor que nuestro Sistema Solar, tanta energía como la emitida por todas las estrellas de nuestra Galaxia. La extrema luminosidad de los AGNs se debe al enorme potencial gravitatorio de

los agujeros negros supermasivos que se cree que existen en sus centros (con masas de entre millones y miles de millones de veces la masa de nuestro Sol). La presencia de material en caída en torno a

estos extraordinarios potenciales gravitatorios favorece la formación de discos de acrecimiento (ver imagen) que, en presencia de campos magnéticos, son frecuentemente los responsables de la formación de potentes chorros de plasma que se propagan en el medio interestelar e intergaláctico a velocidades cercanas a la de la luz.

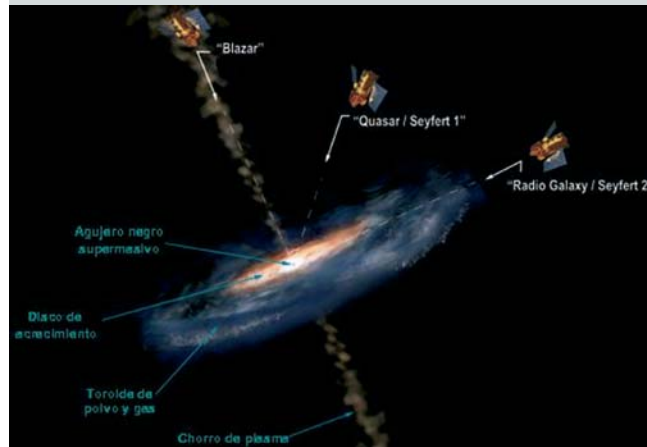
Además del agujero negro, el



disco de acrecimiento y los chorros, existe un "rosco" (estrictamente un toroide) de gas neutro y polvo, mucho mayor que el disco de acrecimiento, que puede ocultar parcial o totalmente las regiones internas del AGN (ver imagen), y por tanto determina las características observacionales fundamentales de los distintos tipos de AGNs en función del ángulo de visión con que nosotros lo observamos. Esto no es estrictamente cierto, porque se sabe que solo existen dos tipos de AGN: los que producen chorros y los que no (aunque algunos presentan chorros muy tenues, lo que está aún por entender). Entonces, si tenemos esto en cuenta, el resto de clases dentro de estos dos tipos no reflejaría diferencias reales, sino la orientación con que nosotros los vemos.

### Los "nuevos" objetos

Sin embargo, algunos trabajos recientes muestran que existe una fracción relativamente abundante de AGNs cuya radiación visible y de rayos X de baja energía (entre 0,1 y 10 kiloelectronVolts) parece estar absorbida fuertemente. Esto había impedido que los telescopios los observaran durante déca-



Esta ilustración muestra las diferentes partes fundamentales de un AGN, y cómo un mismo objeto puede clasificarse de forma distinta dependiendo de nuestro ángulo de visión. Fuente: Aurora Simonnet (Sonoma State University).

das, pero no ocurre así con los modernos satélites de rayos X de alta energía (entre 10 y 100 kiloelectronVolts), ya que la radiación en este rango tiene menor tendencia a ser absorbida por el material interestelar.

De entre estos objetos detectados por primera vez, un equipo internacional de investigadores liderado por el Dr. Yoshihiro Ueda (Univ. Tokio) ha elegido dos para un estudio intensivo que determine si, de hecho, pertenecen a una

nueva clase de AGN desconocida hasta ahora. Para ello han empleado los satélites de rayos X Suzaku (Agencia Espacial Japonesa) y Swift (NASA), además de telescopios ópticos. Según Ueda y sus colaboradores, los resultados ponen de manifiesto que ambos objetos contienen toroides de polvo y gas tan extendidos que bloquean toda la radiación de baja energía en prácticamente todas las direcciones del espacio.

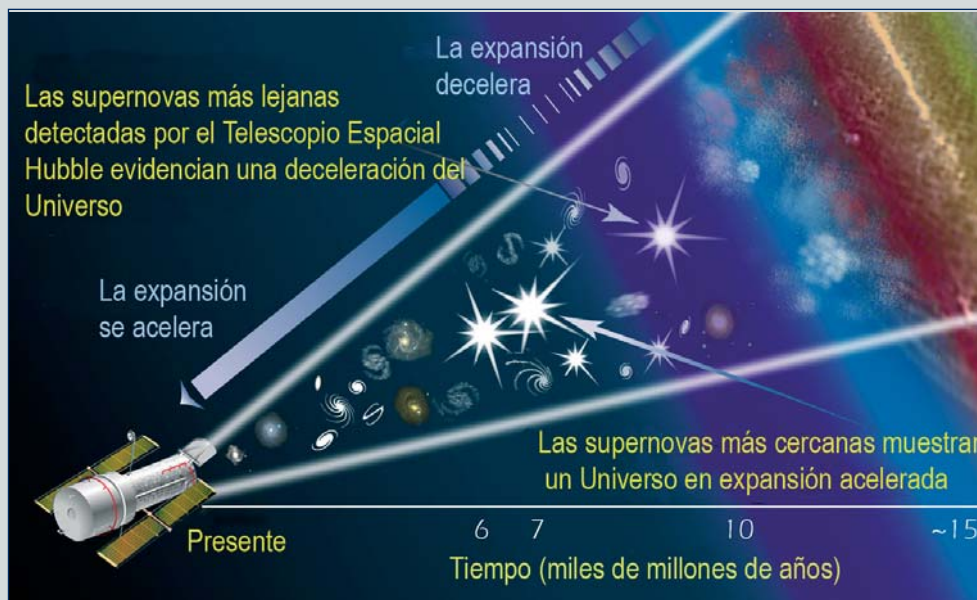
A esto, ellos lo llaman "el descubrimiento de un nuevo tipo de agujero negro supermasivo sepultado" (ver Ueda et al. 2007), lo que recuerda más a la tendencia sensacionalista de las agencias espaciales a exagerar los titulares de sus notas de prensa que al resultado obtenido de los datos. Por otro lado, el llamar "nuevo tipo de objeto" a aquel que ya se conocía, pero con una de sus características modificadas, exigiría como mínimo un debate; sobre todo en el campo de los AGNs, en el que la tendencia a unificar tipos de objetos identificados en el pasado a través de diferentes métodos independientes ha dado tan buenos resultados.

En cualquier caso, lo que es cierto es que durante años se ha obviado la existencia de una fracción significativa de la población total de AGNs, la cual tendrá en el futuro influencia en la modificación de modelos estadístico-astrofísicos en los que los AGNs juegan un papel importante.

### Iván Agudo (IAA)

Referencias: Ueda, Y., Eguchi, S., Terashima, Y. et al. 2007, *Astrophysical Journal Letters*, 664, 79.

## La aceleración del Universo se lleva el premio Gruber



► La fundación Gruber ha concedido su premio 2007 en Cosmología a los dos equipos de investigación que, entre 1998 y 1999, anunciaron que, inesperadamente, la expansión del Universo parece estar acelerando. El premio no solo ha recaído en los directores de los dos equipos, Saul Perlmutter (*University of California, Berkeley*), responsable del *Supernova Cosmology Project*, y Brian Schmidt (*Australian National University*), jefe del *High-z Supernova Search Team*, sino también en los equipos de investigación al completo: un total de 51 investigadores de múltiples nacionalidades en el que nos gustaría destacar la presencia de la Dra. Pilar Ruiz Lapuente de la Universidad de Barcelona. Con la mención explícita de los equipos de investigación, esta fundación ha dado un bonito ejemplo que debería seguirse con más asiduidad.

Cuando una estrella explota en for-

ma de supernova se observa un fenómeno parecido al encendido de una cerilla en la oscuridad. En poco tiempo aparece una luz muy brillante que después se va extinguendo poco a poco. Analizando supernovas cercanas se vio que en su momento de máximo brillo todas brillaban por igual (esto sucede solamente para un tipo especial de supernova, las de tipo Ia). Es por esto que las supernovas de tipo Ia pueden usarse como candelas estándar para medir distancias: "si conoces qué cerillas se están usando y ves encender una en la oscuridad, por su brillo podrás deducir a

qué distancia de ti se ha encendido". Ahora, cuando una supernova explota muy lejos de nosotros, su luz nos llega enrojecida (el famoso corrimiento al rojo). El corrimiento al rojo de la luz de una supernova también nos da un indicador (diferente) de lo lejos que se encuentra. Comparando las distancias luminosas a supernovas lejanas con sus corrimientos al rojo, se puede determinar cómo se expande el Universo: si lo hace a un ritmo constante, si su expansión está disminuyendo o si, por el contrario, está aumentando. Este último fue el resultado encontrado por los equi-

pos premiados: el Universo está acelerando su expansión (o lo que es lo mismo, el parámetro de deceleración es negativo).

Atendiendo a nuestros conocimientos sobre gravitación, un estado de aceleración solo se puede dar si en el Universo existe un tipo de "energía", diferente de los conocidos, cuya presión asociada es fuertemente negativa; de ahí lo inesperado del resultado. Entender la naturaleza de esta "energía oscura" es hoy por hoy uno de los mayores retos con los que se enfrenta la física.

Por último, un pequeño consejo

para cuando lean el anuncio de un nuevo descubrimiento científico como el presente. En palabras del Prof. Visser (*Victoria University, Nueva Zelanda*): no es lo mismo decir "el valor más probable del parámetro de deceleración es negativo", que decir, "existe una evidencia significativa de que el parámetro de deceleración es negativo". Dadas las incertidumbres de los datos de que disponemos en la actualidad deberíamos ser conservadores y adherirnos, al menos por ahora, a la primera de las frases.

Carlos Barceló (IAA).

## Evidencias del cruce de Sagitario con la Vía Láctea

Sagitario, una galaxia satélite de la Vía Láctea, se halla en un avanzado proceso de desintegración

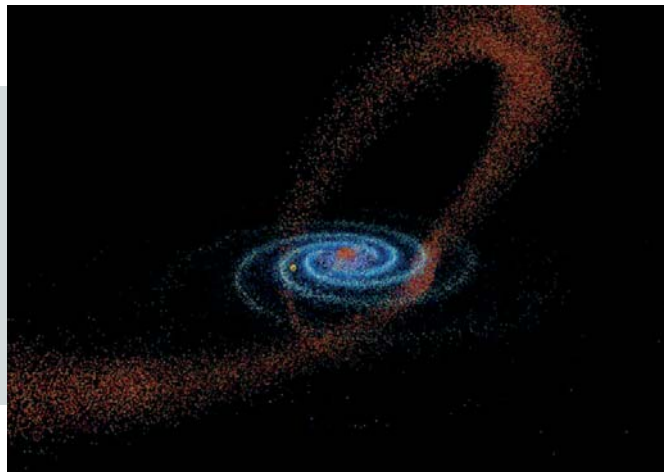
► Un grupo español de astrofísicos ha hallado nuevas evidencias observacionales del cruce, en las proximidades del Sistema Solar, de una corriente de estrellas perteneciente a la galaxia enana de Sagitario, un sistema estelar que gira en torno a la Vía Láctea y que se encuentra en un proceso de completa destrucción.

La galaxia enana de Sagitario fue descubierta por casualidad en 1994 por investigadores de la Universidad de Cambridge. En el año 2001, investigadores del Instituto de Astrofísica de Canarias estudiaron la interacción de esta galaxia con la Vía Láctea y demostraron que Sagitario se encuentra en un avanzado proceso de desintegración, que se manifiesta en el desarrollo de una extensa corriente de marea -ríos de estrellas que se mueven a lo largo de su órbita-, que envuelve nuestra Galaxia en una órbita polar. Los modelos teóricos de la corriente de marea de Sagitario predicen que su cola Norte

dibuja un bucle cerrado y se precipita casi verticalmente sobre el disco de la Vía Láctea. El reciente estudio ha aportado las pruebas definitivas a los modelos teóricos, al encontrar evidencias observacionales de que la corriente cruza el plano Galáctico en una posición muy cercana a la vecindad solar.

### La falsa galaxia enana

El estudio de Sagitario ha permitido, además, demostrar que el supuesto satélite de la Vía Láctea hallado en enero de 2006 en la constelación de Virgo es en realidad parte de

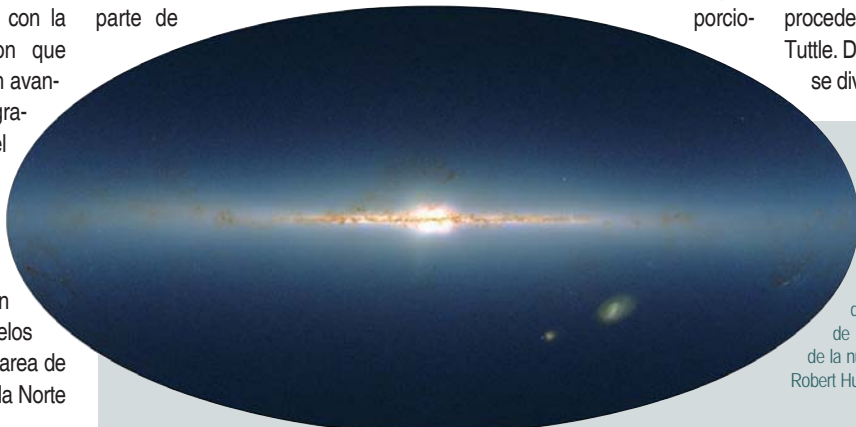


La Vía Láctea, en azul, y la galaxia enana de Sagitario, que dibuja un bucle cerrado en torno a nuestra Galaxia. La situación del Sol corresponde al pequeño punto amarillo. Fuente: David Law/University of Virginia.

Sagitario. La comparación de la posición y estructura de Virgo con modelos teóricos de la corriente de marea de Sagitario muestran que la sobredensidad de estrellas observadas en Virgo es la proyección en el cielo de la corriente de Sagitario en su caída sobre el disco Galáctico y aproximándose a la región donde se

halla Sol. Esto proporcio-

na una explicación natural a su gigantesca extensión (que ocupa un área en el cielo equivalente a un cuadrado de sesenta lunas de lado), debida a que estamos atravesando una corriente colimada de estrellas. Se puede hallar una analogía en las Leónidas, una lluvia de estrellas fugaces que ocurre cuando la Tierra atraviesa la corriente de partículas procedentes del cometa Tempel-Tuttle. Durante las Leónidas de 1887 se divisó una gigantesca mancha



Vista de todo el cielo, dominada por la Vía Láctea. La débil extensión brillante situada justo debajo del centro de la Vía Láctea es el núcleo de Sagitario. Las manchas brillantes de la parte inferior derecha corresponden a las Nubes de Magallanes, dos galaxias satélites de la nuestra. Fuente: John Carpenter and Robert Hurt/2MASS Project.

difusa en el firmamento en una posición cercana al radiante (la zona del cielo donde parece originarse la lluvia), producida por la dispersión de la luz provocada por las partículas cometarias. Este fenómeno, conocido como *radiant glow* (luminiscencia de radiante), resulta similar al de la supuesta galaxia enana, pero las "partículas" son las estrellas de Sagitario, cuya densidad se distribuye en una enorme mancha en el cielo en una posición cercana a

Virgo. Así, el estudio del grupo español concluye que Virgo no es una galaxia satélite girando en torno a la Vía Láctea como se anunció en 2006, sino los restos de marea de Sagitario "lloviendo" sobre la vecindad solar.

#### Búsqueda de materia oscura

Sorprendentemente, esto significa que podemos esperar la presencia de restos de la cola de Sagitario en la proximidad del Sol, y sus estrellas

podrían identificarse a partir de su enorme velocidad espacial, moviéndose en dirección casi perpendicular al plano de nuestra Galaxia. Este descubrimiento abre además una importante oportunidad para la búsqueda de materia oscura en la vecindad solar, ya que algunos grupos de investigación han especulado que el trozo de la corriente estelar de Sagitario que posiblemente cruza la vecindad solar debería contener considerables cantidades de materia

oscura. Esto ofrece una oportunidad única para su detección mediante experimentos de física de partículas.

*El equipo de investigadores españoles está compuesto por David Martínez-Delgado (IAC-IAA), Emilio J. Alfaro (IAA, CSIC) y Jorge Peñarubia (Univ. Victoria, Canadá), en colaboración con M. Juric (Instituto de Estudios Avanzados, Princeton) y Z. Ivezić (Univ. Washigton), que fueron los descubridores de la supuesta galaxia de Virgo (2006).*

**David Martínez-Delgado (IAC) y Silbia López de Lacalle (IAA)**

## Moléculas con carga negativa en el medio interestelar

**Dos equipos de astrónomos americanos han identificado, de manera independiente, la molécula más larga, hasta la fecha, que está cargada negativamente ( $C_8H^-$ )**

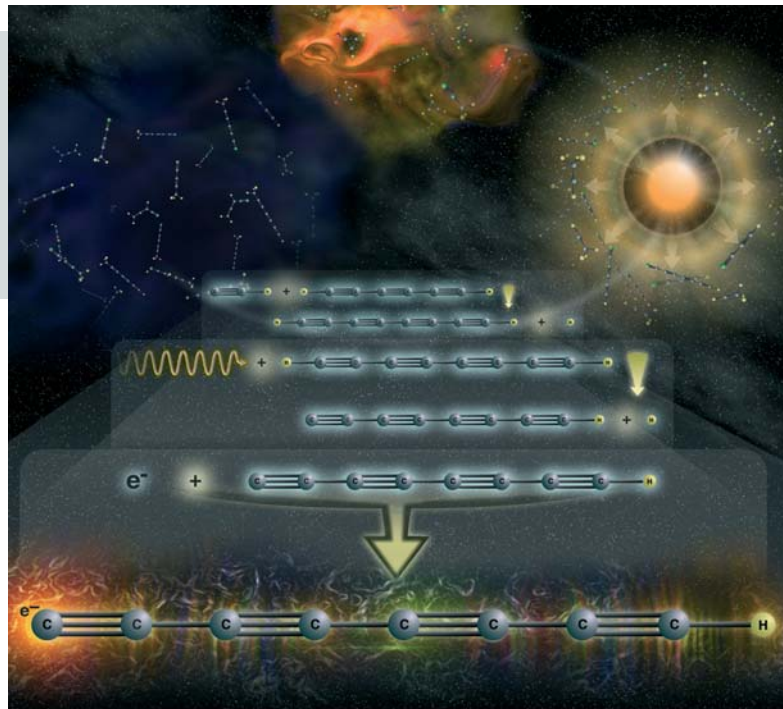
Desde 1937, cuando se identificó la primera molécula (CH) en el espacio interestelar, se han identificado en el espacio unas 130 moléculas neutras y unas diecisiete cargadas positivamente (cationes); pero la primera molécula cargada negativamente (aniones) solo se descubrió apenas hace un año. El tamaño de las moléculas identificadas en el espacio varía desde las más simples con apenas dos átomos (como la de hidrógeno molecular  $H_2$ , o la de monóxido de carbono CO), hasta las más complejas como son los hidrocarburos policíclicos aromáticos (que tienen más de diez átomos de carbono en forma de anillos, como el benceno).

La forma neutra de esta molécula ( $C_8H$ ) se descubrió en 1996 por el equipo hispano-francés formado por José Cernicharo y Michel Guélin utilizando el radiotelescopio IRAM de 30

metros de Sierra Nevada. La importancia de la identificación del anión de una molécula tan grande reside en que se trata de la mayor identificada hasta la fecha con carga negativa, y del tercer anión conocido hasta el momento. En general, las moléculas en el espacio interestelar son neutras, pero cuando interactúan con los rayos cósmicos o la radiación ultravioleta de las estrellas calientes pueden cargarse positivamente al perder un electrón. Más difícil es que sean capaces de retener un electrón adicional.

Hasta ahora los modelos teóricos no consideraban que los cationes fueran suficientemente estables como para poder detectarlos en el espacio interestelar, pero claramente esto ha de revisarse para incluir mecanismos más complejos que expliquen la existencia de estos aniones.

Las dos identificaciones del  $C_8H^-$  se han llevado a cabo en lugares bien diferentes del espacio. El equipo liderado por Remijan (*National Radio Astronomy Observatory*) ha usado datos de archivo para hacer el descubrimiento en IRC +10216, una estrella muy evolucionada que se encuentra a 550 años luz de la Tierra, donde se hizo el descubrimiento original por el equipo de Cernicharo y Guélin. Por otro lado, un equipo del *Harvard-Smithsonian*



Posibles pasos en la formación de la molécula recién descubierta:

1. Una molécula de  $C_2H_2$  se une a otra de  $C_6H_2$ , produciendo una molécula de  $C_8H_2$  y un átomo de hidrógeno.
2. La radiación desgaja un átomo de hidrógeno de  $C_8H_2$ , dejando  $C_8H$  y un átomo de hidrógeno.
3. Finalmente, un electrón se une a la molécula  $C_8H$ , liberando radiación (el brillo en la ilustración) y produciendo la molécula de carga negativa  $C_8H^-$ .

Fuente: Bill Saxton, NRAO/AUI/NSF.

*Center for Astrophysics (CfA)* ha identificado la misma molécula en la nube molecular fría TMC-1 en la constelación de Taurus. Ambos descubrimientos fueron precedidos por meticulosos trabajos de laboratorio en los que se identificaron las frecuencias de radio donde había que buscar la radioemisión característica de esta molécula.

Este es un procedimiento normal en este tipo de investigación, en la que el trabajo teórico y de laboratorio indica dónde han de buscarse las transiciones de las moléculas en el espacio interestelar. La importancia de estas moléculas complejas radica en que se encuentran en las nubes moleculares en las que se forman las estrellas con sus sistemas planetarios, de manera que son los precedentes necesarios para la evolución de la vida en los planetas como la Tierra.

Un resumen completo sobre moléculas en el espacio interestelar (incluyendo las referencias a los artículos originales) se puede encontrar en la dirección [http://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_molecules\\_in\\_interstellar\\_space](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_molecules_in_interstellar_space)

**Enrique Pérez (IAA).**

## LA IMAGEN

EL CÚMULO MÁS FÉRTIL  
DE LA GALAXIA

NGC 3603, una nebulosa gigante con unas 400.000 masas solares de gas, alberga uno de los cúmulos de estrellas masivas más prominente de la Vía Láctea

La última imagen de NGC 3603 tomada por el telescopio espacial Hubble muestra un cúmulo estelar joven rodeado de una amplia región de gas y polvo. La mayoría de las estrellas de la imagen son azules calientes, y todas comparten la misma edad aunque presentan diferencias de masa.

El grupo investigador, dirigido por Jesús Maíz (Instituto de Astrofísica de Andalucía), ha hallado que las tres estrellas más brillantes centrales, cuya elevada masa parecía desafiar los límites teóricos, son en realidad grupos de dos o incluso más estrellas tan próximas que parecen una.

RAFAEL GARRIDO (IAA)

MATAIOTHES MATAIOTHTΩN...

...**τα πάντα ματαιωθησ'** (Eclesiastés 1,2) describe, según un autor desconocido, la condición humana. En la página 43 de *La investigación científica* (Ed. Ariel Methodos 1983, edición española), Mario Bunge define el objeto de la Ciencia como el conocimiento objetivo de la Naturaleza. La aparentemente contradictoria condición humana me hace recordar estas sentencias al tratar de responder a la pregunta que pocas veces solemos hacernos acerca de cómo elegimos, o nos eligen, nuestras líneas de investigación. Léase de otra forma y también nos dará una clave para explicar ciertas modas de nuestro actual muestrario *top-ten* en investigación astrofísica. Un buen ejemplo es que el descubrimiento de nuevos planetas está haciéndole sombra a las tradicionales argumentaciones basadas en las palabras mágicas "implicaciones cosmológicas", que durante tanto tiempo ayudó a obtener mejores condiciones financieras en los proyectos de investigación. La lógica respuesta debería ser tan simple como improbable bajo las condiciones actuales: todo lo que es desconocido merece ser estudiado, tanto más cuanto más sea susceptible de cambiar el paradigma concreto de estudio, y tanto mejor cuanto más ampliamente influya en otros paradigmas aceptados en la comunidad científica en general. El caso particular de los nuevos pla-

netas, tanto de nuestro sistema solar como de otros sistemas, pertenece al tipo de investigación más extendido entre la profesión: la utilización de nueva instrumentación, técnica numérica o cualquier otra novedad introducida en el mercado de la innovación tecnológica, que da lugar a resultados que son objeto de pronta publicación. Comparte, en cierto modo, la misma filosofía subyacente en los, cada vez más socorridos, *surveys*: en cierta medida se sustituye la supuesta imaginación creativa del científico por estar en el momento adecuado en el sitio justo. Aquí es donde el autor bíblico acierta con parte de la explicación de la aparente contradicción. Hasta aquí todo parece razonable, es decir, la vanidad personal actúa como un motor poderoso en nuestro trabajo; donde termina lo razonable es donde empieza a actuar el principio del Eclesiastés... hacia otros. Me explico: esa vanidad resulta ser mayor cuanto mayor es el número de personas afectadas por una decisión personal, y es parte de la explicación de cómo nos eligen los proyectos de investigación de facto, es decir subvencionando, o no, un tipo determinado de proyecto. Los argumentos de Simon White (*Fundamentalist physics: why Dark Energy is bad for Astronomy* 2007 Rep. Prog. Phys. 70 883-897) para ir en contra del fundamentalismo (entiéndase que va al fundamento de

## ENTRE BASTIDORES

las cosas, nada que ver con su acepción moral) en la Astrofísica, en contraposición a su carácter históricamente generalista, tienen en su base la indecible propiedad del iluminado, que ve así aumentar su ego mataiotético. No tiene otra explicación, si no, el hecho consumado de que las pequeñas instalaciones astronómicas son canceladas para ceder el paso a los grandes consorcios de los mega-telescopios. La acumulación de poder que supone la existencia de pocas instalaciones astronómicas y, por lo tanto, pocos comités, resulta en que unos pocos deciden qué hay que observar y hace que el mismísimo John Huchra reconozca, en *The Future of Small Telescopes in the New Millennium*, Pág. 5 Vol I, haber cometido el crimen de "...doing cosmology with small telescopes over the last three decades".

Desiderátum:

¿Cómo imaginar mecanismos de control para apaciguar ese ansia mataiotética sin olvidar la advertencia de Quevedo?: "Maña es pernicioso del veneno de los tiranos el hacer esas juntas de hombres de honor para disimular así su fiereza".

El anónimo autor bíblico termina su capítulo con "...porque donde hay mucha ciencia hay mucha molestia, y creciendo el saber, crece el dolor" (Eclesiastés 1,18).

Amén.

# Encuentro fortuito y mérito debatido

POR EMILIO J. GARCÍA (IAA-CSIC)

En el año 1967 ocurrieron dos hechos extraordinarios: los Beatles publicaron el *Sgt. Pepper's Lonely Hearts Club Band* y se detectó la primera señal extraterrestre de los hombrecillos verdes.

**LUCY IN THE SKY WITH DIAMONDS.** Pero, como la mayoría de las historias, esta debemos comenzarla unos cuantos años antes. Concretamente en la década de los cincuenta, cuando uno de los padres de la radioastronomía, Sir Anthony Hewish, desarrolla la técnica del centelleo interplanetario, que permite descubrir cuásares gracias al aparente "parpadeo" de su emisión en radio. El único problema es que no existía un radiotelescopio lo suficientemente sensible para distinguir dicho parpadeo, así que Hewish decidió construirse uno.

**WITH A LITTLE HELP OF MY FRIENDS.** En Cambridge, con una extensión de 57 pistas de tenis, 2048 antenas, más de 190.000 metros de cables y dos años de intenso trabajo, el radiotelescopio de Hewish estaba listo en julio de 1967 para comenzar su rastreo celeste en busca de cuásares. Y todo ello construido por un grupo de cinco personas al que recientemente se había añadido una de las protagonistas de nuestra historia: Jocelyn Bell.

**SHE'S LEAVING HOME.** Susan Jocelyn Bell provenía de una familia cuáquera de Belfast. Desde muy pequeña leía ávidamente todo libro de astronomía que hubiera en la librería de su padre. En 1961, escribe al astrónomo Bernard Lovell preguntándole qué debe hacer para ser radioastrónoma. Lovell le sugiere comenzar por matricularse de físicas o electrónica. En 1965, con escasos veintidós años, entra a formar parte del equipo de Hewish como estudiante de doctorado.

**A DAY IN THE LIFE.** Después de encargarse de todo el cableado del radiotelescopio, Hewish hace responsable a Bell de analizar visualmente los veintisiete metros de papel continuo que generaban diariamente la señal de las antenas. La propia Jocelyn reconoce que "al cabo de pocos meses era capaz de diferenciar entre el parpadeo de un cuásar y cualquier otra señal, incluidas las interferencias de origen humano"

**GOOD MORNING GOOD MORNING.** Una mañana de agosto de 1967, en su análisis rutinario, Bell observa un extraño pico que se repite periódicamente cada pocos segundos, como un pulso. Una señal así parece típicamente de procedencia humana, pero hay algo extraño en esta: nace y se pone sobre el horizonte, como el resto de las estrellas.

**GETTING BETTER.** Hewish se muestra reacio a



Portada del disco de los Beatles.

aceptar que la señal sea de origen cósmico y comienza un análisis más profundo. Descartan posibles fuentes como señales de radar reflejadas en la Luna o interferencias eléctricas de telescopios cercanos.

Pero lo increíble surge cuando instalan un detector más rápido y sensible y descubren que el pulso tiene un patrón espectacularmente regular. Se repite cada 11/3 segundos y dura ¡¡16 milisegundos!! Sea lo que sea, debía ser tremendamente compacto y pequeño.

**SGT. PEPPER'S LONELY HEARTS CLUB BAND.** Así pues, Hewish, Bell y compañía se encuentran con una fuente fuera del Sistema Solar, tan pequeña como un planeta y que emite con un patrón tan peculiar y exacto que parece artificial, como una baliza solitaria en el espacio. La posibilidad empieza a planear: ¿una señal extraterrestre? Medio en broma, deciden bautizar la fuente como LGM 1, de *Little Green Men* (hombrecillos verdes).

**SGT. PEPPER'S LONELY HEARTS CLUB BAND (REPRISE).** Pero la hipótesis extraterrestre no dura mucho. Pocos meses después, Bell vuelve a descubrir otra "estrella pulsante" o púlsar, esta vez de periodo 1,2 segundos. La posibilidad de que dos civilizaciones extraterrestres, separadas cientos de años luz, hubieran decidido comunicarse con la Tierra empleando la misma frecuencia es hartamente improbable, máxime cuando en los siguientes meses se detectarían hasta cinco fuentes similares repartidas por el cielo. Adiós a los hombrecillos verdes.

**LOVELY RITA.** Tras el descubrimiento, la prensa

general solo se hace eco de que una joven cuáquera irlandesa ha descubierto extraterrestres. Se produce un auténtico boom mediático. Nuestra heroína tiene que enfrentarse a un sinnúmero de fotos y preguntas tan profundas como ¿eres más alta que la princesa Margarita?, ¿cuántos novios has sido capaz de tener a la vez?

**FIXING A HOLE.** Pero entonces, ¿qué son los púlsares? Hewish apuntaba en su artículo que podría tratarse de la pulsación de una estrella de neutrones, un objeto cuya existencia ya se había postulado en la década de los treinta y que correspondería a un estado final de las estrellas tras explotar como supernovas. Hoy, con más de seiscientos púlsares conocidos, sabemos que no es la pulsación sino la rotación y su radiación extremadamente colimada la responsable de sus pulsos, semejantes a faros en el Universo.

**BEING FOR THE BENEFIT OF MR. KITE!** En 1974, Hewish y su maestro Ryle obtuvieron el Nobel por su contribución a la radioastronomía, y en especial al descubrimiento de los púlsares. ¿Debería haberlo recibido también la doctoranda Jocelyn Bell?

**WHEN I'M SIXTY FOUR.** Tras finalizar su tesis, de la que los púlsares solo ocupan un apéndice, Jocelyn Bell se fue al otro extremo, concretamente a la astronomía de rayos X y gamma. Ha recibido numerosos premios a lo largo de su carrera y actualmente es profesora de la Open University. Anthony Hewish es profesor emérito del *Churchill College en Cambridge*.

## Pilares científicos

# QUÉ SON Y DE DÓNDE PROVIENEN LOS COMETAS

LOS FUNDAMENTOS SOBRE LOS QUE SE SOSTIENE NUESTRO CONOCIMIENTO DE LOS COMETAS SON RELATIVAMENTE JÓVENES

¿Pilares? Sí, bueno, quizás los cometas sean un ejemplo estupendo de cómo funciona la "arquitectura" científica. No hay planos y, a veces, o muchas veces, un día se tiene que derribar aquello que lleva mucho tiempo construido o que se ha tardado mucho tiempo en construir. Por ello, a la hora de definir objetivamente un pilar uno debe ser cauto. Y es que algunos de los pilares en los que se ha sustentado el conocimiento sobre los cometas han sido tan sólidos y acepta-

dos como falsos. Para ello basta saber que durante mucho tiempo, casi 20 siglos, los cometas fueron considerados fenómenos atmosféricos. No fue hasta los siglos XVI y XVII que Brahe, Newton y Halley nos mostraron que en realidad son objetos celestes que orbitan alrededor del Sol. Los pilares cometarios recientes empezaron a construirse apenas hace 70 años, pero sólo hace 20 que se ha confirmado su solidez. En los años 50 se sentaron las bases sobre su origen identificándose dos posibles fuentes: la nube de Oort y el llamado cinturón de Edgeworth-Kuiper, confirmado teóricamente en los años 80 y descubierto observacionalmente en la década de los 90. Otro gran pilar también se estableció a mediados del siglo pasado. Intuido ya por Séneca y sugerido por Bessel, no fue hasta 1950 cuando se propuso firmemente que la naturaleza cometaria escondía un pequeño cuerpo sólido, con un tamaño del orden de los kilómetros, mezcla de hielos y polvo. Esta "aventurada" suposición no tuvo confirmación hasta 1986, con la visita

del Halley, cuando se obtuvo la primera imagen de un núcleo cometario. Hoy sabemos que el componente volátil mayoritario de ese núcleo es el agua (acompañado por otros más de veinte compuestos diferentes como el CO, CO<sub>2</sub>, HCN, etc.) y que el material refractario está constituido principalmente por silicatos y material orgánico. Sorprendentemente, a pesar de estar constituidos parcialmente por hielos, los cometas tienen una superficie tremendamente oscura, sólo reflejan el 4% de la luz recibida. La visita del Halley también supuso la confirmación de que los cometas se debían haber formado y mantenido a una temperatura muy baja. La detección de la molécula de azufre (previamente detectada en el cometa Iras-Araki-Alcock), molécula altamente volátil cuya preservación exige temperaturas muy bajas, así como la determinación de la razón entre los estados orto y para del agua, nos permiten saber que los núcleos cometarios, presumiblemente, se debieron formar a una temperatura inferior a los -220 C.



## Incertidumbres

# ¿MATERIAL PRÍSTINO?

DURANTE MUCHO TIEMPO SE HA PENSADO QUE LOS COMETAS ESTABAN CONSTITUIDOS POR MATERIAL PRÍSTINO DE LAS PRIMERAS ETAPAS DE LA FORMACIÓN DEL SISTEMA SOLAR.

Incluso, se ha sugerido que pueden estar formados por material interestelar sin alterar durante el proceso de formación de nuestro Sistema Solar. El hecho es que esto no se puede afirmar, hoy en día, de manera rotunda. Y digo esto porque no se sabe cuánto y cómo de evolucionados están los núcleos cometarios. Y no se sabe su grado de evolución porque no se sabe cómo se formaron, cuál es su estructura interna, cuál es su masa y cuál es su composición exacta. Con respecto a esta última, no sabemos cuánto polvo y cuánto hielo hay pre-

sente en los núcleos cometarios y, por tanto, qué material predomina. Sobre la masa y densidad parece existir un acuerdo sobre que ésta última debe ser inferior a la del hielo de agua. Sin embargo, las estimaciones de masas cometarias son muy pocas y tanto las estimaciones "directas" como las "teóricas" se basan en suposiciones y cantidades todavía no demostradas (e.g. velocidad de expansión del gas cuando sublima desde la superficie). Este desconocimiento de propiedades básicas hace que no se pueda establecer, de manera definitiva, el grado de evolución térmica de los cometas. Las distintas fracturas cometarias que se han observado parecen sugerir que estos cuerpos podrían ser, en realidad, aglomerados gravitacionales

de trozos más pequeños, lo que recibe el nombre de "pila de escombros". Esta es la descripción más aceptada sobre su estructura interna, aunque no la única. De nuevo, el problema es que no sabemos por qué se producen tales fracturas (¿"explosiones" por gas acumulado en el interior?, ¿fractura por evolución rotacional?, etc.) y por tanto, cualquier extrapolación sobre la estructura interna está, como mínimo, por demostrar. Y de ahí, si uno no puede afirmar con rotundidad la naturaleza de la estructura interna cometaria, no se puede establecer cómo se formaron. La antigua idea de que se formaron por aglomeración directa del material de la nebulosa solar está dejando paso a que son productos de colisiones violentas en la región transneptuniana (aunque la existencia de esas colisiones violentas también estaría aún por demostrar).

## Cúmulos masivos jóvenes. Condiciones iniciales y entorno



Durante los días 11 a 14 de septiembre, se ha celebrado en el IAA un congreso internacional sobre la formación y evolución temprana de los cúmulos masivos de estrellas, tanto en el contexto de nuestra galaxia como en galaxias del cúmulo local. El congreso se diseñó con un formato que ha permitido, por un lado, la exposición clásica de científicos invitados impartiendo conferencias de revisión, o contribuciones más específicas, tanto habladas como en formato póster; y, por

otro lado, la celebración de dos largas sesiones de debate diarias, donde los moderadores han planteado los temas más polémicos que se han debatido abiertamente por los asistentes. Este formato impulsa una mayor y más viva interacción científica entre los participantes, lo que permite un mejor aprovechamiento, más allá de la mera exposición de los trabajos de investigación. El congreso ha contado con una nutrida asistencia de jóvenes astrónomos, dentro del grupo de 65 científicos de trece

países diferentes. Como novedad, es la segunda ocasión en que un congreso científico que se celebra en el IAA se retransmite en tiempo real por Internet, con 249 visitas de 17 países.

Se debatieron una serie de temas que permanecen en la base de nuestro (des)conocimiento sobre la formación y la temprana evolución de los cúmulos masivos de estrellas. Entre ellos cabe destacar el origen y la forma de la función inicial de masas; mucho se debatió en particular sobre la universalidad de la ley de potencias o de la distribución lognormal. Otro de los muchos debates se centró en cómo se distribuyen las estrellas, no sólo en masa sino también posicionalmente dentro del cúmulo, y cómo esta distribución evoluciona con el tiempo, según las características del cúmulo y de su entorno galáctico. Las otras dos grandes áreas de debate se centraron en la caracterización de las poblaciones estelares de estos cúmulos masivos, y cómo ocurre la retroacción de estos con su entorno, desde los puntos de vista radiativo, químico y mecánico. La participación de astrónomos del IAA fue destacada en diversas áreas, incluyendo los recientes resultados sobre cuál es la estrella más masiva que podemos medir en estos cúmulos (ver página 9 del número 22 de IAA, junio 2007).

Charlas disponibles en:  
<http://www.iaa.csic.es/~eperez/cluster/cluster07.html>

Enrique Pérez (IAA).

### AVANCE DEL PROGRAMA

## SEMANA DE LA CIENCIA 2007

INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE ANDALUCÍA (IAA-CSIC)

### noches de ciencia

#### MARTES, 13 DE NOVIEMBRE: "ORIGEN"

"El Origen de la Vida" - Juan Manuel García Ruiz (LEC-CSIC)

"El Origen del Universo" - Rafael Rebolo (IAC)

#### MIÉRCOLES, 14 DE NOVIEMBRE: "MIRADA Y MEDIDA"

"La experimentación" - Esther Lázaro (CAB-INTA)

"La Exploración" - Mario García Paris (MNCN)

"La Observación" - Rafael Garrido (IAA-CSIC)

JUEVES, 15 DE NOVIEMBRE: Noche de Observación Astronómica

VIERNES, 16 DE NOVIEMBRE: "NATURALEZA Y

#### PERCEPCIÓN"

"La materia oscura" - Narciso Benítez (IAA-CSIC)

"Las bacterias" - Juan Luis Ramos (EEZ-CSIC)

"Neurocultura" - Francisco Mora (UCM, Univ. Iowa)

#### LUNES, 19 DE NOVIEMBRE: "FUTURO"

"El futuro del Sol" - Martín Guerrero (IAA-CSIC)

"Envejecimiento celular" - José Antonio López (UAM)

"Investigación cerebral" - José López Barneo (US)

Lugar: Hotel Palacio de Santa Paula, 19h

Gran Vía de Colón, 31 GRANADA

Más info: [www.iaa.es](http://www.iaa.es)

# AGENDA

## CONFERENCIAS DE DIVULGACIÓN EN EL IAA

<http://www.iaa.es/conferencias/>

FECHA	CONFERENCIANTE	TEMA O TÍTULO TENTATIVO
25 de octubre	Julio F. Rodríguez (IAA-CSIC)	<i>Instrumentación espacial en el IAA.</i>
29 de noviembre	José Adolfo Azcárraga (U.Valencia)	<i>Darwin y la evolución: ¿por qué es tan importante hoy?</i>
20 de diciembre	José J. López Moreno (IAA-CSIC)	<i>Una primera visita a Titán.</i>

## REUNIONES Y CONGRESOS

<http://www.iaa.es/congresos/>

*SPECTROSCOPY IN COSMOLOGY AND GALAXY EVOLUTION 2005-2015*  
GRANADA, DEL 3 AL 5 DE OCTUBRE, 2007

*IVTH MIPAS IMK/IAA DATA USER MEETING*  
GRANADA, IAA, DEL 15 AL 16 DE NOVIEMBRE, 2007

## LIBROS DE DIVULGACIÓN

*Cosmología Física. Jordi Cepa. Editorial Akal, 2007.*

**COMENTARIO DE MARIANO MOLES (IAA-CSIC).** El autor pretendía hacer, en español, un manual de referencia autosuficiente. Empezando por la conclusión diremos que ha cumplido sus objetivos. A quienes conocemos al autor no nos pueden sorprender los rasgos que lo caracterizan: rigor, sistematicidad, carácter exhaustivo de sus exposiciones, estilo directo y claridad. Su estructura revela que el autor ha hecho una profunda reflexión sobre la Cosmología actual y una clara elección sobre cómo estructurar el conocimiento que esa vieja ciencia ha acumulado en su historia reciente, y cómo exponerlo. Recorre un gran arco que comienza con la exposición de los datos que se consideran de relevancia para la Cosmología, que desgana los aspectos y propiedades del Universo en sus diferentes etapas y que, al final, regresa al Universo contemporáneo del que describe sus aspectos esenciales y la física que lo rige.

El autor aborda aspectos raramente tratados en los manuales, como qué es la Cosmología y cómo se define su contenido o el empeño en transmitir al lector que la expansión del Universo nada tiene que ver con el efecto Doppler o con cualquier otra



característica cinemática. El interés por encajar los datos de observación y los desarrollos teóricos están siempre presentes a lo largo del libro. Como sabemos, la independencia entre los datos y las teorías es mucho menor de lo que el discurso habitual pretende. El libro abre la ventana para quien quiera profundizar en esas cuestio-

nes siempre delicadas en ciencia.

Tras la presentación de la Relatividad General como marco para la Cosmología, el libro presenta los modelos cosmológicos dando sus aspectos físicos y las indicaciones taxonómicas pertinentes. Se puede sentir el papel de cada parámetro y de cada componente del modelo de manera directa. Como muestra de la voluntad de autosuficiencia del libro, baste señalar la presentación elaborada de las interacciones entre partículas elementales o la discusión sobre la idea de la inflación y sus diferentes realizaciones. Los resúmenes al final de cada capítulo, en los que se dan las características básicas de cada modelo y etapa evolutiva, reafirman el carácter referencial del libro. Finalmente, tiene la virtud de insistir en el carácter no definitivo ni cerrado de la Cosmología, previniendo a los lectores de cualquier tendencia a considerar el caso cerrado. Los astrofísicos de habla hispana y, particularmente, los que se interesan por la Cosmología, disponen con el libro de Jordi Cepa de una herramienta valiosa y de gran utilidad para profundizar en la ciencia que, finalmente, pretende ocuparse del Universo observable, como nos indica el autor desde las primeras páginas.

## CHARLAS DIVULGATIVAS PARA COLEGIOS EN EL IAA

El IAA organiza mensualmente charlas de divulgación astronómica para estudiantes, a petición de los colegios interesados. Pueden obtener más información en la página Web del instituto o contactando con Cristina Torrededía (Tel.: 958 12 13 11; e-mail: ctr@iaa.es).