

I NFORMACIÓN Y A CTUALIDAD A STRONÓMICA

<http://www-revista.iaa.es/>

OCTUBRE DE 2013, NÚMERO 41

El ALMA de lo invisible

La capa de ozono y el “mundo evitado”

Cúmulos estelares

Plasmas

INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE ANDALUCÍA
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

<http://www.iaa.es>

Directora: Silbia López de Lacalle. Comité de redacción: Antxon Alberdi, Carlos Barceló, René Duffard, Emilio J. García, Pedro J. Gutiérrez, Susana Martín-Ruiz, Enrique Pérez-Montero, Pablo Santos y Montserrat Villar. Edición, diseño y maquetación: Silbia López de Lacalle.

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.

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

SUMARIO

REPORTAJES

El ALMA de lo invisible ...3

El Mundo Evitado por el Protocolo de Montreal ...7

Otra visión del Camino de Santiago ...10

DECONSTRUCCIÓN Y otros ENSAYOS. Plasmas ...12

EL "MOBY DICK" DE... Jesús Maíz Apellániz (IAA-CSIC)... 14

CIENCIA EN HISTORIAS... Antonia Ferrín Moreiras... 15

ACTUALIDAD ...16

ENTRE BASTIDORES ...20

SALA LIMPIA ...21

CIENCIA: PILARES E INCERTIDUMBRES. La atmósfera terrestre ...22



EL CORAZÓN DE NUESTRA GALAXIA. Dos grupos de astrónomos han empleado datos de los telescopios del Observatorio Europeo Austral para generar el mejor mapa en tres dimensiones de las regiones centrales de la Vía Láctea realizado hasta la fecha. Fuente: ESO.

El ALMA de lo invisible

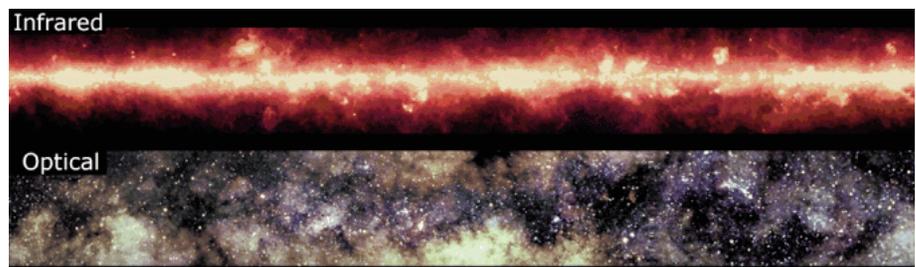


EL OBSERVATORIO ALMA HA BATIDO RÉCORDS TECNOLÓGICOS EN TODOS LOS FRENTES, Y SUS PRIMEROS RESULTADOS AUGURAN UN BRILLANTE FUTURO

Por Montserrat Villar, CAB (INTA-CSIC), y Xavier Barcons, IFCA (CSIC-UC) y Presidente del Consejo de ESO

VEMOS EL MUNDO QUE NOS RODEA PORQUE NUESTROS OJOS SON SENSIBLES A LA LUZ VISIBLE, también denominada radiación óptica. Sin embargo, lo percibimos de una forma muy incompleta, pues dicha radiación representa tan solo una fracción minúscula del espectro electromagnético de la luz. Este se extiende desde los rayos gamma hasta las ondas de radio, abarcando longitudes de onda imperceptibles en su mayoría para el ojo humano. Para detectar esas otras formas de luz o radiación necesitamos cámaras e instrumentos especiales.

En astronomía sucede lo mismo. Cuando observamos el universo con instrumentos sensibles a distintos tipos de luz se nos revelan fenómenos físicos e incluso objetos astronómicos distintos. Para obtener una imagen global y con ello construir un modelo coherente del cosmos necesitamos no solo estudiar astros de muy diversa naturaleza sino además hacerlo cubriendo la radiación en todas las longitudes de onda.



Así, algunos de los fenómenos más fascinantes y misteriosos del universo, como el nacimiento de las estrellas y los planetas o la formación de las galaxias, suceden en entornos casi invisibles para los telescopios ópticos. El gas frío presente en las galaxias, en forma de moléculas o de agregados moleculares llamados genéricamente “polvo”, es el ingrediente esencial para que se terminen formando estrellas y planetas. Pero el gas y el polvo impiden que la luz visible pueda escapar de esas zonas. Podemos apreciarlo en la imagen superior, donde se muestra nuestra galaxia, la Vía Láctea, en el infrarrojo y en luz óptica: una parece el negativo de la otra. Las zonas oscuras aparentes en la imagen óptica albergan hervideros de formación de estrellas y planetas, que no podemos ver porque se hallan escondidos en el interior de enormes y frías nubes de polvo y gas. Por el contrario, estas mismas regiones tienen un brillo muy intenso en la imagen infrarroja, debido a que el propio polvo, aunque absorbe la luz visible de las estrellas jóvenes, la reemite con gran intensidad en el infrarrojo. Las moléculas del gas también emiten radiación en longitudes de onda incluso más largas, llamadas milimétricas y submilimétricas. Por tanto, para investigar cómo nacen las estrellas, los planetas y las galaxias, es imprescindible detectar y estudiar el material frío (gas molecular y polvo) a partir del que se forman. Se encuentra a temperaturas muy

Arriba, círculos de estrellas sobre las antenas de ALMA (ESO/B. Tafreshi). Debajo, imagen de nuestra galaxia, la Vía Láctea, en infrarrojo (arriba) y en luz visible (abajo).

bajas (tan solo a unas pocas decenas de grados por encima del cero absoluto) y por ello utilizamos el término “universo frío”. Este material emite copiosamente en longitudes de onda infrarrojas, milimétricas y submilimétricas. Utilizando telescopios e instrumentos sensibles a esta radiación se abren nuestros ojos al universo frío. En este artículo nos centraremos en las longitudes de onda milimétricas y submilimétricas, que por brevedad llamaremos sub/mm. Esta luz tiene longitudes de onda de entre unos 0,3 milímetros hasta un centímetro, ocupando la zona del espectro que existe entre el infrarrojo por debajo y las ondas de radio por encima.

Los ojos de lo invisible

La astronomía sub/mm aborda temas relacionados con una gran variedad de áreas de la astrofísica siendo, como hemos visto, esencial para la investigación del nacimiento de las estrellas, los planetas y las galaxias. Aunque hasta recientemente hemos contado con variedad de instalaciones optimizadas para la astronomía sub/mm, nada iguala las capacidades de ALMA, el observatorio astronómico más potente del mundo, cuya construcción ha implicado una auténtica revolución tecnológica. Se trata, también,



lzda: observaciones de ALMA del disco que rodea la estrella HD 142527, que presenta enormes chorros de gas (en las posiciones de un reloj a las tres y a las diez en punto). El polvo de la parte exterior del disco se muestra en rojo y el gas denso de los chorros que fluye a través del hueco y en la parte exterior del disco se aprecia en verde. Dcha: impresión artística del disco y los chorros de gas. (ALMA-ESO/NAOJ/NRAO-, S. Casassus et al).

del mayor proyecto astronómico en tierra desarrollado hasta el momento, y de la primera instalación científica de esta envergadura verdaderamente global, en la que participan varios continentes.

ALMA (*Atacama Large Millimeter/submillimeter Array*) fue inaugurado oficialmente el 13 de marzo de 2013. Una vez finalizado, sus sesenta y seis antenas de alta precisión (la superficie de cada una de ellas tiene una rugosidad menor que catorce micras) situadas en el Llano de Chajnantor (Chile) a cinco mil cien metros de altitud, operarán en toda la banda espectral desde los 0,3 a los 9,6 milímetros. Las condiciones de extrema sequedad atmosférica existentes en Chajnantor lo convierten en un lugar privilegiado para la astronomía sub/mm.

De las sesenta y seis antenas (ya terminadas), cincuenta y cuatro tienen doce metros de diámetro y las otras doce, siete metros. Aunque la finalización de la construcción (salvo la residencia, que se espera terminar en 2015) está prevista durante el 2013, la operación científica comenzó ya en septiembre de 2011 con una versión reducida de ALMA (dieciséis antenas). Ese ALMA incipiente superó ya con creces a cualquiera de sus predecesores en la observación sub/mm, como el interferómetro de Plateau de Bure (IRAM) o el *Submillimeter Array* (SMA).

La señal recibida por todas las antenas se combina en tiempo real mediante una técnica llamada interferometría. Para ello, las antenas se pueden disponer sobre un total de ciento noventa y dos bases en el Llano de Chajnantor, separadas entre sí hasta dieciséis kilómetros (en la actualidad están funcionando solamente unas configuraciones más compactas, con separaciones de hasta un

kilómetro). Cada antena, que pesa más de cien toneladas, se puede transportar gracias a dos gigantescos transportadores diseñados a tal efecto. De esta manera funcionan como un único telescopio de tamaño variable, de hasta unos seis mil quinientos metros cuadrados de superficie colectora, similar al área de un campo de fútbol, pero dispuestas sobre una superficie infinitamente mayor.

Hacer que ALMA funcione como un telescopio de ondas sub/mm es todo menos trivial. Para ello hace falta que las señales que envían las antenas de su observación del cielo estén perfectamente sincronizadas, con una precisión de una millonésima de millonésima de segundo. Además, el camino recorrido por esta señal desde su llegada a cada antena hasta que se combina en el ordenador central (llamado correlador) debe conocerse con una exactitud similar al grosor de un cabello humano. El correlador es el gran cerebro de ALMA, y con sus más de quince petaflops es el ordenador más rápido jamás instalado en un observatorio astronómico. Se necesitarían tres millones de ordenadores portátiles para hacer las mismas operaciones.

ALMA bate récords tecnológicos en todos los frentes, convirtiendo la ficción en realidad. Su sensibilidad es tan alta que permite detectar radiaciones sub/mm extremadamente débiles. ALMA es capaz de detectar en unos minutos objetos astronómicos que necesitan decenas de horas de exposición para ser observados con otras instalaciones. Gracias a ello descubre de forma rutinaria galaxias hasta ahora invisibles por la debilidad de la radiación que emiten.

Podemos además obtener imágenes de altísima resolución espacial o nitidez. Eso signifi-

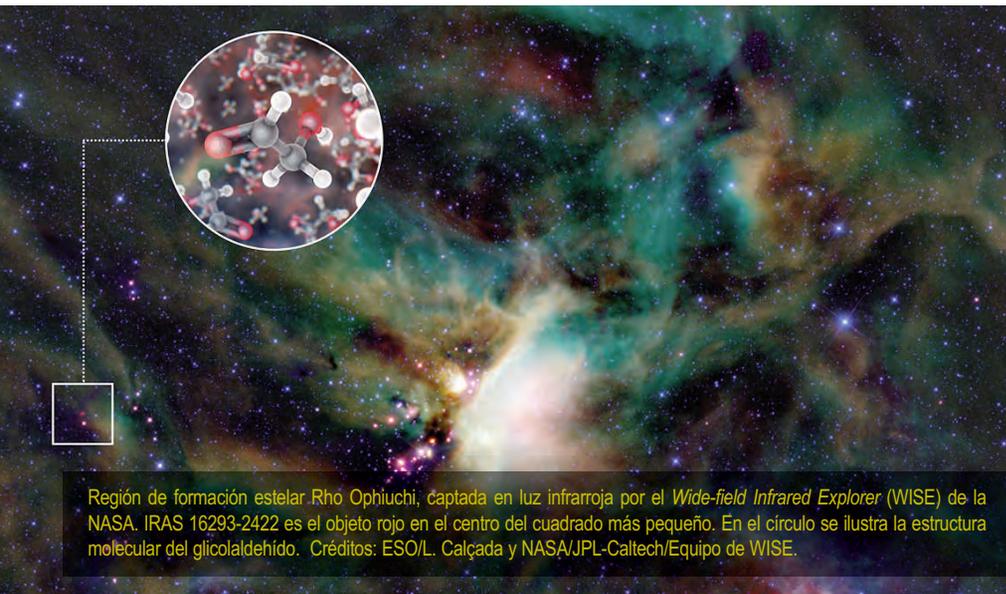
ca que ALMA es capaz de separar las imágenes de parejas de fuentes extremadamente juntas en el cielo y que la tecnología anterior confundía en una sola. En longitudes de onda sub/mm esta capacidad de ALMA no tiene precedentes. Podrá alcanzar una resolución espacial diez veces superior a la del telescopio espacial Hubble.

Así, resolución espacial y sensibilidad combinadas están permitiendo hacer un censo mucho más fiable del número de galaxias existentes, incluyendo galaxias muy débiles que habían permanecido invisibles hasta ahora en longitudes de onda más cortas.

La cooperación internacional global y el gran paso tecnológico que ha comportado el proyecto han propiciado que ALMA se halle dos pasos por delante de sus predecesores en numerosos aspectos. Muchas de las primeras observaciones realizadas con ALMA han representado verdaderos descubrimientos, algunos hasta ahora insospechados.

Embriones de planetas

Hace menos de veinte años que se descubrió el primer planeta extrasolar (también llamado exoplaneta) orbitando alrededor de otra estrella. Desde entonces se ha confirmado la existencia de al menos setecientos más. Su estudio tiene interés tanto para comprender cómo se forman los sistemas planetarios, incluido el Sistema Solar, como para investigar la posibilidad fascinante de que algunos de ellos alberguen alguna clase de vida. Detectar planetas en formación y estudiar las diferentes fases de su evolución es extremadamente difícil. Dado que el material a partir del que se gestan emite una fracción importante de la radiación en ondas sub/mm, ALMA permite su estudio con gran detalle,



Región de formación estelar Rho Ophiuchi, captada en luz infrarroja por el *Wide-field Infrared Explorer* (WISE) de la NASA. IRAS 16293-2422 es el objeto rojo en el centro del cuadrado más pequeño. En el círculo se ilustra la estructura molecular del glicolaldehído. Créditos: ESO/L. Calçada y NASA/JPL-Caltech/Equipo de WISE.



Esta imagen del objeto Herbig-Haro HH46/47 combina las observaciones de ALMA con la imagen en luz visible captada por el *New Technology Telescope*. Las observaciones de ALMA (naranja y verde, abajo a la derecha) de la estrella recién nacida revelan un gran chorro de gas molecular que hasta ahora había pasado desapercibido, oculto en luz visible por el gas y el polvo de la gran nube donde ha nacido la estrella. A la izquierda (color morado) destacó la parte visible del chorro. Fuente: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)/ESO/H. Arce.

gracias a su resolución espacial y sensibilidad altísimas. Ayuda además el hecho de que la estrella emite luz muy débil en este rango del espectro, de modo que su brillo no “deslumbra” comparado con la emisión del material protoplanetario, como ocurriría en luz visible.

ALMA ha estudiado recientemente la joven estrella HD 142527, situada a cuatrocientos cincuenta años luz de la Tierra. La rodea un disco de gas molecular y polvo, compuesto por los deshechos de la nube a partir de la cual se originó la estrella (imagen pág. contigua). En discos similares aparecen los embriones protoplanetarios. Según la teoría, estos crecen a medida que avanzan y limpian el material que encuentran en el disco, provocando además corrientes de gas que fluyen a través del mismo. Succionando material, los protoplanetas crecen hasta convertirse en planetas gigantes. Los nuevos datos obtenidos con ALMA han mostrado por primera vez evidencia directa de estas corrientes en el disco que rodea a la estrella HD142527.

Los ladrillos de la vida

Las observaciones astronómicas del medio interestelar y de los cuerpos del Sistema Solar, así como los análisis de laboratorio de muestras de meteoritos, han demostrado la existencia de moléculas orgánicas en ambientes muy diferentes del cosmos, desde las nubes interestelares hasta los cometas. Dichas moléculas son los ladrillos fundamentales para el desarrollo de la vida. Puesto que están por todas partes, esto implica que no fue necesaria una química privilegiada en la Tierra primitiva para impulsar las reacciones en las que se sintetizaron esas unidades básicas precursoras de la vida.

El glicolaldehído es una de tales moléculas orgánicas. Se trata de una forma simple de azúcar que, aunque venenoso, no es muy diferente del que ponemos en nuestro café. Es un ingrediente esencial para la formación del ARN que, al igual que el ADN, es uno de los componentes fundamentales de la vida. ALMA ha detectado esta molécula en el gas que rodea una estrella de masa similar

a la de nuestro Sol, a una distancia similar a la que separa Urano del Sol. La estrella, llamada IRAS 16293-2422, se halla a unos cuatrocientos años luz (izda.).

Aunque el glicolaldehído ya se había encontrado en el espacio interestelar, el descubrimiento de ALMA nos lleva un paso más allá: demuestra que al menos algunos componentes básicos de la vida existían ya en el momento y el lugar adecuados para incorporarse en los planetas durante su formación. Paso a paso la ciencia expande cada vez más nuestra visión hacia la posibilidad de que la aparición de la vida en el universo haya sido la regla, más que la excepción.

Ha nacido una estrella

Las estrellas recién nacidas son objetos muy violentos. Pueden expulsar chorros de material con velocidades de más de un millón de kilómetros por hora. A medida que estos avanzan, chocan, se desparraman y rebotan contra el gas de la nube molecular en la que se ha gestado la estrella. Se forman así nebulosas cuyas imágenes nos asombran por su belleza. El aspecto nos recuerda a las figuras que forma el humo de un cigarrillo. Son los llamados objetos Herbig Haro.

Recientemente se han publicado los resultados del estudio del objeto Herbig Haro 46/47 basado en datos obtenidos con ALMA. En investigaciones anteriores en luz visible parte de la nebulosa había permanecido oculta, al estar oscurecida por grandes cantidades de gas y polvo. ALMA, que ha detectado la radiación emitida por las moléculas de monóxido de carbono en el rango sub/mm, ha revelado nuevos chorros de gas que además avanzan a una velocidad mayor de lo que se pensaba y, por tanto, transportan más energía.

La gran sensibilidad de ALMA ha permitido estudiar este objeto con un detalle sin precedentes. Las observaciones, que duraron cinco horas, se realizaron cuando el radiotelescopio disponía de tan solo entre dieciséis y dieciocho antenas. Aún así, para obtener datos de calidad similar con otros telescopios se hubiera necesitado diez veces más tiempo.

El misterio de las galaxias desaparecidas

¿Por qué no hay casi galaxias gigantes? Según las predicciones de los modelos de formación y evolución de galaxias, deberían ser mucho más numerosas de lo que observamos. ¿Existe algún mecanismo que impida crecer a las galaxias por encima de un cierto límite y que no hemos tenido en cuenta en los modelos? Los “supervientos” podrían ser la respuesta (ver revista IAA número 39).

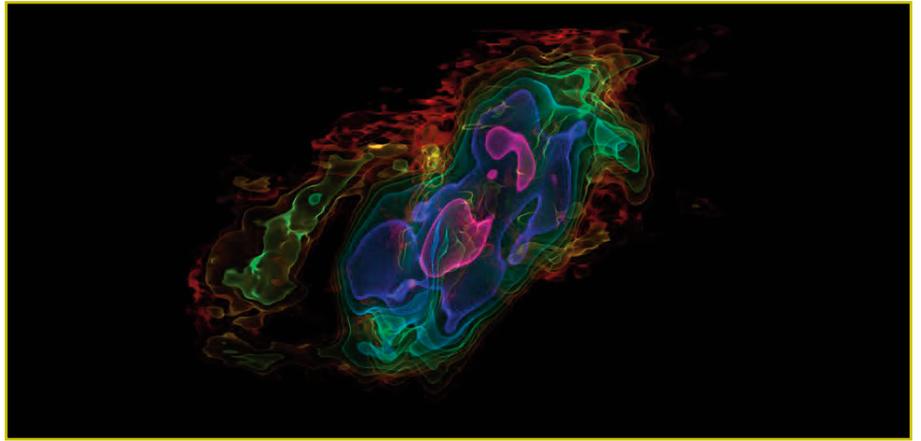
Si una estrella recién nacida es capaz de



expulsar grandes chorros de material, muchas estrellas juntas multiplicarán el impacto, dando lugar a los llamados “supervientos galácticos”. Se trata de fenómenos devastadores capaces de expulsar de la galaxia enormes cantidades de energía y materia. En su avance, los supervientos chocan con el medio interestelar por el que se propagan, arrastrándolo, acelerándolo y calentándolo. Resultados recientes de ALMA sugieren que estos mecanismos extremos son capaces de barrer y arrojar fuera de las galaxias reservas enormes de gas molecular, lo que hace que dejen de formarse estrellas debido a la falta de materia prima. Las imágenes muestran chorros gigantescos de gas que están siendo expulsados de la galaxia del Escultor desde regiones con una intensa actividad de formación estelar. Puesto que este es el combustible a partir del que se forman las estrellas, el que era un ambiente propenso para la aparición de nuevas generaciones estelares se convierte así en un escenario totalmente yermo (imagen superior).

Ciencia sin fronteras

ALMA está a la vanguardia del conoci-



Visualización tridimensional del gas molecular en la galaxia del Escultor, situada a 115 millones de años luz del Sistema Solar. El eje vertical muestra la velocidad y el eje horizontal la posición a lo largo del centro de la galaxia. Los colores representan la emisión detectada por ALMA. Los datos indican que grandes cantidades de gas están siendo expulsadas de la galaxia, convirtiéndola así en un lugar hostil para la formación de nuevas generaciones de estrellas. Fuente: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO) / Erik Rosolowsky.

miento científico y tecnológico. La mecánica de precisión que se empleó para construir sus antenas, la obra civil a cinco mil metros o la tecnología de sus receptores están verdaderamente en la frontera de lo que la humanidad es capaz de desarrollar. Paralelamente, el grado de conocimiento que ALMA permite alcanzar es sencillamente fascinante.

Proyectos como ALMA demuestran que la

ciencia no sabe de fronteras. Hacen posible que miles de personas compartamos el lenguaje universal de la ciencia para sumergirnos en los misterios más profundos del universo, en los confines de lo desconocido. Profesionales y aficionados a la astronomía miramos al Llano de Chajnantor con la emoción que inspiran los retos extraordinarios y con los ojos abiertos a descubrimientos sorprendentes.

España y ALMA

ALMA(ESO/NAOJ/NRAO), J. Guarda.

ALMA es el resultado de un esfuerzo global. El consorcio responsable de su construcción está integrado por países de Europa, de Norteamérica y del Este de Asia, en colaboración con Chile, que alberga las instalaciones. El observatorio fue concebido como tres proyectos independientes en Europa, Estados Unidos y Japón en la década de 1980. En los 90 se fusionaron en uno. La construcción comenzó en 2003. La participación europea se realiza a través de ESO (Observatorio Europeo Austral). Se trata de la principal organización astronómica intergubernamental para instalaciones terrestres y la integran quince países, entre ellos España. Del coste total de la construcción de ALMA, estimado en unos mil doscientos millones de euros, ESO aporta el 37.5%.

La construcción de una infraestructura tan avanzada como ALMA en la veintena de estados que participan en el proyecto ha supuesto un reto enor-

me, afortunadamente superado en su práctica totalidad. Para España en concreto, ha sido una auténtica historia de éxito. Aunque miembro de pleno derecho de ESO tan solo desde el año 2007, nuestro país se implicó en ALMA ya a finales de los años 90, durante la misma génesis del proyecto. Desde el inicio se buscaron e identificaron cuidadosamente posibles oportunidades para nuestra industria y los centros de I+D. Los contratos para la construcción de ALMA que se han ejecutado en España ascienden a más de 20 millones de euros.

Entre los elementos más visibles destacan las estructuras de acero de las veinticinco antenas europeas, así como sus anclajes en las ciento noventa y dos bases en las que se pueden colocar las sesenta y seis antenas de ALMA en el Llano de Chajnantor. La ingeniería de la estación de aprovisionamiento de energía de más de ocho megavatios que energiza todo el observatorio también

fue contratada a una empresa española. Entre las aportaciones de muy alta tecnología destacan la provisión de amplificadores de bajo ruido para los *front-ends* de distintas bandas, software de calibración, elementos del oscilador local o unidades de calibración en el laboratorio de integración europeo. A fecha de hoy todos los sistemas entregados por la industria española a ALMA funcionan correctamente dentro de sus especificaciones, lo que supone una excelente carta de presentación para proyectos futuros.

Desde mucho antes de que ALMA comenzara la operación científica en 2011, en los centros de investigación españoles existía una intensa actividad de planificación científica para estar totalmente preparados cuando se diera el pistoletazo de salida para la explotación científica del observatorio. En la primera llamada de proyectos de observación con ALMA, astrónomos de todo el mundo envia-

ron un total de casi mil propuestas, entre las que fueron seleccionadas ciento doce. Este nivel de demanda, casi diez veces superior al tiempo de observación disponible, demuestra el entusiasmo de los investigadores, incluso en la etapa inicial del observatorio. Investigadores de países miembros de ESO estuvieron al frente de treinta y cinco de los proyectos aprobados, y entre ellos cinco liderados por astrónomos de centros españoles. En la segunda llamada de proyectos en 2012 el nivel de presión fue de nuevo muy elevado. De las mil ciento treinta y una propuestas enviadas, ciento noventa y tres tuvieron éxito, con cincuenta y tres de ellas lideradas por investigadores miembros de ESO. En esta ocasión tres proyectos de observación estuvieron liderados por centros españoles.

A finales del 2013 se anunciará una nueva convocatoria, para la que los astrónomos estamos preparándonos de nuevo.

El Mundo Evitado por el Protocolo de Montreal

EL PROTOCOLO EVITÓ EL COLAPSO A ESCALA GLOBAL DE LA CAPA DE OZONO, UNOS ÍNDICES DE RADIACIÓN ULTRAVIOLETA EXTREMOS Y LA ACELERACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Por Rolando García
(National Center for Atmospheric Research, EEUU)

A PARTIR DEL 1987 EL PROTOCOLO DE MONTREAL HA RESTRINGIDO LAS EMISIONES DE COMPUESTOS HALÓGENOS CAPACES DE DESTRUIR EL OZONO (ODS, del inglés *ozone destroying substances*). Los ODS incluyen compuestos que contienen cloro o bromo, como el CFC-12 (CCl_2F_2 , un refrigerante), el Halon-1211 ($CBrClF_2$, que se utiliza como extintor) y el bromuro de metilo (CH_3Br , un pesticida). El Protocolo de Montreal se adoptó a raíz del descubrimiento del agujero de ozono en la Antártida en 1985 y de los estudios que demostraron cómo los ODS son capaces de destruir el ozono en la estratosfera. Hoy en día sabemos que la concentración en la estratosfera de compuestos de cloro y bromo procedentes de los ODS ha comenzado a disminuir y que la capa de ozono sobre la Antártida da los primeros indicios de recuperación.

Sin embargo, un estudio realizado en 2009 por P. Newman y colaboradores del *Goddard Space Center* de la NASA analizaba qué hubiese ocurrido si no se hubiera adoptado el Protocolo de Montreal. Asumiendo una tasa de crecimiento de los ODS de un 3% por año, semejante a lo que ocurría justo antes de ser adoptado el Protocolo, calcularon que se produciría un colapso global de la capa de ozono a mediados del siglo XXI. Pero eso no es todo: los

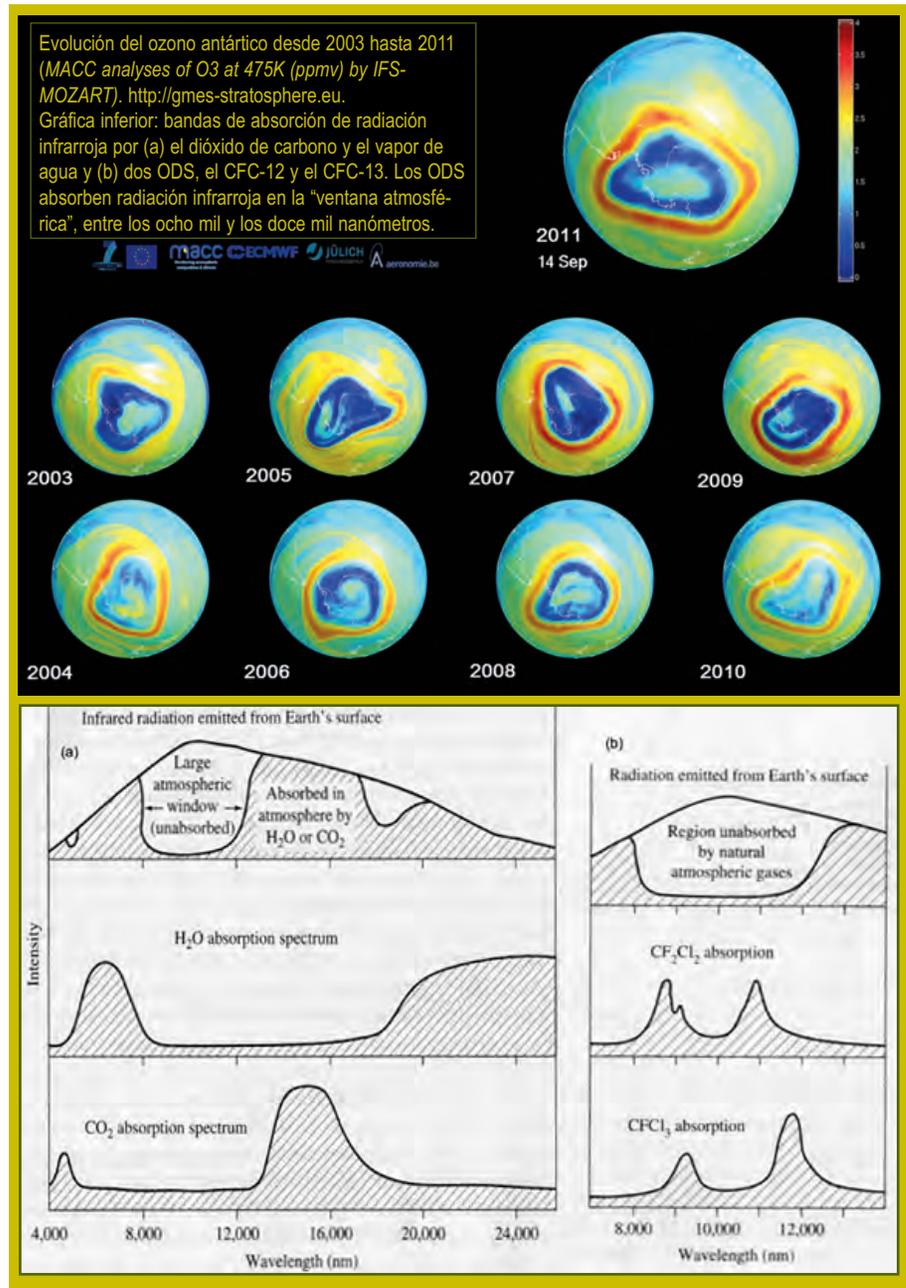
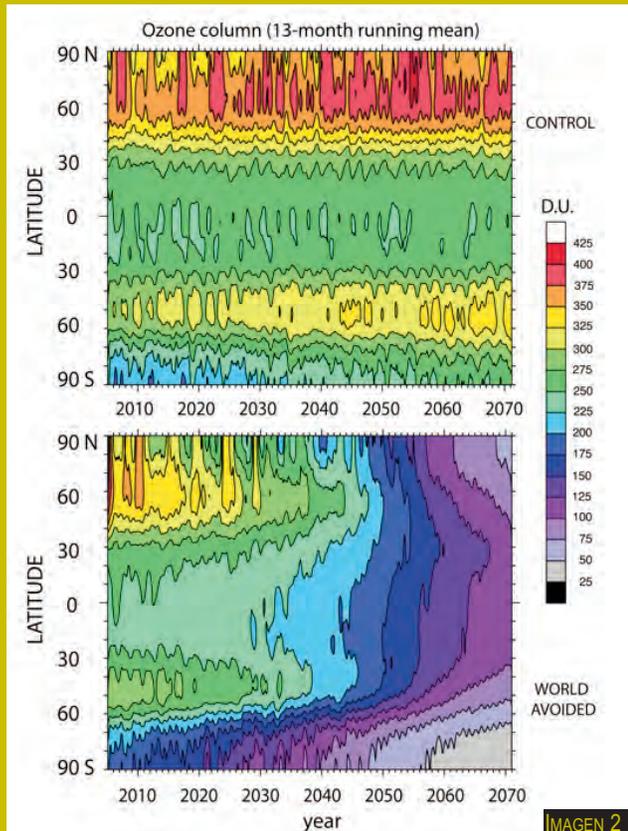


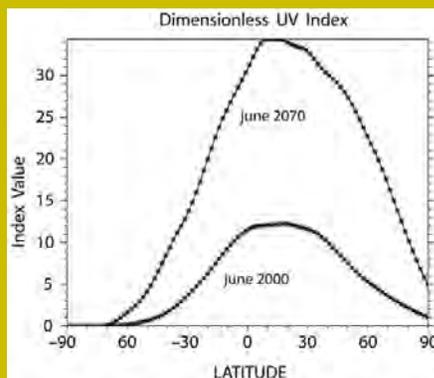
IMAGEN 1

ODS, además de ser capaces de destruir el ozono, son también potentes gases invernadero, es decir, son compuestos que absorben la radiación infrarroja (IR) y por lo tanto pueden producir cambios climáticos. La imagen 1 muestra por qué son importantes los ODS, a pesar de que su concentración atmosférica es pequeña comparada con la del

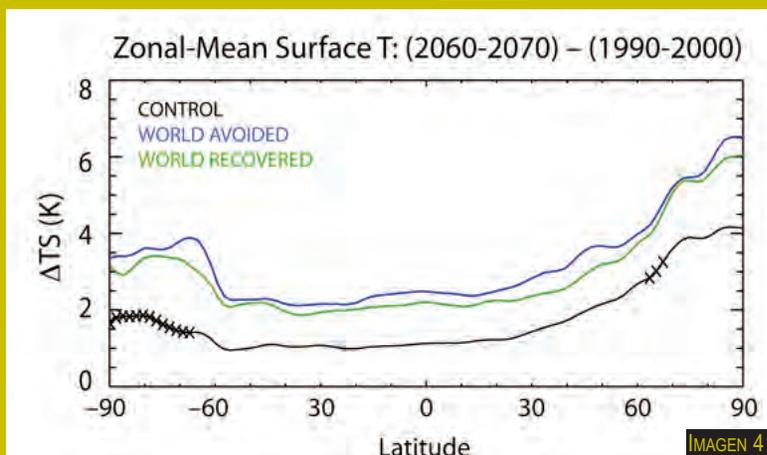
dióxido de carbono (CO_2) y el vapor de agua, los principales gases invernadero. La tasa radiativa de la atmósfera depende del balance entre la radiación solar, que añade energía a la atmósfera, y la radiación infrarroja, que emite energía al espacio. De acuerdo con la imagen 1(a), el vapor de agua y el CO_2 absorben radiación IR, impidiendo



Evolución de la columna total de ozono (DU) en el escenario Control (arriba) y en el Mundo Evitado (abajo). Las series temporales han sido suavizadas con un promedio móvil de doce meses para suprimir el ciclo estacional y resaltar los cambios a largo plazo.



Promedio zonal del índice ultravioleta en función de la latitud en el mes de junio de los años 2000 y 2070, al mediodía y bajo condiciones soleadas. Valores por encima de once se consideran "extremos".



Incremento de la temperatura de superficie en función de la latitud entre las décadas de 1990-2000 y 2060-2070. La línea negra muestra los resultados del escenario Control, la azul es el escenario del Mundo Evitado y la verde representa el escenario de Recuperación. Las cruces indican las latitudes donde el cambio no es significativo al 95% de acuerdo con una prueba de Student's t.

su emisión al espacio, en las bandas de longitud de onda por debajo de los ocho mil y por encima de los doce mil nanómetros. Este rango se conoce como la "ventana atmosférica", en la que ocurre la mayoría de la emisión IR al espacio. La importancia de los ODS se debe a que absorben radiación infrarroja justamente en dicha ventana, tal como muestra la imagen 1(b).

No obstante la importancia de los ODS como gases invernadero, la investigación llevada a cabo por Newman y colaboradores no pudo abordar este tema porque el modelo de la atmósfera que utilizaron no permitía calcular explícitamente el clima terrestre. Para calcular no solo los efectos químicos sino también el cambio climático producido los ODS se necesita un modelo acoplado atmósfera-océano. En la investigación que se describe a continuación se ha utilizado el *Whole Atmosphere Community Climate Model* (WACCM), un modelo numérico desarrollado en el *National Center for Atmospheric Research* (EE.UU.) que reúne todas las condiciones necesarias para calcular los cambios químicos y climáticos a escala global.

Escenarios de modelización

Con el fin de estudiar el efecto del aumento de ODS sobre la atmósfera se definen dos

escenarios, que abarcan el periodo desde 1985 hasta 2070. En el escenario Control los gases invernadero CO₂, metano (CH₄) y óxido nítrico (N₂O) aumentan según el escenario de estabilización propuesto por el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (*Intergovernmental Panel on Climate Change*). En este escenario la concentración de dióxido de carbono y metano se estabiliza hacia finales del siglo XXI, mientras que la concentración de los ODS disminuye de acuerdo con el Protocolo de Montreal. En el segundo escenario de modelización, denominado *World Avoided*, o Mundo Evitado, el dióxido de carbono y metano aumentan de la misma manera que en el caso Control. Sin embargo, la concentración de los ODS, en lugar de disminuir según el Protocolo, aumenta constantemente un 3% por año. A continuación veremos las consecuencias de este aumento para la capa de ozono y el clima terrestre.

Evolución de la capa de ozono

El espesor de la capa de ozono se puede estudiar evaluando la columna de ozono, es decir, la integral vertical de la densidad de ozono desde la superficie hasta el tope de la atmósfera. La columna se mide en Unidades Dobson (*Dobson Units*, o DU), cuyo valor

típico varía entre unas doscientas veinte DU en el trópico y entre trescientas y cuatrocientas DU en altas latitudes (excepto sobre la Antártida en la primavera austral, cuando la capa de ozono disminuye a unas cien o ciento diez DU -el agujero de ozono-).

La imagen 2 contrasta la evolución de la columna de ozono en los escenarios Control y Mundo Evitado a lo largo del siglo XXI. Los resultados han sido suavizados con un promedio móvil de doce meses, que elimina la variación estacional de modo que se destaquen los cambios a largo plazo. A principios del siglo los valores de la columna de ozono son similares en los dos escenarios. En el caso Control se aprecia un aumento de la columna con el tiempo, que representa la recuperación de la capa de ozono según se reduce la concentración de ODS en este escenario. En el escenario del Mundo Evitado, por el contrario, la columna de ozono disminuye con el tiempo, paulatinamente a principios del siglo XXI y con gran rapidez a partir del año 2045. En el año 2050 la columna de ozono se reduce a la mitad de su valor a principios del siglo XXI y hacia el 2060 disminuye a menos de cien DU en todas las latitudes, lo que representa un agujero de ozono global. Este colapso de la capa de ozono hacia la mitad del siglo XXI con-

cuerda con los resultados de Newman que investigaban las consecuencias de no haber adoptado el Protocolo de Montreal.

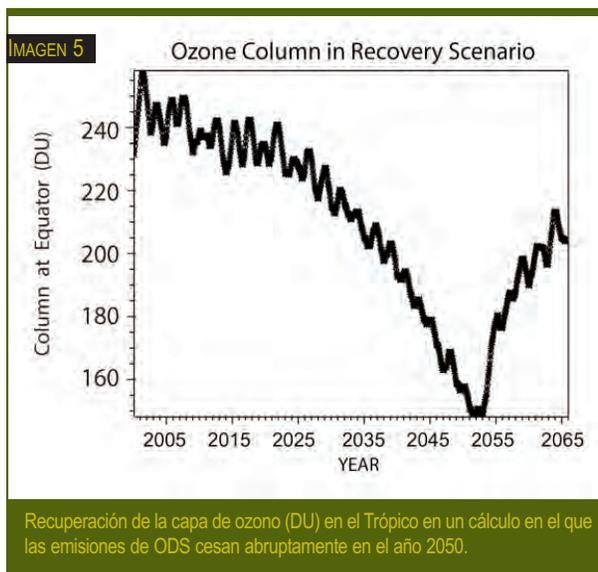
El colapso a escala global de la columna de ozono supone graves consecuencias para todos los ecosistemas terrestres. El impacto se puede evaluar por medio del índice ultravioleta (IUV). Dicho índice es una cantidad no dimensional que depende de la intensidad de la radiación solar en la banda de los doscientos cincuenta a los cuatrocientos nanómetros, es decir, la banda de radiación ultravioleta cuya penetración a la superficie terrestre depende del espesor de la capa de ozono. Valores del IUV por encima de once se consideran extremos y hoy en día ocurren solamente en el trópico, cerca del mediodía y bajo condiciones totalmente soleadas. La imagen 3 muestra el IUV en función de la latitud en el escenario del Mundo Evitado en junio de los años 2000 y 2070. En el 2000 se aprecian valores típicos de diez en el hemisferio de verano en el trópico, de cinco en latitudes medias y de entre uno y dos en las altas latitudes del hemisferio de verano. En 2070 el

UVI aumenta enormemente en todas las latitudes: llega a cinco en altas latitudes en verano, sobrepasa los diez incluso en latitudes medias y los treinta y cinco en el trópico. Este aumento dramático del IUV coincide con el colapso a escala mundial de la capa de ozono y representa condiciones que no han existido en la Tierra desde la formación de la atmósfera “moderna” (con abundancia de oxígeno, del cual se deriva el ozono) en el periodo Cámbrico.

Aceleración del cambio climático

Por si la destrucción de la capa de ozono no fuese poco, el aumento de los ODS a través del siglo XXI en el Mundo Evitado también aumenta el calentamiento global ya que, como hemos visto en la imagen 1, los ODS son potentes gases invernadero. La imagen 4 muestra el cambio de temperatura en superficie, en función de la latitud, entre las décadas de 1990-2000 y 2060-2070. Aun el caso Control, en el cual la concentración del dióxido de carbono y metano se estabiliza hacia finales del siglo XXI, ocurre un aumento importante de la temperatura de superficie, tal como muestra la línea negra en la figura. Este aumento de temperatura es significativo en casi todas las latitudes y mayor en las regiones polares (entre dos y cuatro grados) que en el trópico (menos de dos grados). En el Mundo Evitado la alta concentración de ODS contribuye al efecto invernadero,

aumentando casi un factor de dos el ascenso de la temperatura en superficie. Como indica la línea azul en la imagen 4, en el Mundo Evitado los aumentos de temperatura en superficie son significativos en todas las latitudes y alcanzan casi tres grados en el trópico y entre cuatro y seis en el Ártico y la Antártida.



Mundo Evitado: el aumento dramático de la radiación ultravioleta coincide con el colapso de la capa de ozono y representa condiciones que no han existido en la Tierra desde la formación de la atmósfera “moderna”

¿Habría remedio?

Vale preguntarnos si, de cara a la doble catástrofe que representan el colapso de la capa de ozono más la aceleración del calentamiento global, no hubiésemos reaccionado y frenado de inmediato las emisiones de los ODS, digamos a partir del año 2050, cuando el colapso de la capa de ozono ya parecería inminente pero antes de que se produjera un agujero de ozono a escala global. Se ha investigado también esta posibilidad por medio de otro escenario, llamémoslo de Recuperación, en el cual las emisiones de ODS cesan abruptamente en el año 2050. El cálculo de este escenario demuestra que la eliminación instantánea de las emisiones de ODS produce una rápida recuperación de la capa de ozono, sobre todo en el trópico, en cuestión de dos o tres años, como muestra la imagen 5. Esto ocurre porque los compuestos de bromo procedentes de los ODS, que

son los que más afectan al ozono en el trópico, sobreviven en la atmósfera por muy corto plazo. Por el ejemplo, una vez que cesan las emisiones de ODS, el bromuro de metilo disminuye exponencialmente y su concentración atmosférica se reduce por un factor de diez en poco más de año y medio.

A pesar de esta buena noticia, no todos los efectos de los ODS desaparecen tan rápidamente. En particular, el efecto invernadero depende en gran parte de la concentración atmosférica de ODS como el CFC-12 (cuya escala temporal típica es casi un siglo), de modo que persisten en la atmósfera por mucho tiempo después de que cesan las emisiones. Esto significa que la eliminación inmediata de emisiones de ODS no puede reducir a corto plazo la aceleración del calentamiento global, como demuestra la línea verde en la imagen 4, que representa el cambio de la temperatura de superficie en el escenario de Recuperación. Queda claro que, en la década del 2060-2070, el aumento de temperatura es casi tan grande como en el Mundo Evitado a pesar de que las emisiones de ODS cesan por completo en 2050 en el escenario de Recuperación.

En conclusión

Los resultados de estas simulaciones no dejan lugar a duda que el Protocolo de Montreal nos ha librado de un futuro funesto. De más está decir que el colapso de la capa de ozono en cuestión de diez años a mediados del siglo XXI conduciría a una catástrofe ecológica a escala global porque supone un enorme aumento en la radiación ultravioleta que llega a la superficie terrestre. A la vez, el efecto invernadero de los ODS acelera el cambio climático, aumentando casi al doble el calentamiento de la temperatura de superficie. Afortunadamente, la capa de ozono se recuperaría en cuestión de unos años después de cesar por completo las emisiones de ODS. Sin embargo, el efecto invernadero no es reversible a corto plazo y el calentamiento global persistiría hasta finales del siglo XXI aun si las emisiones de ODS cesaran por completo a mitad del siglo.

MÁS INFORMACIÓN:

García, R. R., D. E. Kinnison, and D. R. Marsh, “World avoided” simulations with the Whole Atmosphere Community Climate Model, *J. Geophys. Res.*, 117, D23303, doi:10.1029/2012JD018430.

Otra visión del Camino de Santiago

Por Mayte Costado Dios (IAA-CSIC)

EL ESTUDIO DE LOS CÚMULOS DE ESTRELLAS JÓVENES SE HA REVELADO COMO UNA EXTRAORDINARIA HERRAMIENTA PARA CONOCER LA VÍA LÁCTEA

Esta gallega de nacimiento conoce el Camino de Santiago aunque realmente nunca lo haya recorrido: primero porque el camino portugués pasaba justo al lado de la casa de sus abuelos paternos, segundo por haber estudiado en esa bella ciudad que es Santiago de Compostela, con sus calles empedradas y su característico olor a piedra mojada y, tercero, porque lo estudia desde otra perspectiva: mirando al cielo.

El Camino de Santiago celeste es nuestra Vía Láctea. Se le conoce en España con ese nombre porque los peregrinos que marchaban hasta Santiago desde Europa usaban la posición de la Vía Láctea en el cielo, en verano nordeste-sureste, como referencia para poder seguir la senda y llegar a su destino. Por otro lado, el nombre Vía Láctea proviene de la mitología griega y en latín significa “camino de leche” porque en el cielo parece como un camino difuso, una mancha de color blanquecino que contrasta con la oscuridad del fondo. Según los griegos se trataba de la leche derramada por Hera, esposa de Zeus, quien se negó a amamantar a Heracles. En una ocasión lo acercaron a su pecho mientras dormía, pero Hera despertó, lo retiró suavemente y la leche se derramó por los cielos, dando forma a esa mancha lechosa tan sugerente que recorre nuestro cielo nocturno.

Pero hubo otras interpretaciones filosóficas. Un astrónomo llamado Demócrito (460-370 a.C.) sugirió que aquel haz blanquecino era en realidad un conglomerado de muchísimas estrellas. Su idea no halló respaldo en su época y tan solo hacia el año 1609 de nuestra era el astrónomo Galileo Galilei haría uso de su telescopio para observar el cielo y constatar que esa hipótesis era correcta pues,

donde quiera que mirase, el firmamento se encontraba lleno de estrellas, muchas de ellas invisibles a simple vista. Empezaba, por lo tanto, el proceso de investigar cuál era la estructura de nuestra galaxia, sobre la que a día de hoy todavía existen interrogantes.

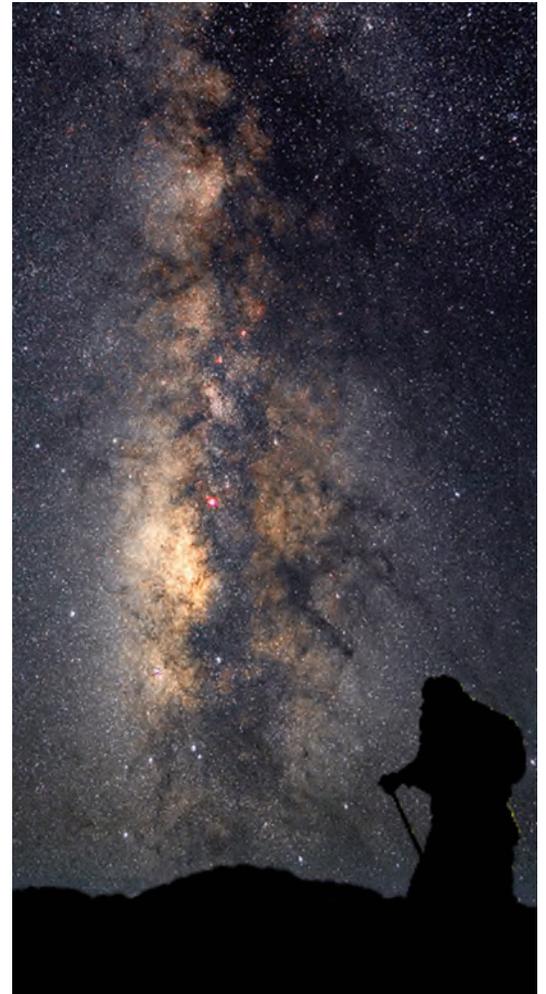
La Vía Láctea es la galaxia en la que vivimos, tiene forma espiral y contiene alrededor de doscientos mil millones de estrellas, incluyendo nuestro Sol. Mide aproximadamente cien mil años luz de diámetro y alrededor de diez mil años luz de espesor. Que se vea como una banda borrosa de color blanquecino surcando nuestro cielo estrellado se debe a la cantidad de estrellas y al gas interestelar que contiene.

Podemos dividir la Vía Láctea en tres componentes fundamentales: el halo, el disco y el bulbo. El halo galáctico engloba la galaxia, tiene una densidad de estrellas muy baja y alberga la mayor parte de los cúmulos globulares, formados por estrellas viejas. El bulbo o núcleo galáctico se sitúa en el centro, es la zona de la galaxia con mayor densidad de estrellas, tiene una forma esferoidal achatada y parece girar como un sólido rígido. En el centro galáctico reside un gran agujero negro de unos cuatro millones de masas solares que los astrónomos denominamos Sagitario A. El disco se caracteriza por sus cuatro brazos espirales y es la componente galáctica que contiene mayor cantidad de gas, donde todavía se producen los procesos de formación estelar y, por lo tanto, donde se encuentran las estrellas jóvenes.

Una de las maneras de caracterizar este disco galáctico consiste en estudiar los cúmulos estelares jóvenes que pueblan sus diferentes regiones. El estudio de la distribución espacial del sistema de cúmulos galácticos nos proporciona información acerca de la estructura de la Vía Láctea. Además, al estudiar varios cúmulos situados en zonas distintas y con diferentes composiciones podemos obtener información sobre la evolución del disco galáctico.

El estudio de los cúmulos

¿Cómo estudiamos un cúmulo? Analizando las estrellas que lo componen. Actualmente conocemos cómo las estrellas producen y emiten su energía, en qué cantidad y durante



cuánto tiempo. Comparando la cantidad de luz observada en diferentes bandas del espectro con modelos teóricos podemos determinar a qué distancia se encuentra la estrella, qué edad tiene y el enrojecimiento que ha sufrido. Esto último significa que la luz que nos llega de las estrellas es menos intensa cuanto mayor sea la distancia que tiene que recorrer. También, en el supuesto de que la estrella se encuentre en proceso de formación, aún conserva polvo o gas de la nube a partir de la que se formó, lo que produce que su luz nos llegue con menor intensidad.

Los cúmulos estelares abiertos jóvenes constituyen excelentes herramientas para comprender cómo se forman las estrellas y su evolución, porque las estrellas miembros de un cúmulo surgen de la misma nube molecular, de modo que coinciden en composición química, distancia y edad, y solo se diferen-



Observatorios participantes en el estudio.



Algunos cúmulos de la muestra.

cian en la masa. Así, su estudio nos permite obtener información fundamental sobre el papel que juega la masa de las estrellas en la evolución estelar y por eso los cúmulos con estrellas de diferentes masas resultan excelentes laboratorios para el estudio de la formación de la componente estelar del disco galáctico.

Desde hace varios años, algunos miembros del Grupo de Sistemas Estelares (*Stellar System Group*, SSG), del que formo parte lleva a cabo un programa observacional de cúmulos estelares que contienen estrellas masivas. Las observaciones se realizan desde el telescopio de 1,5 metros del Observatorio de Sierra Nevada (OSN) en Granada, desde el Telescopio Óptico Nórdico (NOT) del Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma) y desde el telescopio 3,5 metros del Observatorio de Calar Alto en Almería.

Nuestro principal objetivo reside en conocer cómo se forma un cúmulo así como las estrellas masivas que residen en él. Existen tres teorías que buscan explicar cómo se forman las estrellas masivas: el colapso monolítico de un núcleo protoestelar (a partir de un fragmento de la propia nube se forma una estrella masiva), la coalescencia de dos núcleos protoestelares de baja masa (de la nube se forman estrellas de inferior masa que después se fusionan para formar una estrella de mayor masa) y la acreción competitiva dentro de la nube molecular, donde varias estrellas se estarían formando y compitiendo entre ellas para seguir acumulando material hasta formar una estrella masiva.

La mayoría de las estrellas masivas no se

generan de forma aislada sino que parecen concentrarse en cúmulos, sistemas trapecios o sistemas binarios. Nosotros tomamos a los cúmulos como el escenario para la formación de estos objetos. Además, la forma de los cúmulos parece variar de una región a otra así como con la edad, lo que nos lleva a pensar que la formación de las estrellas depende del entorno donde se forman o que se forman todas de la misma manera pero luego su evolución dinámica difiere. Todo esto es todavía tema de debate.

Búsqueda de respuestas

Para intentar responder a todas estas incógnitas realizamos estudios de una muestra de cúmulos del Hemisferio Norte así como del Sur y, a través de las observaciones tanto en óptico (UBVRI) como en el infrarrojo (JHKs), pretendemos caracterizar la población estelar del cúmulo. Con el análisis de nuestras observaciones obtenemos los parámetros físicos del cúmulo estelar como la edad, la distancia y el enrojecimiento, así como la distribución espacial de las estrellas en el cúmulo y su función de masas. Tenemos cúmulos en diferentes estados evolutivos, a distancias de entre mil y cinco mil parsecs, en un rango de edades de entre uno y cuarenta millones de años y con dos entornos diferenciados (cúmulos aislados donde ya no quedan restos de la nube primigenia y cúmulos dentro de nubes moleculares que todavía presentan actividad de formación de estrellas).

Al disponer de toda esta variedad de situaciones podemos estudiar si existen correlaciones entre edad y entorno, o bien entre distri-

bución espacial y estado evolutivo. Del mismo modo nuestros objetos se encuentran distribuidos en diferentes zonas del disco galáctico, lo que nos sirve para también ver si existe relación entre las propiedades del cúmulo y el lugar del disco donde se encuentran. De este modo intentamos estudiar el disco de nuestra galaxia de modo local y global.

Finalmente, quisiera destacar nuestra participación en la misión Gaia, que será lanzada el próximo 20 de noviembre y creará un mapa tridimensional con más de mil millones de estrellas determinando su posición y movimiento con alta precisión. En la actualidad se está llevando a cabo un programa de observaciones desde tierra utilizando los telescopios del Observatorio Europeo Austral (ESO) para complementar los datos que la misión nos proporcionará. Dentro de este programa se realizan observaciones espectroscópicas de cúmulos estelares del hemisferio sur y nuestro grupo forma parte de esta colaboración internacional desempeñando un papel importante en la elección de los objetos a estudiar y en el análisis previo de los mismos.

Con todos estos programas observacionales en marcha, más el avance en los modelos teóricos, esperamos en un futuro no muy lejano conocer con mayor precisión la galaxia en la que vivimos y realizar un estudio exhaustivo de la formación, evolución y características de las distintas poblaciones estelares que constituyen el disco galáctico, nuestro querido Camino de Santiago celeste, para así conocer mejor el universo en el que vivimos.

Más sobre nuestro trabajo y otros temas de investigación relacionados con las estrellas masivas y el centro galáctico en:

<http://ssg.iaa.es>

Los datos de los cúmulos, ya publicados, se encuentran disponibles en nuestra web. Esta base de datos contiene en la actualidad un catálogo fotométrico para once cúmulos del hemisferio sur y se ampliará con otros dieciséis cúmulos del hemisferio norte que se encuentran en fase de estudio y publicación.

PLASMAS

HACE UN PAR DE MESES LEÍ EN UN PERIÓDICO DE TIRADA NACIONAL UN ARTÍCULO DE MEDIA PÁGINA DERECHA QUE SE TITULABA: "A LAS BUJÍAS DE LOS COCHES LES LLEGÓ SU HORA". HE DE RECONOCER QUE ME CAUSÓ SORPRESA (Y GRAN AGRADO) VER CÓMO UN ASUNTO RELATIVAMENTE TÉCNICO MERECE CONSIDERABLE ESPACIO EN UN PERIÓDICO IMPORTANTE. LAS BUJÍAS USAN UNA DESCARGA ELÉCTRICA DE ARCO ENTRE DOS ELECTRODOS PARA GENERAR UN PLASMA DE ARCO (PLASMA TÉRMICO), QUE MEDIANTE UNA RÁPIDA SUBIDA (DE VARIOS MILES DE GRADOS) DE LA TEMPERATURA DEL COMBUSTIBLE CONSIGUE INICIAR LA COMBUSTIÓN EN LOS MOTORES DE NUESTROS VEHÍCULOS, CAUSANDO ADEMÁS UNA CONSIDERABLE EROSIÓN A LOS ELECTRODOS. AHORA, DESPUÉS DE MÁS DE CIENTO AÑOS DE CONSTANTES INNOVACIONES EN LA INDUSTRIA DEL AUTOMÓVIL, VARIAS EMPRESAS HAN PUESTO A PUNTO UNA NUEVA TECNOLOGÍA DE PLASMAS NO TÉRMICOS (TAMBIÉN LLAMADOS PLASMAS FRÍOS) PARA SUSTITUIR A LAS BUJÍAS, UNO DE LOS COMPONENTES MÁS ANTIGUOS AÚN PRESENTES EN LOS AUTOMÓVILES.

PERO, ¿QUÉ SON LOS PLASMAS?, ¿CUÁNTOS TIPOS DE PLASMAS EXISTEN?, ¿DÓNDE LOS PODEMOS ENCONTRAR?, ¿TIENEN APLICACIONES QUE NOS HAGAN LA VIDA MÁS FÁCIL? Y, POR ÚLTIMO, ¿DESDE QUÉ PERSPECTIVA Y CÓMO LOS ESTUDIAMOS EN EL IAA?

1 ¿QUÉ SON LOS PLASMAS?

La palabra plasma apareció impresa por primera vez en un artículo de Irving Langmuir titulado *Oscilaciones en gases ionizados* publicado en 1928 en las actas de la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos. Este trabajo de Langmuir puede considerarse como la formalización en el siglo XX de los estudios comenzados en el siglo XVIII por precursores del estudio de la materia radiante tales como Lichtenberg en Alemania y, ya en el siglo XIX, por Michael Faraday, William Crookes y J. J. Thomson en el Reino Unido, así como Werner von Siemens en Alemania.

El plasma es el cuarto estado de la materia. Así, por ejemplo, al aportar suficiente energía, bien en forma de calor o de radiación electromagnética, a un trozo de hielo (primer estado), obtenemos agua líquida (segundo estado) que, a su vez, se transforma en vapor de agua o gas (tercer estado) al calentar el agua líquida. Pues bien, si seguimos aportando más energía a las moléculas de agua en fase vapor (gas) mediante una descarga eléctrica, lo ionizaremos parcial o totalmente, esto es, le arrancaremos electrones de los átomos o moléculas que lo forman y conseguiremos producir un plasma de agua (cuarto estado)



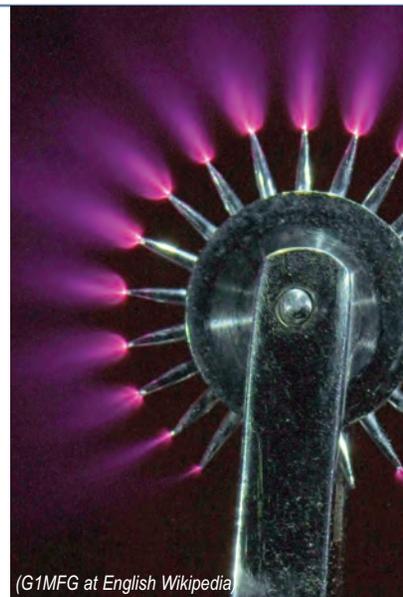
que, a diferencia del simple vapor de agua, se caracteriza por conducir la electricidad. El plasma de agua no solo contiene moléculas de agua sino también muchos electrones e iones libres (además de moléculas y átomos excitados así como radicales libres) que le confieren la propiedad única de interactuar de forma notable, al igual que los metales, con campos eléctricos y magnéticos externos. De alguna manera, y por lo que respecta a sus propiedades electromagnéticas, el plasma sería como un metal gaseoso. Esto dio pie al surgimiento del estudio de lo que se denominó (en la primera parte del siglo XX) electrónica gaseosa (de hecho, *Gaseous Electronics* es el nombre de una muy prestigiosa conferencia de plasmas que se celebra anualmente en EE.UU. desde 1947). A escala macroscópica (mayor que la distancia de Debye), los plasmas son, no obstante, eléctricamente neutros, ya que el número de cargas positivas y negativas es similar.

La energía necesaria para generar un plasma puede suministrarse de varias maneras: mediante el calor originado en, por ejemplo, un proceso de combustión, mediante la interacción entre radiación láser y un sólido, líquido o gas, o mediante descargas eléctricas en gases, en las que los electrones libres toman energía del campo eléctrico aplicado y la pierden en procesos de excitación e ionización de los átomos y moléculas del gas.

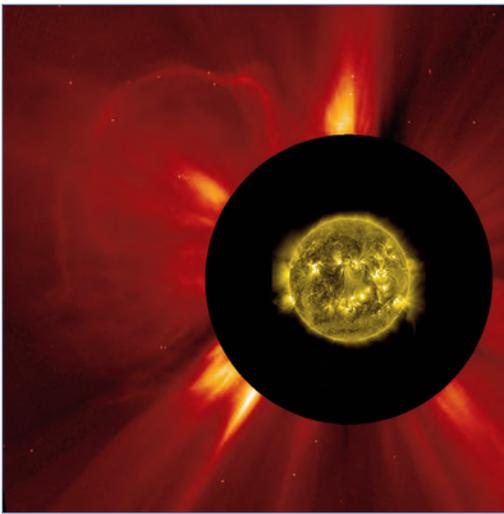
2 ¿QUÉ TIPOS EXISTEN?

Una primera clasificación de los tipos de plasma se realiza en función de su equilibrio térmico, esto es, dependiendo de si la temperatura o energía media de las partículas que lo forman es o no la misma para cada tipo de partícula. Así, los plasmas térmicos o calientes son aquellos en los que la temperatura de los electrones y especies pesadas (átomos, iones, moléculas) es la misma. Por ejemplo, son plasmas térmicos los del interior de las estrellas, los plasmas producidos en el núcleo (alejado de las paredes) de los dispositivos de fusión termonuclear, así como los plasmas de arco (usados en el siglo XIX como alumbrado) o el plasma formado en el canal de un rayo (donde la temperatura de los neutros alcanza los treinta mil grados, similar a la de los electrones).

Por otra parte, los plasmas no térmicos o fríos se caracterizan por el hecho de que las energías de los electrones libres y la de las especies pesadas es muy distinta, por lo que los plasmas fríos dan lugar a procesos de no equilibrio de gran interés fundamental y aplicado. En general, en los plasmas no térmicos la temperatura de las especies pesadas permanece siempre cercana a la ambiente (entre veinticinco y cien grados centígrados) mientras que la de los electrones puede oscilar entre los cinco mil y los cien mil grados centígrados. Los nuevos dispositivos mencionados al comienzo del artículo para reemplazar a las bujías se basan en descargas tipo corona (imagen derecha), un tipo de plasma no térmico, generadas mediante el uso de pulsos de una duración que puede oscilar entre los micro y los nanosegundos. De esta forma, la energía es inyectada en el combustible mediante electrones muy energéticos que transfieren su energía de forma muy eficiente a través de colisiones inelásticas (excitación, disociación, ionización, etc), evitándose la pérdida de energía en forma de calor (el combustible permanece a temperatura cercana a la ambiente).



(G1MFG at English Wikipedia)



3 ¿DÓNDE ESTÁN?

Los plasmas son ubicuos en el universo visible conocido, pero no así en la superficie de nuestro planeta, donde las condiciones de presión y temperatura hacen que nos parezcan comunes los estados de la materia (sólido, líquido y gas) que en términos globales son exóticos. Nuestra estrella más cercana, el Sol, emite un

tenue viento ionizado (el llamado viento solar) formado por protones y electrones que conforman la atmósfera de plasma espacial que envuelve a los planetas del Sistema Solar, especialmente a los cuatro más cercanos al Sol.

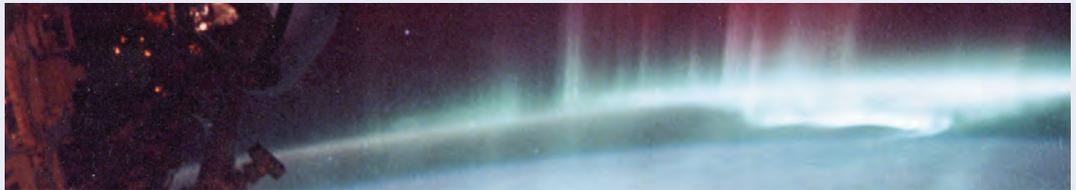
La meteorología espacial o *space weather* trata del estudio de la interacción del viento solar con la Tierra y su espacio circundante. Muchas de las comodidades de las que disfrutamos hoy en día necesitan de la meteorología espacial, que a su vez depende de investigaciones básicas acerca de las propiedades del Sol, la atmósfera de plasma que envuelve la

Tierra y su interacción con la magnetosfera.

Los plasmas magnetosféricos se deben a la interacción del viento solar con la magnetosfera terrestre, por cuyos agujeros magnéticos polares penetra y forma las auroras polares y australes en la ionosfera terrestre.

Las ionosferas planetarias son también ejemplos de plasmas naturales. En algunos planetas como la Tierra, Júpiter, Saturno, quizás Venus, Neptuno y Urano se producen rayos (otro tipo de plasma), así como descargas eléctricas mesosféricas (hasta ahora solo detectadas en la Tierra) asociadas con los rayos de las capas atmosféricas más bajas.

Arriba, imagen del Sol durante una eyección de masa coronal (una versión explosiva del viento solar). A la derecha, imagen de una aurora polar vista desde el espacio.
Fuente: NASA.



4 APLICACIONES



El estudio de las propiedades físico químicas de los plasmas de baja temperatura (como los de los tubos fluorescentes o el de los televisores de plasma) es un pilar fundamental en el que se basan importantes avances científico tecnológicos actuales. Hoy en día se usan plasmas de baja temperatura en aplicaciones tan diversas como la propulsión espacial por plasma (los motores de plasma son comunes en las naves de exploración del Sistema Solar), la medicina (existe un campo emergente llamado *plasma medicine*), el tratamiento de superficies, la fabricación de nanomateriales y nanoestructuras usando técnicas de plasma (nanolitografía asistida por plasma para la fabricación de chips electrónicos) o, entre otras muchas aplicaciones, la combustión asistida por plasma (mencionada al comienzo del artículo), la aerodinámica de plasmas así como el estudio y recreación en el laboratorio de la química de las regiones interestelares (cosmoquímica).

5 PLASMAS EN EL IAA

El grupo de plasmas transitorios en atmósferas planetarias (TRAPPA) del IAA viene estudiando, desde sus comienzos a finales de 2008, las descargas eléctricas (también llamadas fenómenos luminosos transitorios o TLEs) que, descubiertas en 1989, tienen lugar entre la baja estratosfera y la alta mesosfera de nuestro planeta debido a la intensa actividad eléctrica en la troposfera. Recientemente también hemos comenzado el estudio de la actividad eléctrica en atmósferas extraterrestres, en particular en Júpiter y Saturno.

El objetivo de nuestros estudios reside, por un lado, en entender los procesos de formación y propagación de los TLEs y, por otro, en determinar su posible influencia en las propiedades eléctricas y químicas de la alta atmósfera terrestre y determinar su posible existencia en otros planetas con actividad eléctrica. Para lograr estos objetivos abordamos el problema desde una triple perspectiva basada en la modelización (desarrollamos modelos electrodinámicos y cinéticos), las investigaciones de laboratorio, donde pretendemos



Primera imagen de un TLE captada por María Passas del grupo TRAPPA con el instrumento GRASSP desde el Observatorio de Calar Alto.

www.trappa.es

estudiar análogos de las descargas eléctricas naturales que nos interesan y, finalmente, el desarrollo de instrumentos propios de observación, como el instrumento automatizado *GRAnada Sprite Spectrograph and Polarimeter* (GRASSP) operativo desde mayo de 2013 en el Observatorio de Calar Alto (Almería) y que ya

nos ha proporcionado las primeras imágenes de TLEs desde el sur de España (imagen).

No quisiera terminar este breve artículo sin mencionar que nuestro grupo forma parte del equipo científico de las misiones ASIM (*Atmospheric Space Interaction Monitor*) y TARANIS (*Tool for the Analysis of Radiation from Lightning and Sprites*) de la ESA y del CNES, respectivamente. Estas misiones se lanzarán a finales de 2015 o principios de 2016 y su objetivo exclusivo es el estudio de los TLEs y los rayos gamma terrestres (TGFs) desde el espacio. El instrumento GRASSP de nuestro grupo ha sido diseñado y construido para dar apoyo de tierra tanto a ASIM como a TARANIS.



el "Moby Dick" de...

...Jesús Maiz Apellániz (IAA-CSIC)

CHORIZOS



Nació en San Sebastián (Guipúzcoa) el 7 de julio de 1967. Obtuvo un *Bachelor of Science* en Caltech y un *Master of Arts* en la U.C. Berkeley antes de realizar su tesis doctoral en el LAEFF. En la actualidad es científico titular en el IAA.

¡Llamadme Ismael... lo que me trae de cabeza desde hace años es CHORIZOS. Y no, no me refiero a los pedazos de tripa ni a ciertos políticos. Ni siquiera a la cuerda donde se anotan los tantos en el billar en Colombia. Me refiero a un software astronómico en el que llevo trabajando más de una década y que tiene ese nombre. El lector puede ver una descripción aquí (<http://jmaiz.iaa.es/software/chorizos/chorizos.html>).

¿Para qué sirve CHORIZOS? La forma más sencilla que tenemos los astrónomos de medir las propiedades de un objeto es sacarle una imagen y medir su brillo. A eso le llamamos fotometría. Si usamos un único filtro (una banda del espectro), la información que obtenemos es escasa, pues puede ocurrir que un objeto sea débil porque sea poco brillante o porque emita la mayor parte de su radiación en una banda distinta. Por lo tanto, necesitamos por lo menos dos filtros, lo que nos da un valor del brillo en una banda (que los astrónomos medimos en unas unidades llamadas magnitudes) y un color (una diferencia de magnitudes, que nos dice si el objeto es "rojo" -más brillante en longitudes de onda largas- o "azul" -más brillante en longitudes de onda cortas-).

Supongamos que el objeto es una estrella cuya distancia conocemos. El brillo corregido por la distancia nos da una medida de la luminosidad de la estrella mientras que el color nos indica cuál es su temperatura (las estrellas "rojas" son frías mientras que las "azules" son calientes). Por esta razón, en astronomía son ubicuos los diagramas color-magnitud obtenidos a partir de dos filtros fotométricos, ya que a partir de dos imágenes es posible obtener la luminosidad y la temperatura de cientos o miles de estrellas.

El primer problema surge de que el color de una estrella no depende solamente de la temperatura sino también de otros factores. Uno de ellos es la cantidad de polvo presente en la línea de visión. El polvo extingue la luz, disminuyéndolo en todas las longitudes de onda (oscurecimiento)

pero preferentemente en las más cortas (enrojecimiento). Así, una estrella roja puede tener ese color de forma intrínseca (o sea, por ser fría) o por tener mucho polvo delante. Además, existen distintos tipos de polvo en el medio interestelar para los cuales el tipo de oscurecimiento es distinto. Otros factores pueden cambiar también el color, como la metalicidad (proporción de elementos más pesados que el helio).

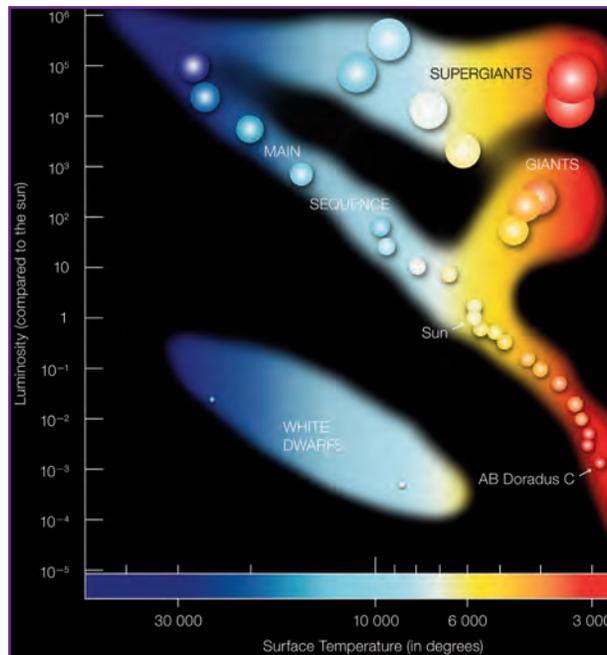


Diagrama color-magnitud.

Si con dos filtros no tenemos información suficiente, ¿por qué no usar, tres, cuatro o los que sea para medir de forma simultánea luminosidad, temperatura, extinción, tipo de extinción, metalicidad...?

Aún ignorando lo anterior, un segundo problema aparece a la hora de discernir si una estrella débil lo es porque es intrínsecamente poco luminosa o porque está lejos. Medir distancias en astronomía es difícil y, aunque algunos colores permiten distinguir entre estrellas muy o poco luminosas, se requiere fotometría de gran precisión y tener en cuenta los efectos de la

temperatura, la extinción y la metalicidad. Aquí es donde entra en juego CHORIZOS con una idea en principio simple: si con dos filtros no tenemos información suficiente, ¿por qué no usar, tres, cuatro o los que sea para medir de forma simultánea luminosidad, temperatura, extinción, tipo de extinción, metalicidad...? Del dicho al hecho hay un buen trecho y esto es lo que el capitán Ahab se ha encontrado en el camino:

[1] Una resistencia a dejar de usar diagramas color-magnitud por parte de bastantes astrónomos. El capitán se lió la manta a la cabeza y prefirió esperar a que los hechos hablaran por sí mismos.

[2] Problemas en la calibración de algunos sistemas fotométricos impedían alcanzar la precisión necesaria. Eso hizo que Ahab se dedicara un par de años a recalibrarlos hasta quedar satisfecho.

[3] Ausencia de modelos estelares que cubrieran todo el rango de temperaturas, luminosidades y metalicidades. Aquí el capitán, que nunca pensó en dedicarse a eso de los modelos, recopiló lo que pudo de la literatura, se aseguró de que eran coherentes entre ellos y creó unas mallas de modelos unificadas.

[4] Las puñeteras leyes de extinción. Tras tres cuartos de siglo estudiando cómo el polvo modifi-

ca la luz estelar, dichas leyes todavía no se conocían con suficiente precisión como para ser usadas por CHORIZOS. Ahab se remangó, las recalculó y está ya a punto de publicar unas nuevas leyes que funcionen correctamente.

[5] La capacidad de computación. Una vez solucionados todos los problemas, ahora falta que procesar la información de una estrella lleve segundos en vez de horas para así poder analizar miles de estrellas en un tiempo razonable. Mejoras diversas en el programa y la ley de Moore en la última década han permitido llegar a los minutos pero aún falta el último paso.

En poco tiempo, el capitán Ahab piensa capturar a Moby Dick y sobrevivir al intento.

Antonia Ferrín Moreiras

La primera astrónoma gallega

POR JOSEFINA F. LING (USC)

Antonia Ferrín Moreiras nació en Orense en 1914. Con apenas seis años se trasladó con su familia a Santiago de Compostela debido a que su padre, profesor de matemáticas, quería destinar a sus cuatro hijas el mejor partido que nadie pudiera ofrecerles: una carrera universitaria.

Años después, Antonia se matriculó en la facultad de ciencias de la Universidad de Santiago, donde por aquella época solo se impartía la carrera de químicas. El acceso a la oferta de matrícula gratuita para familias con pocos recursos durante los primeros años y el disfrute de becas durante los últimos le permitieron obtener en el período de la II República la licenciatura en química y el título de Maestra Nacional.

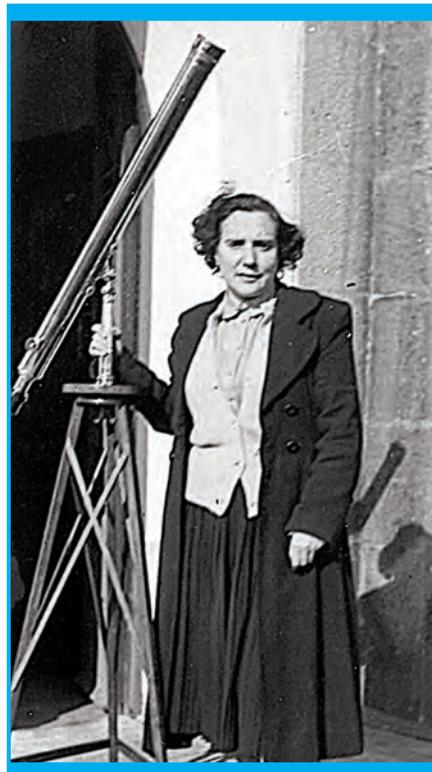
En 1934, recién licenciada, ya era profesora ayudante de prácticas de las asignaturas de físicas y matemáticas en la facultad, labor que compaginaba con la de ayudante interina de la sección de ciencias del Instituto de Santiago hasta el año 1936, en ambos casos de manera gratuita. A la par realizaba la carrera de farmacia y los dos únicos cursos de ciencias exactas que se impartían en la Universidad de Santiago de Compostela (USC).

Los tres años siguientes corresponden a uno de los momentos más difíciles en la historia de España: la Guerra Civil. La universidad se paralizó por completo y, a las penurias propias de una conflagración, se vino a sumar una denuncia anónima que salpicó también su vida profesional. En 1937 fue sancionada, por motivos políticos, con la inhabilitación para el desempeño de cargos directivos y de confianza, lo que la separó de la docencia en la enseñanza secundaria. Ella siempre consideró que fue simplemente una cuestión de discriminación más que de represalia, ya que le permitieron seguir ejerciendo como profesora en el colegio de niñas huérfanas, Nuestra Sra. de los Remedios de Santiago. Finalizada la Guerra Civil y reanudada la vida universitaria, su causa fue revisada y obtuvo la rehabilitación en 1940. Aquel año se reincorporó también en su puesto docente de la facultad de ciencias.

Científica y docente incansable

En la década de los cuarenta conoció a Ramón María Aller, fundador del Observatorio Astronómico de la USC, quien la introdujo en

el mundo de la astronomía. Con él comenzó su periplo investigador en dicho observatorio, convirtiéndose durante cerca de veinte años en su colaboradora más fiel, disciplinada y meticulosa tanto en los trabajos de gabinete como en los de observación. Muy pronto, el manejo de instrumentos astronómicos como el telescopio refractor de doce centímetros o el antejo de pasos no tuvieron secretos para ella. Esto le permitió efectuar desde medidas micrométricas de estrellas



dobles a pasos de estrellas por dos verticales u ocultaciones de estrellas por la luna. Sus resultados se publicaron en la revista española de astronomía *Urania*. Una anécdota, que solía recordar la profesora Ferrín, tenía que ver con el intenso frío padecido bajo la cúpula durante las noches de invierno, sin la posibilidad de abrigarse con unos pantalones, prenda que por aquel entonces no se consideraba femenina y que solamente las actrices de cine osaban lucir en la gran pantalla.

En 1950 consiguió otra proeza al licenciarse en ciencias exactas, su verdadera vocación, en la Universidad Central de Madrid, tras estudiar como alumna libre los tres cursos que le faltaban. Ese mismo año el Consejo Superior de Investigaciones Científicas le concedió una beca para realizar tareas de investigación en el Observatorio

Astronómico de Santiago, beca que en 1952 se transformó en un puesto de ayudante de investigación.

Al año siguiente ganó, por oposición, una plaza de catedrática de matemáticas en la Escuela Normal de Magisterio de Santander, que ocupará durante dos años. Al cabo de ese tiempo regresó a Santiago, donde se incorporó en la Escuela Normal Femenina.

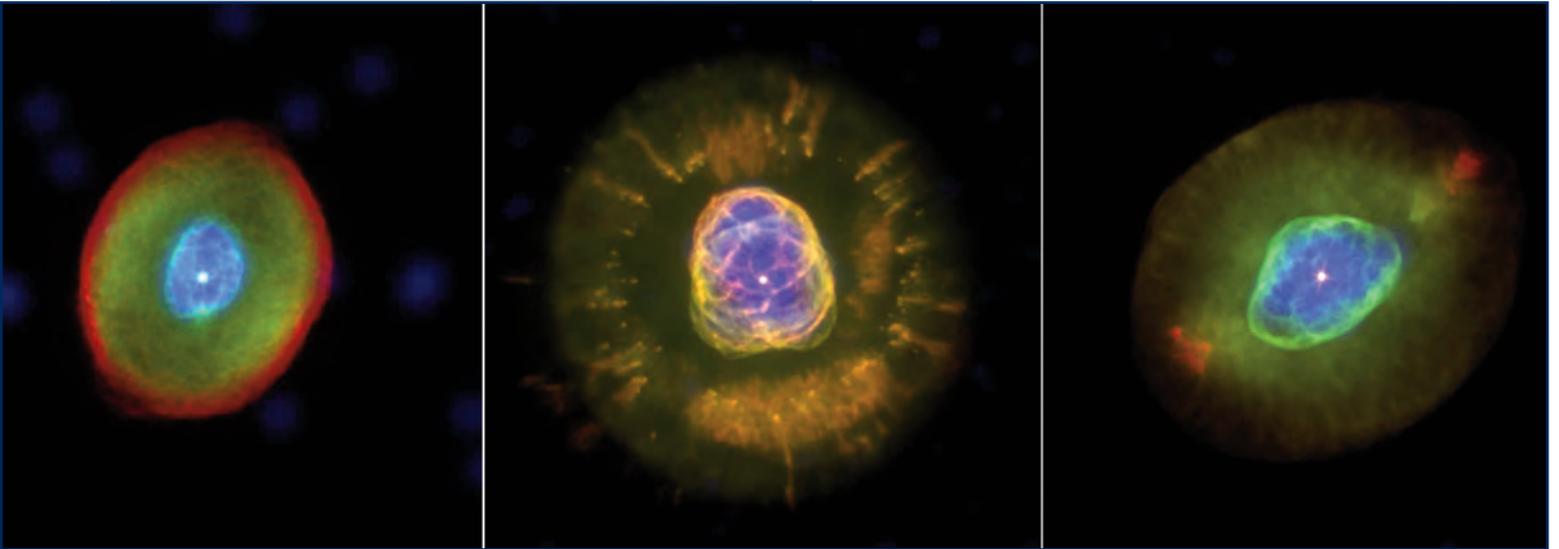
En 1957, al crearse la sección de matemáticas de la Facultad de Ciencias en la USC, Antonia se convirtió en su primera "profesora", impartiendo numerosas materias y participando activamente en los primeros años de vida del centro.

Durante esa época continuó investigando bajo la dirección de Ramón María Aller que, junto a Vidal Abascal la animaron y ayudaron a realizar, por libre, los cursos de doctorado en la Universidad Complutense. Fruto de este esfuerzo fue la lectura de su tesis doctoral en 1963 bajo el título *Observaciones de pasos por dos verticales*. Ese mismo año fue nombrada catedrática de matemáticas en la escuela de magisterio Santa María de Madrid y abandonó Santiago para ejercer sus funciones allí.

Una vez afincada en Madrid, Antonia aceptó la propuesta de la facultad de matemáticas de la Universidad Complutense y se convirtió en profesora adjunta, labor que compaginaba con su docencia en la escuela de magisterio. Fue durante este periodo de tiempo cuando tuvo el privilegio de ser su alumna en la asignatura de mecánica celeste, impartida dentro del programa de estudios de astronomía de la UCM. Recuerdo la singular maestría de sus explicaciones.

Con motivo de la celebración del cincuenta aniversario de la licenciatura de matemáticas de la USC en 2008, Antonia Ferrín fue elegida madrina de esta efeméride por ser una estudiante y trabajadora infatigable, una docente versátil a lo largo de sus más de cinco décadas dedicadas a esta labor y por haber sido pionera en diferentes frentes de la facultad de matemáticas: la primera mujer en formar parte de su cuadro de profesores, en realizar trabajos de investigación en astronomía y en defender una tesis doctoral. En reconocimiento a su trayectoria, ha sido la primera mujer a la que se le ha dedicado un aula en el edificio de la facultad santiaguesa. En agosto de 2009 se apagó la vida de nuestra primera astrónoma española, la doctora Antonia Ferrín Moreiras, quien contaba con noventa y cinco años.

¿Es la estrella central de la Nebulosa del Esquimal un sistema binario?



Un estudio ha revelado anomalías en la Nebulosa del Esquimal que apuntan a que su estrella central pudiera ser doble. El trabajo aporta evidencias robustas sobre la existencia de una capa de conducción que transfiere energía térmica producida en el choque de vientos estelares en las nebulosas planetarias.

► Las nebulosas planetarias constituyen un bellissimo ejemplo de interacción de vientos estelares, donde flujos de gas a distintas temperaturas y velocidades producen una característica estructura: una cavidad central compuesta por un viento muy veloz y caliente, un cascarón brillante formado un viento más denso y frío y una envoltura externa. Entre las dos primeras debería existir una capa de transición que transmite el calor producido por el choque de vientos. La existencia de dicha capa ha sido confirmada en un estudio que, además, revela la existencia de una posible compañera de la estrella central de la Nebulosa del Esquimal. Las nebulosas planetarias surgen de la muerte de las estrellas de masa intermedia que, en las últimas etapas, liberan parte de su envoltura. El núcleo estelar restante, muy caliente, produce radiación ultravioleta que ioniza el material expulsado, lo que hace que emita luz. También del

núcleo escapa un viento estelar con una velocidad de miles de kilómetros por segundo.

“Este viento rápido impacta la envoltura externa, más fría y densa, propagándose en el viento un choque que calienta el gas en el interior de la nebulosa y produce la emisión de energía en rayos X en las nebulosas planetarias”, ilustra Nieves Ruiz, investigadora del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) que lidera el estudio.

La altísima velocidad de estos vientos debería producir temperaturas de entre diez y cien millones de grados en la región de choque, algo que, sin embargo, no se observa. “Parece que entre la capa exterior fría y el viento interior calentado por choques existe una capa de conducción donde se producen procesos de evaporación o de conducción de calor - apunta Martín A. Guerrero, investigador del IAA y coautor del trabajo-. Los procesos físicos que suceden en esa

capa son importantísimos porque, al mezclarse con el material frío de fuera, el viento estelar baja su temperatura y aumenta su densidad para producir las condiciones óptimas en las que se emiten rayos X suaves, que es lo que realmente detectamos”.

Un resultado buscado y otro inesperado

Hasta ahora, la muestra de nebulosas planetarias que presentan emisión de rayos X suaves y una capa de conducción estaba reducida a un objeto, la Nebulosa del Ojo del Gato, por lo que se ignoraba si esa capa de conducción era realmente un elemento común en las nebulosas planetarias con emisión en rayos X. Si fuera así, entre el viento a millones de grados de la cavidad central y el de la capa formada por la envoltura, a unos diez mil grados, debería hallarse material a una temperatura intermedia, entre cien mil y trescientos mil grados. Y los investigadores hallaron un trazador idóneo para la búsqueda de ese material “templado” en el oxígeno VI (átomos de oxígeno que han perdido cinco electrones), que debería producirse en esa capa intermedia y que se detecta en el ultravioleta.

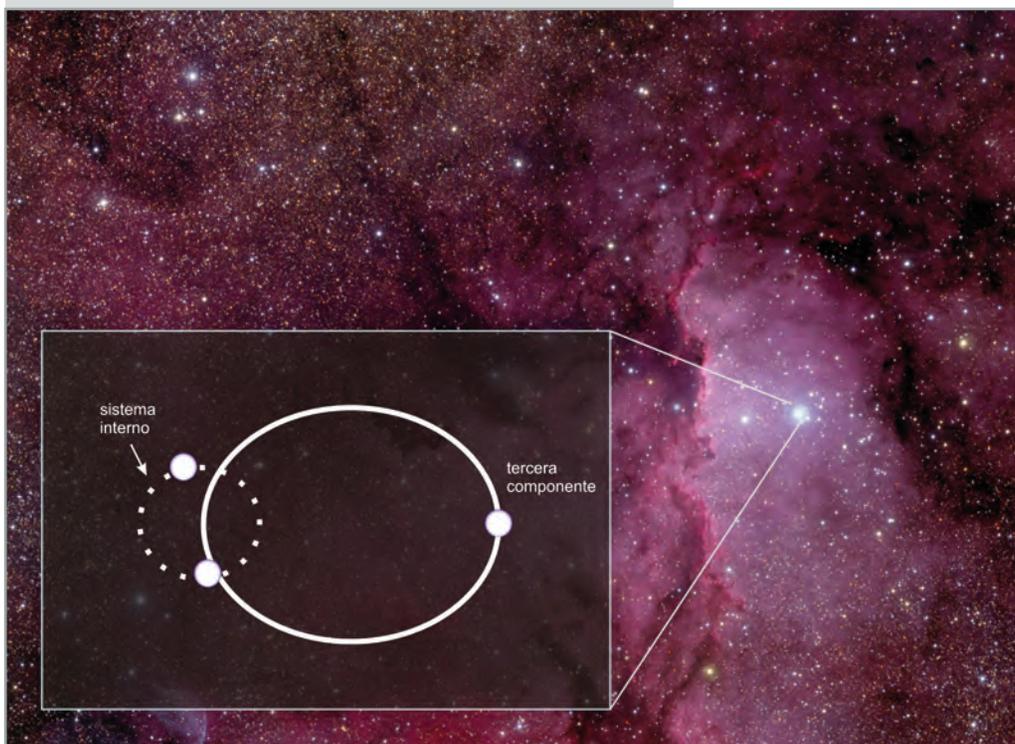
“Seleccionamos tres nebulosas planetarias que mostraban la presencia de oxígeno VI en datos del satélite

IC 418, NCG 2392 (Nebulosa del Esquimal) y NGC 6826. La emisión en rayos X viene señalada en azul. Fuente: Chandra y HST.

FUSE y buscamos, con el telescopio espacial Chandra, emisión difusa en rayos X”, señala Nieves Ruiz (IAA-CSIC). Y no solo hallaron esa emisión en los tres objetos, lo que supone una fuerte evidencia de la existencia de una capa de conducción, sino que al poner en contexto este hallazgo y ajustarlo a los modelos teóricos dieron con un resultado inesperado. Los datos concordaban en dos de las tres nebulosas, pero en NGC 2392 - más conocida como la Nebulosa del Esquimal- detectaron serias discrepancias: la estrella central no genera vientos suficientemente energéticos para que se produzcan rayos X (que, sin embargo, sí se detectan) y su burbuja se expande a noventa kilómetros por segundo, más del doble de la velocidad media en objetos similares. “Hay algo que está aportando energía extra y pensamos que pudiera tratarse de una compañera binaria que aún no se ha podido detectar de forma directa”, concluye Martín A. Guerrero (IAA-CSIC). El grupo prepara ya un artículo profundizando en estas conclusiones.

Silbia López de Lacalle (IAA)

Observada la tercera estrella del sistema HD 150136: un paso adelante en el estudio de las estrellas de masa extrema



El sistema HD 150136. Imagen de fondo: Marco Lorenzi (Glittering Lights).

base este objeto”, indica Joel Sánchez-Bermúdez (IAA-CSIC). Esta técnica combina varios telescopios y obtiene una resolución similar a la de un telescopio con un diámetro equivalente a la distancia que los separa.

Cómo nacen las estrellas gigantes

Gracias al instrumento AMBER, del *Very Large Telescope Interferometer* (ESO), el grupo de investigadores obtuvo los parámetros principales de esta tercera estrella, que constituye un primer paso en la discriminación del modelo correcto que explica cómo se forman estas estrellas gigantes.

A día de hoy coexisten dos teorías al respecto, que apuestan respectivamente por el colapso de una única nube protoestelar muy masiva, que después se desgajaría en varias estrellas, y por la colisión de estrellas de menor masa en un cúmulo.

Según los autores de la investigación, las estrellas de un sistema formadas de acuerdo con el primer escenario deberían girar en órbitas situadas en un mismo plano (igual que los planetas del Sistema Solar), en tanto que si el segundo escenario fuera el correcto mostrarían órbitas menos uniformes.

La observación de la tercera estrella del sistema HD 150136 ha constituido un primer paso, al que seguirá la combinación de datos espectroscópicos con nuevos datos de AMBER en el infrarrojo que permitirán determinar cómo son las órbitas de HD 150136 y discriminar qué modelo de formación es el adecuado para el sistema.

Silbia López de Lacalle (IAA)

Las estrellas masivas tienen, a pesar de su escasez, una enorme influencia en la estructura y evolución química de las galaxias

Aún desconocemos cómo se forman y evolucionan estos gigantes estelares, que requieren del estudio detallado de cada ejemplar conocido para poder obtener estadísticas fiables de sus características

► Aunque se calcula que en la Vía Láctea solo una de cada dos millones de estrellas presenta una masa superior a veinte veces la del Sol, las estrellas masivas influyen en la estructura y evolución de las galaxias y son las responsables de la existencia de, entre otros, algunos de los elementos que nos componen. Sin embargo, esta importancia contrasta con la carencia, a día de hoy, de una teoría completa sobre su nacimiento y evolución. La observación de la tercera estrella del sistema HD 150136 por un grupo internacional de astrónomos liderado por el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) contribuirá

a mejorar nuestro conocimiento sobre estas estrellas de masa extrema.

“La observación de este tipo de estrellas es muy complicada debido a su escasez y distancia”, señala Joel Sánchez-Bermúdez, investigador del IAA que encabeza el estudio. De hecho, esta distancia dificulta su estudio hasta el punto de producir errores, ya que varias estrellas próximas pueden parecer una sola desde nuestra perspectiva. “Aunque no disponemos de una teoría completa sobre las estrellas masivas sabemos, sin embargo, que una de las claves fundamentales para el entendimiento de su evolución resi-

de en que un alto porcentaje de ellas se halla en sistemas múltiples de dos o más componentes”, apunta el investigador.

Así, el estudio de sistemas formados por varias estrellas masivas ligadas gravitatoriamente parece la vía idónea para hallar los mecanismos de formación y evolución de estos gigantes estelares. Y de los apenas veinte sistemas de esta clase conocidos en nuestra galaxia, HD 150136 constituye un objeto de especial interés ya que se trata del sistema extremadamente masivo (con más de cien masas solares) más cercano a la Tierra. Un sistema formado por dos componentes que giran muy próximas en torno a un centro común (el sistema interno) y una tercera, hasta ahora no observada de forma directa, que gira en torno a las otras dos.

“Dado que la determinación de la masa y la luminosidad de cada una de las componentes es fundamental para conocer la evolución del sistema, nuestro equipo decidió estudiar con interferometría óptica de larga

Se publica el "oro" de ALHAMBRA, el catálogo definitivo para el estudio de la evolución del universo

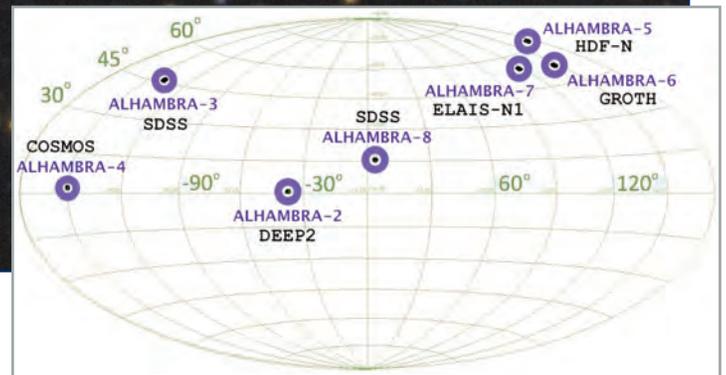
Las características de ALHAMBRA lo convierten en la mejor herramienta disponible para conocer la historia reciente del universo. Esta primera publicación de datos, denominada *ALHAMBRA-gold*, contiene cien mil galaxias, veinte mil estrellas y mil posibles núcleos activos de galaxias

► El pasado mes de junio se hacía pública la primera muestra de datos del *ALHAMBRA survey*, el mejor catálogo desarrollado hasta la fecha para el estudio de la evolución del cosmos. Un artículo, encabezado por los investigadores del IAA Alberto Molino y Txitxo Benítez, ponía a disposición de la comunidad científica los datos de un total de cien mil galaxias, veinte mil estrellas del halo galáctico y mil posibles núcleos activos de galaxias distribuidas en ocho regiones del cielo, que permitirán estudiar la evolución del universo durante los últimos diez mil millones de años con una fiabilidad estadística sin precedentes. "La gran fortaleza de ALHAMBRA,

que lo convierte en un sondeo a día de hoy imbatible, reside en el estudio en detalle de ocho regiones profundas del cielo. Esto nos permite asegurarnos de que disponemos de una muestra representativa y de que cualquier conclusión que extraigamos de ella puede aplicarse a todo el universo", destaca Alberto Molino, investigador del IAA que ha liderado esta primera publicación de datos.

En la actualidad, los astrónomos disponen de sondeos de gran área y poca profundidad o de muestras muy profundas del cielo pero que solo contemplan una única y reducida región, lo que no tiene en cuenta lo que se conoce como varianza cósmica, derivada del hecho de que el universo presenta regiones más y menos densas de galaxias.

"En este sentido, el proyecto ALHAMBRA ha permitido confirmar que el muestreo COSMOS, uno de los más empleados en estudios cosmológicos, no resulta representativo de cómo se distribuyen las galaxias en el universo porque su área se limita a una zona con sobredensidad de galaxias con respecto a la media; la proximidad produce que las galaxias evo-



lucionen más rápido, de modo que los estudios evolutivos generados con COSMOS tienen un carácter local", apunta Alberto Molino (IAA-CSIC).

El proyecto ALHAMBRA

El proyecto ALHAMBRA, cuyo nombre responde a las siglas en inglés *Advanced Large, Homogeneous Area Medium Band Redshift Astronomical survey*, dispone de un sistema de veinte filtros que cubren todas las longitudes de onda del óptico y de tres filtros en el infrarrojo, lo que permite determinar con gran precisión la energía emitida por las galaxias y la distancia de medio millón de galaxias con una profundidad sin precedentes para el tamaño de la muestra.

Esta primera publicación de datos constituye en torno a una quinta parte de los datos que ALHAMBRA suministrará a la comunidad internacional, lo que lo convertirá no solo en un proyecto de referencia en el estudio de las propiedades de las galaxias, sino que además servirá de propulsor para

De fondo, ALHAMBRA Survey.

Procesado: V. Peris. Debajo, regiones del sondeo ALHAMBRA sobre las que se han publicado datos, que amplían la información disponible a través de otros muestreos, como COSMOS o SDSS.

las futuras generaciones de cartografiados fotométricos como JPAS (proyecto español que extenderá el trabajo de ALHAMBRA a todo el cielo).

ALHAMBRA es un proyecto liderado por Mariano Moles (Centro de Estudios de Física del Cosmos de Aragón), en el que participan más de setenta científicos de dieciséis instituciones de diferentes países. Se ha desarrollado en su totalidad desde el Observatorio de Calar Alto, a lo largo de trescientas cincuenta noches del telescopio de 3,5 metros entre los años 2005 y 2012 (tiempo garantizado español). Calar Alto ha demostrado ser una instalación de características privilegiadas para llevar a cabo estudios de primera línea como estos.

Silbia López de Lacalle (IAA)



Un nuevo tipo de estrella variable

► Cuando se mide la luz procedente de las estrellas con el fin de buscar variaciones de brillo se pueden obtener resultados inesperados muy interesantes. Para mí, este hecho constituye unos de los principales atractivos al observar el cielo nocturno. Este es el caso de un equipo de astrónomos del Observatorio de Ginebra que, buscando estrellas variables en el cúmulo estelar abierto NGC 3766, se encontraron con una sorpresa. Este cúmulo, formado por estrellas que nacieron hace unos veinte millones de años y que tienen la misma composición química, fue observado durante siete años desde el hemisferio Sur. Para ello utilizaron el telescopio óptico Euler de tan solo 1,2 metros de diámetro situado en el Observatorio de La Silla (Chile). La abundante población de estrellas de este cúmulo les permitió obtener curvas de luz (medidas regulares de brillo) de aproximadamente dos mil quinientas estrellas. Los resultados fueron asombrosos: ciento cincuenta y nueve estrellas resultaron ser estrellas variables periódicas, de las cuales treinta y seis (un 20%) mostraban unas pequeñísimas variaciones regulares en el brillo aparente de la estrella por debajo de las cinco milésimas de magnitud con un periodo

Observaciones del cúmulo NGC 3766 han desvelado la existencia de tipo de estrellas con una variabilidad que no encaja con las estrellas variables catalogadas hoy día

entre dos y diecisiete horas. Esta variabilidad no se correspondía con ningún tipo de estrellas variables conocido hasta la fecha. Y esto nos lleva a hacernos varias preguntas: ¿A qué se debe esta variabilidad? ¿Cómo es posible que no las hayamos observado antes y que, de pronto, nos encontremos tantas estrellas con este comportamiento en un mismo cúmulo?

La variabilidad estelar

Vayamos poco a poco. Los astrónomos clasificamos las estrellas variables en dos grupos bien diferenciados e importantes: el de las variables extrínsecas, cuya variabilidad es debida a causas externas como los eclipses o manchas en su superficie, y el de las variables intrínsecas, cuya variabilidad, como su mismo nombre

indica, está causada por fenómenos que ocurren en su interior. En este último grupo encontramos las variables pulsantes, llamadas así porque el radio se expande y se contrae cambiando su brillo aparente con el tiempo. Las variables pulsantes no pulsan de la misma forma, es decir, los periodos y sus amplitudes (diferencias en el brillo) de pulsación no son los mismos ya que el mecanismo responsable que los produce es diferente. Hasta la fecha, se ha descubierto un abanico de estrellas pulsantes donde se combina el periodo de pulsación con el tamaño de la amplitud, además de la temperatura y luminosidad de la estrella. Estas propiedades u observables, que son medidos gracias a nuestros telescopios situados en Tierra o en satélites espaciales, nos permiten realizar modelos teóricos para intentar conocer cómo funciona el interior estelar.

Otros casos documentados

Para detectarlas se necesitan unas medidas fotométricas muy precisas, además de periodos de observación muy largos. Investigando en el pasado, este tipo de variación ya había sido observada en los años 50 en estrellas tan conocidas y brillantes como Maia de Pléyades o la estrella

El cúmulo estelar abierto NGC 3766. Fuente: ESO.

Pherkad (γ) de la Osa Menor. El escaso número de variables detectadas, junto con unos modelos teóricos que no predecían la existencia de pulsación en un determinado rango de temperaturas y luminosidad, no ayudó mucho a continuar investigando. Más tarde, en los 90, la estrella azul HD 121190, clasificada en un principio como una estrella B de pulsación lenta o SPB (*Slowing Pulsating B star*), que presentaba un periodo corto de unas nueve horas y una variación de su brillo prácticamente indetectable, dio pie a varios trabajos muy interesantes. La explicación más aceptada fue que la pulsación era provocada por la alta rotación de la estrella.

Recientemente, gracias a las misiones espaciales para el estudio de estrellas variables y búsqueda de planetas, CoRoT y Kepler, que proporcionan medidas muy precisas para detectar variaciones muy pequeñas en el brillo de las estrellas, ha aumentado el número de estas variables "raras", pero no se ha aportado mucha claridad al porqué de su comportamiento. Aunque son muchos aquellos que piensan que la rotación juega un papel esencial en la excitación de la estrella, el origen no pulsante de estas estrellas, por supuesto, no puede descartarse. Algunas pueden ser binarias de contacto o puede ocurrir que la variabilidad se deba a manchas estelares en la superficie, a pesar de que una de las condiciones para que estas se produzcan es que exista una capa convectiva en la estrella. Pero, independientemente que sean pulsaciones o no, estas estrellas necesitan urgentemente un nombre ya que no encajan en ningún tipo de variables ya conocidas.

Esta noticia me alegra porque muestra que en el campo de la variabilidad estelar no todo está descubierto y que los telescopios pequeños aún siguen teniendo un papel fundamental en la era de los grandes telescopios.

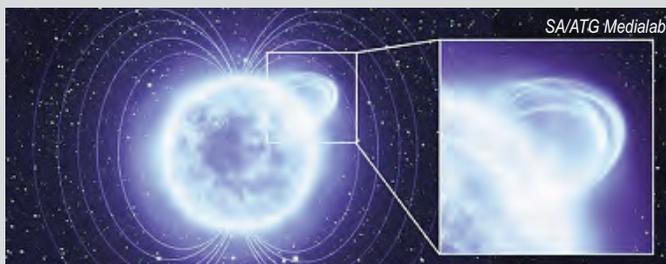
Susana Martín Ruiz (IAA)

EN BREVE:

Un magnetar con un intenso campo magnético oculto

► Los magnetares son estrellas de neutrones -el producto del colapso de una estrella masiva en una explosión de supernova- que muestran unos campos magnéticos particularmente intensos. SGR 0418+5729, detectado en 2009, se catalogó como un magnetar débil ya que, según un seguimiento de su rotación a lo largo de tres años, su campo magnético era unas cien veces menos intenso que la media en estos objetos.

Sin embargo, una nueva técnica ha desvelado que SGR 0418 presenta en realidad "un campo magnético súper intenso, que puede alcanzar los 10^{15} gauss en algunas regiones", según uno de los investigadores responsables del hallazgo. La nueva técnica consiste en buscar variaciones en la emisión de rayos X durante periodos muy cortos de tiempo, lo que permite analizar la intensidad del campo magnético en mayor detalle. Así se han hallado regiones muy magnetizadas, en cierto modo similares a las manchas solares, que concentran gran cantidad de energía magnética en regiones pequeñas.



Aficionados españoles obtienen las mejores imágenes del círculo polar ártico desde la estratosfera

► Un grupo de aficionados españoles perteneciente al Proyecto Daedalus (Asociación Astrolnova) ha desarrollado un proyecto de toma de imágenes y grabación de vídeo desde la estratosfera alrededor del círculo polar ártico. El equipo diseñó y construyó IRIS (*Image Recording for Sunrise*), una cámara que viajó a bordo del segundo vuelo de Sunrise, una misión internacional en la que participa el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) y que estudia el Sol desde un globo estratosférico.

Las tres cámaras de IRIS han realizado una grabación en vídeo de todo el ascenso de Sunrise hasta los treinta y siete kilómetros de altura, incluyendo el primer apuntado del telescopio y la apertura de la cubierta protectora del espejo. Esta información ayudará a los investigadores a comprobar las condiciones en las que se desarrolla una misión de estas características. Asimismo permitirá analizar la dinámica de las diferentes capas de la atmósfera al atravesar alrededor de un 99% de la misma hasta alcanzar la altitud óptima para el trabajo del telescopio. <http://www.proyectodaedalus.com/>

ENTRE BASTIDORES

El proyecto de Presupuestos Generales del Estado presentado por el gobierno el pasado 30 de septiembre propone un aumento global de 70 millones de euros para I+D civil, que se concretan en una subida de 128 M€ en subvenciones (capítulos 1-7) y una disminución de 58 M€ en los capítulos 8 y 9 (préstamos). Aun reconociendo el esfuerzo que supone el aumento de 50 M€ de transferencias al CSIC y el incremento de 60 M€ en las partidas para el pago de las cuotas al CERN y otros organismos internacionales, no se puede olvidar que a mediados de 2013 el gobierno tuvo que aprobar una partida presupuestaria extra de 104 millones para poder hacer frente a las acuciantes necesidades del sector (situación de quiebra técnica del CSIC, imposibilidad de lanzar las convocatorias del Plan Estatal de Investigación, etc.). Previsiblemente, todavía será necesaria una segunda partida extra en las próximas semanas. Mientras, un número creciente de organismos se unen a la crisis de supervivencia: Universidades, CNIO, ESS-Bilbao...

Por ello, de no corregirse de modo sustantivo en el trámite parlamentario, el escenario presupuestario planteado situará a la

COMUNICADO ANTE EL COMIENZO DEL PROCESO DE APROBACIÓN DE LOS PRESUPUESTOS GENERALES DEL ESTADO 2014

COLECTIVO CARTA POR LA CIENCIA

I+D española en una situación económica incluso peor que en 2013, con una escasez de recursos que nos remonta casi una década atrás. Desafortunadamente, estos presupuestos no recogen ninguno de los puntos señalados por el colectivo Carta por la Ciencia como mínimos imprescindibles para evitar el colapso del sistema:

- No hay un aumento presupuestario significativo en los capítulos 1-7 que ha caído en 1900 millones desde 2009 y hasta un 31% los dos años de la actual legislatura.

- Sigue sin modificarse el límite del 10% a la tasa de reposición de personal, lo que teniendo en cuenta el contexto demográfico de las instituciones de I+D del país, está provocando una pérdida dramática de potencial humano e imposibilitando la inserción de los recursos mínimos necesarios para la continuidad del sistema.

- El Fondo Nacional sube apenas 11 millones de euros respecto al 2013, lo que nos sitúa en 2014 ante un panorama similar al del presente año en cuanto a las convocatorias del Plan Estatal de Investigación, tecnología e innovación (en el que a fecha de

hoy aún no han aparecido las convocatorias de proyectos de investigación).

- La Agencia Estatal para la Investigación recibe un tratamiento idéntico al de los PGE2013: el artículo 70 del proyecto de ley de PGE2014 copia exactamente el artículo 80 de la de 2013, omitiendo, eso sí, el párrafo referido al carácter científico e independiente de dicha Agencia. A fecha de hoy, la Agencia Estatal para la Investigación sigue sin existir.

Ante este panorama, los participantes del Colectivo Carta por la Ciencia, desde la responsabilidad y el compromiso, creemos que debemos continuar nuestra campaña de movilización en defensa de la I+D como uno de los motores esenciales del desarrollo.

CARTA POR LA CIENCIA:

<http://www.investigaciondigna.es/wordpress/firma>

NUEVA CARTA POR LA CIENCIA: SALVEMOS LA I+D+I EN ESPAÑA

<http://conimasmasihayfuturo.com/2013/05/21/nueva-carta-por-la-ciencia-salvemos-la-idi-en-espana/>

SALA limpia

por Miguel Abril (IAA)



la respuesta:

¿Cuál de estas tecnologías para el diseño de futuras naves espaciales NO es real?

- A. COHETES DE ANTIMATERIA
- B. NAVES DE IMPULSO POR IONES
- C. COHETES DE FLUJO INVERTIDO CON PROPULSIÓN FOTOMAGNÉTICA
- D. VEHÍCULOS DE DISTORSIÓN ESPACIO-TEMPORAL PROPULSADOS POR MATERIA EXÓTICA

La respuesta correcta es la C: no existe ni está prevista una tecnología de propulsión fotomagnética con flujo invertido. Al menos, eso creo, porque cada vez que me invento un nombre sale algún listillo que me manda un enlace a YouTube en el que aparece un tío de Wisconsin que ya lo ha hecho en su garaje. Lo cual demuestra que el poder tecnológico del ser humano es, al menos, mayor que mi imaginación para pensar tonterías. Esta vez, sin embargo, creo que no me van a pillar, porque este nombre me lo he inventado con mucho cuidado: si tuviera el flujo invertido, el cohete iría para atrás (...digo yo). Por sorprendente que parezca, las tecnologías que citan las otras tres respuestas sí que existen. Todos conocemos el poder de la antimateria propuesta como fuente de energía en la respuesta A gracias a

Ángeles y Demonios, esa mítica película basada en hechos reales (don Cosme, el cura de mi parroquia, también es paracaidista). Si esa fuente de energía pudiera dominarse sería, efectivamente, un fabuloso medio de propulsión para una nave interestelar. Desgraciadamente, el procedimiento para generar antimateria es extremadamente complejo, caro e ineficiente desde el punto de vista energético. Y no solo eso, sino que, aunque consiguiéramos la suficiente cantidad de antimateria como para propulsar un cohete, tendríamos que manipularla, y eso es aún más complicado. Incluso almacenarla es extremadamente complejo, ya que habría que utilizar contenedores especiales y mantenerla suspendida mediante campos magnéticos, porque en cuanto entrara en contacto con las paredes se aniquilaría con las partículas de materia ordinaria de estas libe-

rando cantidades ingentes de energía (ah, pero... ¿no era eso lo que queríamos? No: queríamos propulsar la nave, no hacerla saltar por los aires).

Mucho más factible es la posibilidad planteada en la respuesta B, las naves propulsadas por iones. La velocidad de un cohete depende de la velocidad de salida del chorro de gases. Los cohetes convencionales obtienen su velocidad de la energía química que contienen los enlaces de las moléculas de combustible, pero esta es muy limitada, incluso en los combustibles de alto rendimiento que se usan en aeronáutica y astronáutica. Sin embargo, usando campos electromagnéticos se podrían acelerar chorros de iones hasta grandes velocidades, mucho mayores que los chorros de gases producidos por los combustibles actuales.

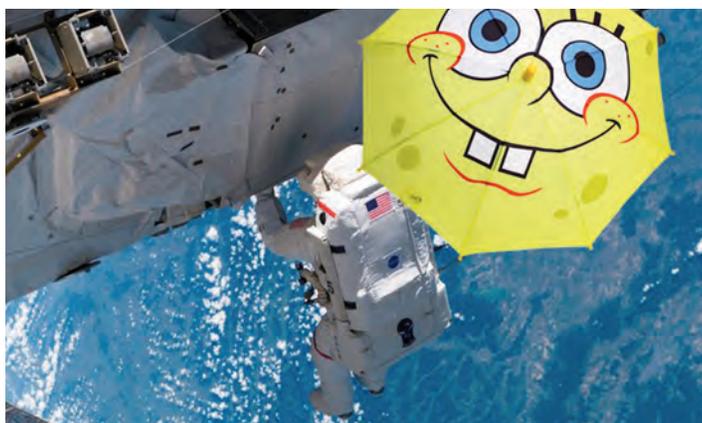
Ahora bien, la mayoría de las miles y miles de respuestas que he recibido en mi correo electrónico daban como buena (es decir, como tecnología imposible) la opción D. Pues bien, por extraño

que parezca el nombre (en realidad suele conocerse como "motor de curvatura"), la teoría dice que sería posible fabricar una nave que, ayudada por una materia que contraería el espacio-tiempo delante de ella y lo expandiría por detrás, podría alcanzar en poco tiempo cualquier punto del espacio sin desplazarse realmente. Esta materia es la que se denomina "materia exótica", aunque es exótica en plan de "esto es rarísimo" y no de "pero qué a gusto voy a estar allí", como sugería el dibujo. Un pequeño problema que plantea este sistema de propulsión es, precisamente, esa materia exótica, ya que se trataría de materia repulsiva y las opciones de conseguirla remiten a la física cuántica... ¿Más información? Precisamente en el número anterior, el mismo en el que planteaba esta pregunta, nuestro compañero Carlos Barceló lo explicaba de forma mucho más rigurosa y correcta de lo que podría hacerlo yo. Si no empezaraís por el final, buscando el crucigrama...

la pregunta:

Muy bien, pues imaginemos que conseguimos una nave de esas y nos vamos al espacio. Rayos cósmicos, partículas de polvo interestelar, basura espacial, fotones de alta energía... El espacio es un entorno de lo más desagradable. Sin la protección que nos proporcionan nuestra acogedora atmósfera y el campo magnético terrestre, todo allí arriba es una amenaza, que en poco tiempo puede dejar una nave espacial como

un escurridor de espaguetis. Y, si la nave es tripulada, las elevadas dosis de radiación recibidas por los astronautas pueden causar además cáncer y otras enfermedades, lo cual, para qué nos vamos a engañar, no tiene ninguna gracia. Teniendo en cuenta que los efectos de las radiaciones son acumulativos, esto cobra especial importancia en viajes largos, como los que serían necesarios para alcanzar cualquier cuerpo más allá de la Luna dentro de nuestro Sistema Solar. Y no digamos ya si algún



Un astronauta en labores de mantenimiento de la Estación Espacial Internacional usa un sistema de protección antirradiación y antipartículas.

día la tecnología nos permite aventurarnos aún más lejos.

La pregunta de este número va precisamente de eso: ¿cómo se protegen los equipos, tripulaciones y naves que se

lanzan al espacio? Como siempre, van cuatro opciones, una de las cuales es mentira. Aparte de la opción falsa, también me he inventado los cuatro nombres (hoy estoy que me salgo):

RESPUESTAS

- A) PROTECCIÓN ESTADÍSTICA: SE LANZAN MILES DE MININAVES Y ALGUNA LLEGARÁ.
- B) PROTECCIÓN DEMOCRÁTICA: SE ESCRIBEN LOS DATOS VARIAS VECES Y SE LE HACE CASO A LA MAYORÍA.

- C) PROTECCIÓN CHANTILLY: SE CUBRE LA NAVE O EQUIPOS CON UNA ESPUMA DE POLIPROPILENO ESPACIAL INYECTADO, DE CONSISTENCIA SIMILAR AL MERENGUE.
- D) PROTECCIÓN DEFLECTORA DE INSPIRACIÓN GEOMAGNÉTICA: PUES ESO.

Ya sabéis, mandad vuestras respuestas a mabril@iaa.es. Este mes sorteamos entre los acertantes una plaza de funcionario con sistema de protección antigelaciones de soldo.

LA ATMÓSFERA TERRESTRE

Pilares científicos

Puede sonar a tópico, pero los principales avances logrados en las últimas décadas sobre la atmósfera terrestre, incluido el estudio del cambio climático, han venido de la mano, por un lado, de un importante aumento del número y de la calidad de las observaciones (así como de análisis rigurosos) y, por otro, de la mejora de los modelos numéricos. Respecto a las observaciones, han aumentado considerablemente las medidas de los parámetros atmosféricos con una mayor extensión a lo largo del globo (instrumentación en satélites) así como en altura, alcanzando la atmósfera media. En la última década hemos vivido una época dorada de observación de la atmósfera con varias misiones espaciales (Envisat, TIMED, Sci-Sat, Aura, etc), que nos han suministrado datos globales durante más de un ciclo solar (once años). En cuanto a los modelos, el mayor avance procede de entender el sistema climático como un todo. Así, el acoplamiento de los modelos atmosféricos con los océanos y con la superficie ha sido crucial para mejorar los modelos climáticos. A ello ha contribuido también la mejora de los modelos oceánicos, que incluyen procesos biológicos. Por otra parte, la creación de modelos globales que acoplan las distintas capas de la atmósfera, principalmente la baja (troposfera)

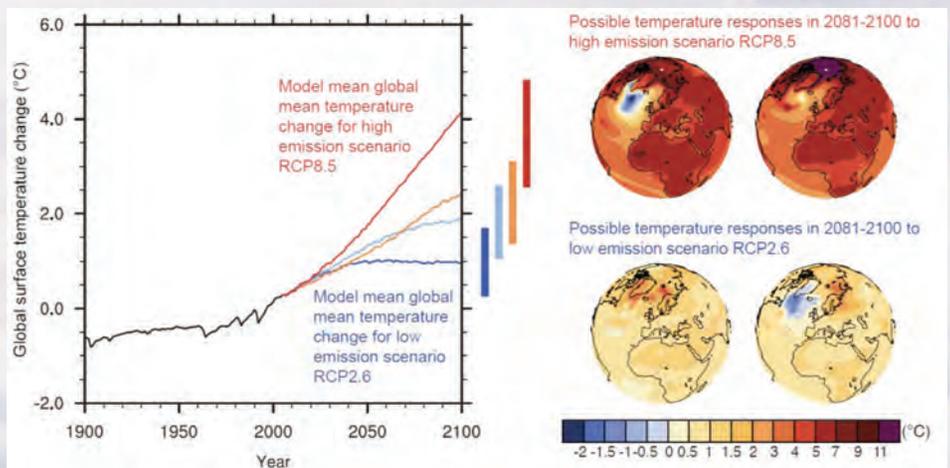
con la media y alta atmósfera (estratosfera + mesosfera, y termosfera) ha permitido entender mejor las observaciones y, por tanto, las interacciones entre las distintas capas.

Realizado este análisis global, podemos citar algunos aspectos muy sobresalientes. Quizás el resultado más importante ha sido la capacidad de los modelos climáticos de reproducir el aumento de la temperatura de la superficie en la era industrial y atribuirlo, sin ninguna duda, a la actividad humana, como muestra el reciente informe del IPCC.

Por otra parte, aunque no de forma tan rotunda por ser un periodo aún corto y debido a la gran variabilidad atmosférica,

parece que vemos indicios de la recuperación del agujero de ozono y, por ende, del fruto del protocolo de Montreal y subsiguientes. Como muestra de dicha dificultad/variabilidad podemos mencionar que, a pesar de esa incipiente recuperación, en el invierno de 2011 se registraron valores mínimos casi récord en el hemisferio Norte.

Otro avance muy importante conseguido en los últimos veinte años reside en la mayor fiabilidad de la predicción del tiempo a medio plazo (una semana), aumentándola en dos días (es decir, el nivel de confianza de la predicción que antes teníamos a cinco días ahora la podemos hacer a siete).



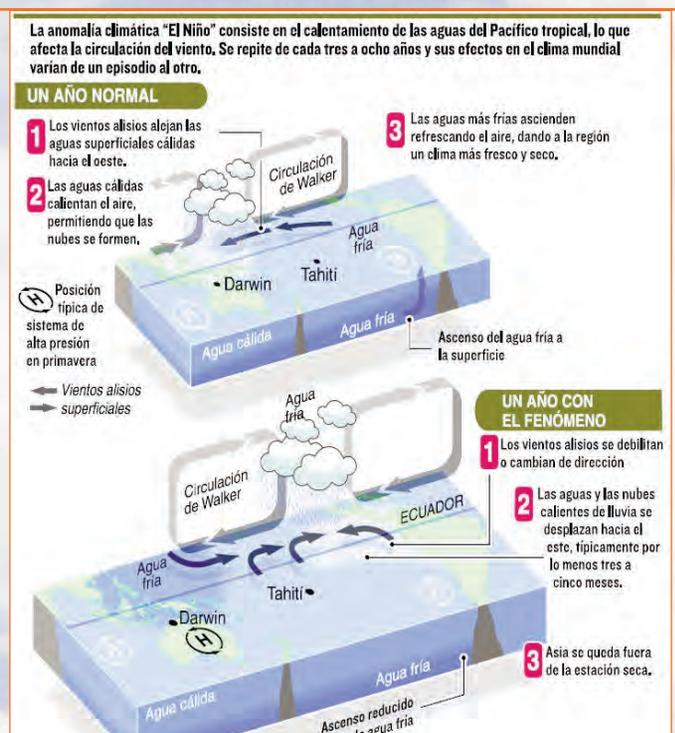
Temperatura media global estimada en virtud de los diferentes escenarios planteados en el último informe del IPCC. <http://www.climatechange2013.org/>

Incertidumbres

Tras la demostración incuestionable de que el cambio climático (y en particular el aumento de la temperatura en la superficie) ha sido generado en gran parte por la actividad humana, el principal reto planteado ahora es saber a qué ritmo evolucionará. Baste comentar que tras los veinticinco años que lleva el IPCC actuando, los rangos de incertidumbre del aumento de la temperatura o de la subida del nivel del mar prácticamente no han cambiado y siguen siendo muy (demasiado) amplios. En esta perspectiva general, la mayor incertidumbre se halla quizás en la subida del nivel del mar, principalmente porque no se conocen bien todos los procesos que controlan este fenómeno. En concreto, la mayor incertidumbre proviene del deshielo de Groenlandia y de la Antártida.

Otra de las mayores incertidumbres reside en la intensidad y frecuencia de fenómenos meteorológicos extremos (inundaciones, sequías, etc.). Sabemos que estos episodios están cobrando más fuerza con el cambio climático pero desconocemos su proyección. De igual forma, conocer cuáles son los efectos del cambio climático a escala regional constituye otro gran desafío. Las predicciones actuales no son creíbles y una mejora en este campo resulta crucial.

En cuanto a qué procesos controlan el cambio climático, actual-



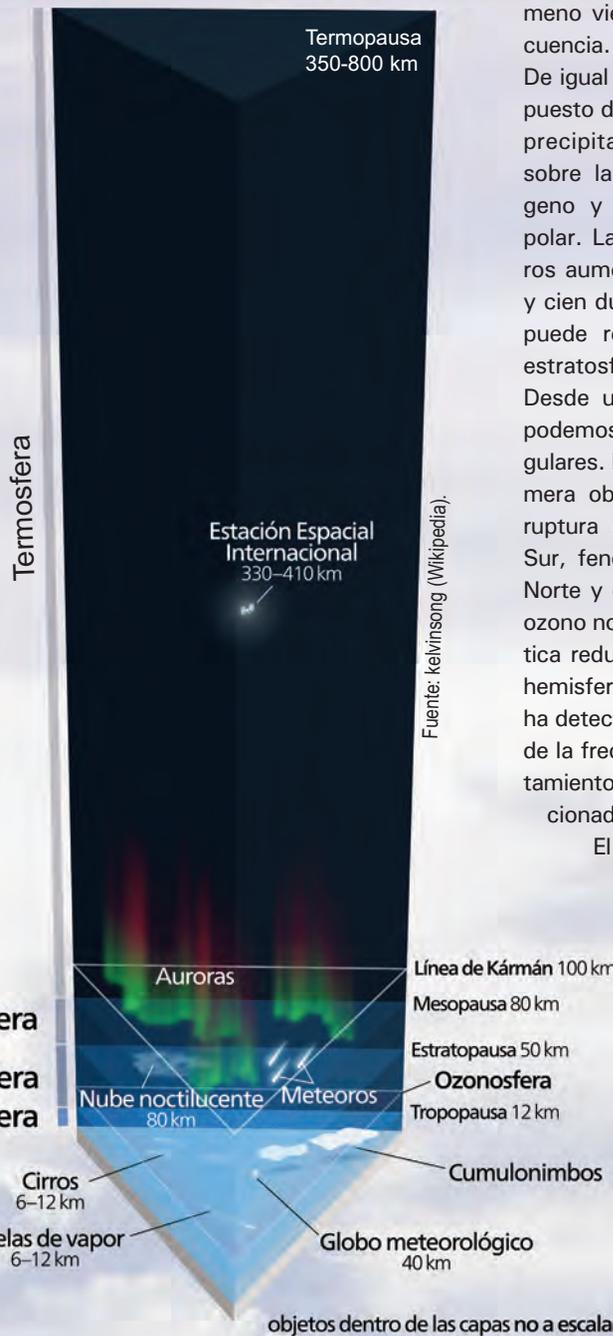
Infografía del fenómeno "El Niño". Fuente: La Prensa (Panamá).

Otra gran parte de los avances logrados son consecuencia de la mejora substancial del acoplamiento vertical de las distintas capas atmosféricas. Así, se ha demostrado cómo el agujero de ozono de la estratosfera afecta al clima de la Antártida, o cómo las predicciones de modelos atmosféricos globales, que acoplan la baja y media atmósfera, explican mejor los patrones de precipitaciones que aquellos que no lo hacen. También se ha mostrado el importante papel que juega el vapor de agua de la estratosfera sobre el clima o cómo la dinámica de la estratosfera afecta al clima de la troposfera en las regiones polares.

Este acoplamiento también se manifiesta entre las capas más altas: la variabilidad dinámica de las capas inferiores (troposfera y estratosfera), donde en los últimos doce años se han producido cinco calentamientos súbitos de la estratosfera de gran magnitud, es la principal fuente de variabilidad de la termosfera. Este es uno de los principales hechos observados recientemente: la estratosfera se halla normalmente situada a una altura de entre cuarenta y cinco y cincuenta kilómetros, pero en el invierno polar del hemisferio Norte la estratosfera sube después de estos eventos hasta los ochenta kilómetros y tarda en descender varias semanas. Además, este fenó-

mente el más desconocido es el papel de los aerosoles, tanto por la incertidumbre de sus fuentes y precursores como por sus efectos indirectos a través de las nubes. Como pone de manifiesto el reciente informe del IPCC, de entre todos los elementos que inducen el cambio climático, este tiene el mayor rango de incertidumbre.

La ausencia de planes de observaciones de la media y alta atmósfera a medio y largo plazo supone un serio revés para poder entender la variabilidad/tendencia de muchos de estos fenómenos. Todos los esfuerzos observacionales previstos están centrados en la baja atmósfera (observaciones en nadir, columnas de abundancias), pero no hay prevista ninguna misión para medir perfiles de temperatura y compuestos extendidos a toda la atmósfera.



Fuente: kelvinsong (Wikipedia).

meno viene ocurriendo con bastante frecuencia.

De igual forma, en la última década se ha puesto de manifiesto la importancia de las precipitaciones de partículas solares sobre la composición (óxidos del nitrógeno y ozono) en la atmósfera media polar. Las concentraciones de los primeros aumentan en un factor de entre diez y cien durante dichos eventos y el ozono puede reducirse a la mitad en la alta estratosfera polar.

Desde un punto de vista observacional podemos citar algunos ejemplos muy singulares. Por ejemplo, se ha obtenido la primera observación en la historia de una ruptura del vórtice polar del hemisferio Sur, fenómeno habitual en el hemisferio Norte y que da lugar a que el agujero de ozono no se forme, o la inesperada y drástica reducción de la cubierta de hielo del hemisferio Norte en verano. También se ha detectado una pronunciada variabilidad de la frecuencia e intensidad de los calentamientos súbitos de la estratosfera mencionados, así como de la Oscilación Sur

El Niño/La Niña, con un pronunciado El Niño seguido de una larga serie de eventos de La Niña. Más recientemente, se ha documentado una pausa en el aumento de la temperatura global de superficie en los últimos diez años.

el océano profundo y su relación con la variabilidad de El Niño/La Niña. En este sentido, la medida del contenido de calor del océano profundo a escala global es uno de los principales retos en la investigación del cambio climático.

Para resolver todos esos retos, las herramientas necesarias son las mismas que las empleadas hasta ahora. Desde un punto de vista observacional, el desarrollo de un sistema de observación global para monitorizar los parámetros del sistema Tierra relativos a cambio climático, a los recursos hídricos y a la calidad del aire. En cuanto a simulaciones, la mejora de los modelos climáticos existentes con la inclusión de nuevos procesos y la mejora de los ya incluidos parecen indicar el camino a seguir.

AGENDA

<http://www.divulgacion.iaa.es/ciclo-lucas-lara>

CONFERENCIAS DE DIVULGACIÓN EN EL IAA. CICLO LUCAS LARA

28 nov	Joaquín Marro (UGR)	El curioso caso de la complejidad en ciencia
19 dic	Martín Guerrero Roncel (IAA)	Nebulosas planetarias

LAS CONFERENCIAS SE RETRANSMITEN A TRAVÉS DE INTERNET EN WWW.SONOVOZ.COM, DESDE DONDE TAMBIÉN PUEDEN DESCARGARSE SESIONES ANTERIORES



HOMENAJE

¡HASTA SIEMPRE MANU!

Nos dejó Manuel Félix. Cuando apenas había iniciado su andadura en este difícil y cada vez más complejo mundo de la investigación, su vida fue arrancada sin la menor contemplación. Y fue precisamente haciendo el papel que a él más le gustaba, el de actor, y no mero espectador frente al misterio de la naturaleza que le rodeaba. Manu inició su corta singladura investigadora en el campo de los objetos TransNeptunianos. En esta primera etapa Manu consiguió, gracias a su motivación, tesón y rigurosidad, resultados muy relevantes y el germen de lo que sería (y será) su primer artículo.



Apenas le dio tiempo a sumergirse en su tema de Tesis Doctoral, el mundo de las atmósferas de los exo-planetas. Manu amaba la Física, y este campo en concreto siempre le fascinó. Tales eran su determinación, entusiasmo e ilusión, que indefectiblemente arrastró al Departamento de Sistema Solar a emprender esta nueva línea de investigación.

En su corto tiempo de convivencia ya nos dejó firmes rastros de su contagiosa alegría y vitalidad. Se nos escapó una gran persona y de gran talento cuando apenas habíamos empezado a conocerlo. La vida apenas le dejó el tiempo justo para que apreciáramos su valía, actitud y generosidad. Se le fue cuando más le sonreía.

Tus amigos y compañeros del IAA

RECOMENDADOS

DIVULGACIÓN IAA

<http://radioscopio.iaa.es>

El Radioscopio es un programa de divulgación científica realizado y producido desde Canal Sur Radio en colaboración con el Instituto de Astrofísica de Andalucía. Presentado y dirigido por Susana Escudero (RTVA) y Emilio J. García (IAA), este programa aborda la divulgación de la ciencia con humor y desde una perspectiva original y rigurosa.



<http://henrietta.iaa.es>

¿Cómo divulgaría ciencia un personaje histórico si dispusiera de las herramientas con las que contamos hoy día? Esta pregunta se halla en la base del un proyecto de divulgación del IAA que protagonizan Nikola Tesla y Henrietta Leavitt. Ya están disponibles todos los vídeos de Tesla en teslablog.iaa.es y casi toda la serie de Henrietta.

EL UNIVERSO EN UN DÍA

La plataforma de divulgación Naukas organizó el evento "El universo en un día", que tuvo lugar en el Paraninfo de la Universidad del País Vasco en Bilbao y que realizó un recorrido por los 13.700 millones de años de nuestro universo en un solo día. Todas las sesiones están disponibles a través de internet.

<http://naukas.com/categorias/eventos/universo-en-un-dia/>

CHARLAS DIVULGATIVAS PARA COLEGIOS

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 Emilio J. García (Tel.: 958 12 13 11; e-mail: garcia@iaa.es).

