

ARGENTINA EN EL ESPACIO

ENERGÍA SOLAR PARA LA MISIÓN SAC-D/AQUARIUS



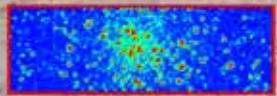
PEQUEÑECES, PARTE II

HISTORIA DE LA FÍSICA DE PARTÍCULAS ELEMENTALES



EVOLUCIÓN ESTELAR

ETAPAS FINALES EN EL PROCESO EVOLUTIVO DE LAS ESTRELLAS



CÚMULOS

CÚMULOS VIEJOS EN LA NUBE MENOR DE MAGALLANES



M8 - Nebulosa de la Laguna
por Pablo Cirielli
Exposicion: 1hs 20min



EDITORIAL

El 22 de diciembre de 2012 se realizó un homenaje en memoria del presidente de la Asociación Arq. Roberto Mackintosh. Fue un gran amigo y una persona muy importante para esta institución por su entrega en todas las áreas del observatorio y por haber impulsado muchos proyectos, los cuales intentamos poder concretarlos desde Comisión Directiva. En mi caso personal, Roberto no dejó nunca de ayudarme desde que le dije mi interés por hacerme cargo de la revista (ni dejó de perseguirme cuando me atrasaba) y gracias a él se pudieron publicar los números anteriores. En la página siguiente, el consocio Claudio Pietrasanta escribió un artículo para recordarlo.

En el tiempo transcurrido desde el último número de la Revista Astronómica (además de haber sobrevivido a las predicciones que los noticieros y los documentales formularon para el solsticio de verano pasado) tuvimos el privilegio de ver el lanzamiento del SAC-D / Aquarius junto al socio Hernan Socolovsky que participó desde la CNEA en la construcción de los paneles solares para el satélite. Él mismo viajó al lugar de lanzamiento para su ensamblaje y pruebas; en esta edición contamos con un artículo en el que detalla la experiencia.

No puedo dejar de agradecer a todos los que colaboraron con su tiempo y conocimiento para el armado de este número, que están nombrados a la derecha de esta editorial. Tampoco puedo evitar mencionar la tarea de Ezequiel Koile que, además de haberse hecho tiempo en el medio de su investigación de doctorado para poder escribir la segunda parte de la historia de la física de partículas, debió modificarla a medida que la salida de esta revista se fue atrasando ya que fueron descubriendo nuevas partículas y surgieron dudas de predicciones anteriores. Asimismo lo hizo Adrián Bogao, que se mantiene como un gran colaborador y siempre está dispuesto a preparar un artículo.

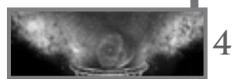
En la última página de la revista se encuentra el diario de fenómenos astronómicos para todo 2013, que incluye: conjunciones, la Luna (perigeo, apogeo, fases y máximas declinaciones), eclipses de Sol y Luna, tránsitos de Mercurio y Venus, oposiciones y conjunción solar de los planetas, mínima distancia de Marte y máximas elongaciones de Mercurio y Venus, entre otros datos.

Al momento de cerrar este número de la revista se encuentra en fase de pruebas la campana de vacío construida por los socios, se está por concretar la instalación de paneles solares en el observatorio y se están tomando mediciones de ocultaciones, entre otros proyectos que estarán presentes en el próximo número. Esperamos que disfruten de esta publicación en su año número 84 y que nos ayuden a mejorar ésta que es la revista de todos los Amigos de la Astronomía.

Nahuel M. Srnec

ROBERTO MACKINTOSH

Despidiendo a un amigo



4

PEQUEÑECES: 2ª ENTREGA

Historia de la física de partículas elementales



6

EL CLIMA EN LA A.A.A.A.

La Estación Meteorológica Automática



15

PÓSTER CENTRAL

Fotografía Astronómica desde el Leoncito



18

ARGENTINA EN EL ESPACIO

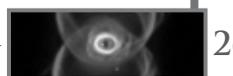
Energía solar para la misión SAC-D / Aquarius



20

EVOLUCIÓN ESTELAR

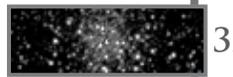
Etapas finales en el proceso evolutivo de las estrellas



26

CÚMULOS

Cúmulos viejos en la nube menor de Magallanes



32

EFEMÉRIDES

Diario de fenómenos astronómicos para el 2013



34

FOTO DE TAPA

Uno de los paneles solares del SAC-D en el laboratorio de integración de paneles solares en el Centro Atómico Constituyentes (CNEA) a su lado, el consocio Hernán Socolovsky.



FUNDADOR Carlos Cardalda

DIRECTOR

Carlos E. Angueira Vázquez

DIRECTOR PERIODÍSTICO

Y DIAGRAMACIÓN

Nahuel Matías Srnec

COLABORADORES

Adrián Bogao
Hernan Socolovsky
Santiago Labollita
Pablo Cirielli

Ezequiel Koile
Andrés Piatti
Hernan Palmisciano
Mónica Williman

Claudio Pietrasanta
Diego Sassone
Inés Simone
Edgardo Perea

Órgano de la Asociación Argentina "Amigos de la Astronomía".

Entidad sin fines de lucro con personería jurídica por decreto Mayo 12 de 1937, inscripta con el número c/1812. Incluida en el Registro Nacional de Entidades de Bien Público con el número 6124.

REVISTA ASTRONÓMICA es propiedad de la Asociación Argentina Amigos de la Astronomía.

REVISTA ASTRONÓMICA es marca registrada de la A.A.A.A.

Av. Patricias Argentinas 550. (C1405BWS)

Ciudad Autónoma de Buenos Aires - Argentina.

e-mail: info@amigosdelaastronomia.org

TE: (0054 011) 4863-3366

Sitio web: http://www.amigosdelaastronomia.org

AG ISSN: 0044-9253

Registro Nacional de la Propiedad Intelectual: 797732

Comisión Directiva de la A.A.A.A.:

Presidente: (Vice-presidente en ejercicio de sus funciones) Carlos Angueira Vazquez

Vicepresidente: (Vocal titular en ejercicio de sus funciones) Luis Manterola

Secretario: Matías Jones

Pro-secretario: Mónica Williman

Tesorero: Enrique Dios

Pro-tesorero: Edgardo Perea

Vocales Titulares: Martín Monteverde, (vocal suplente en ejercicio de sus funciones) Ezequiel koile, Mónica Konishi, Nahuel Srnec, Claudio Pietrasanta, Ariel Kachuka

Vocales Suplentes: Pablo Cirielli, Marcelo Frontalini.

Comisión revisora de cuentas: Sara Sarquise, Emiliano Rosso y Rodrigo Vazques.

A MÍ QUERIDO AMIGO

ESTE AÑO, A PESAR DE LOS LOGROS OBTENIDOS EN AMIGOS DE LA ASTRONOMÍA, TODO QUEDÓ OPACADO PARA MUCHOS DE NOSOTROS POR EL FALLECIMIENTO DE NUESTRO PRESIDENTE Y MUY QUERIDO AMIGO ROBERTO MACKINTOSH.

Es un poco amargo para mí tener que escribir esto, pero también siento que tengo que hacerlo. No hay que esperar aquí algo muy genérico de la gran obra de Roberto en nuestro observatorio, sino algo más bien íntimo, desde el punto de vista de la amistad que me unía a quien fuera Presidente de la A.A.A.A.

Vaya unas palabras de gratitud, para mi amigo del alma Roberto. Para comenzar me gustaría citar unas palabras del recordado Carl Sagan:

“todo niño comienza como un científico nato y después se lo sacamos a los golpes. Solo unos cuantos logran escabullirse del sistema con su capacidad de maravillarse por la ciencia intactas”.

Uno de los que se escapó fue Roberto, que después de muchos años dedicados a la astronomía, con cada foto que traíamos del campo en una buena noche, tenía una cara de felicidad indescriptible.

Con su experiencia haciendo astrometría y fotografías desde hacía años, no me puedo olvidar de la primera foto artística de espacio profundo (llamémosle así a la foto que no aporta datos a la ciencia sino que sirve para portadas e ilustraciones). No teníamos mucha experiencia al respecto; pero por suerte ya estaba Matías experimentado en el tema que nos dio una gran mano. Nos encontramos con todos los problemas que se puedan imaginar: el telescopio no estaba suficientemente bien colimado para las fotos, el viento, no teníamos corrector de coma, etc. Pusimos otro tubo que en ese momento nos presto Norberto y atamos el telescopio guía con cinta porque los agarres eran para el otro telescopio. Para colmo, yo me sentía pésimo y no daba mas, así que trataba de acostarme de ratos en la carpa. La verdad es que ayude poco esa noche. Era la época en la que todavía estábamos del otro lado de la tranquera en pleno campo, nos paramos todos al lado del telescopio para tapan el viento y, de repente, salió una buena. Fue una foto con coma en los bordes, pero respetable, y mucho peor de las que pudimos hacer después. Pero era la primera y la cara de Roberto era de total felicidad, algo que sería de esperarse mas en mí, que era nuevito en fotografía astronómica y no tanto en él, con

su basta experiencia. Ese era él, por sobre todas las cosas amaba esto y nunca dejo de hacerlo y asombrarse; por eso comencé con la cita de Carl Sagan.

Roberto jamás dudó en entregar todos sus conocimientos a quienes sentían su misma pasión. En particular a mí me enseñó muchísimo, con noches de insomnio de por medio ya sea colimando el telescopio como tratando de mejorar alguna cosa en la parte edilicia, hasta que llegamos a ser muy buenos amigos. Ante cualquier avance que se pudiera hacer para mejorar nuestra querida Asociación, él estaba para apoyar.

Juntos hicimos un buen equipo de fotografía: juntábamos la pasión de ambos con su sabiduría y meticulosidad que no permitía dejar nada librado al azar, con mi fuerza de hacer y tirar para adelante. Logramos buenas cosas, pero lo mejor fue el afecto mutuo: lo quise mucho y sé que él también a mí.

En los últimos tiempos traté de estar con él lo más que pude, y muy pocas veces le escuché una queja. Siempre estaba dándome consejos, tratando de hacer reuniones y decidir cosas para mejorar la institución.

Todavía me cuesta ir sin él al campo, a observar o sacar fotos. Creo que eso nos pasa a todos los que formamos el grupo de fotografía astronómica, que entre él y yo tratábamos de llevar adelante para que nadie se frustrase con los malos resultados del comienzo. No se si él estaba al tanto del desenlace de la cruel enfermedad que lo afecto, pero una de las cosas que me dijo al final, fue: “ayudalos a los chicos para que no se pinchen, no los dejes solos”; y eso es lo que lo pinta entero. Siempre estaba pensando en la Asociación o en la gente que sabía que tenía las mismas ganas que él por la astronomía.

Los recuerdos más gratos que tengo son de los momentos que pasamos en CASLEO, los fines de semana en Punta Indio, sacando fotos y disfrutando de nuestra actividad (fuera de lo frustrante que resultó el primer viaje a San Juan por razones de mal tiempo, la pasamos muy bien). Uno se da cuenta de eso cuanto la risa sale fácil y por cualquier motivo; riéndonos hasta que nos saltaban

las lágrimas. En los últimos años no recuerdo haberme reído tanto, pero tanto, como cuando estaba con Roberto.

Les dejo como muestra una copia del mail que nos mandó a quienes lo acompañamos en el segundo viaje al Leoncito:

“En un punto, ni los despejados, ni las fotos, cuentan mucho; sólo lo que vivimos juntos. Les agradezco lo bárbaro que me la hicieron pasar estos días.

*Abrazos,
Roberto.”*

Me permito poner en este texto un mensaje que nos llevo a la A.A.A.A. de parte de Alejandro Galli (con su permiso), que estuvo unido a Roberto por la misma pasión. Esta es tan solo una muestra de las afectuosas notas que nos mandaron al enterarse de la noticia:

“Desde el otro lado del charco he sacado un telescopio para mirar un poco de Cielo. Está algo nublado, pero da para ver alguna cosa. Y mientras lo hacía recordaba a Roberto...”

No les voy a dar mi pésame, porque yo también he sufrido una gran pérdida...

Lamento mucho todo lo que teníamos en mente hacer y la parca nos ha negado, pero quien sabe, con ustedes y con él en la memoria podamos ponernos de acuerdo y concretarlo.

Roberto no era Político ni jugador de fútbol, Actor ni cantante. Era científico... por eso su nombre no figurará en encabezados de la gran prensa, pero de todas maneras hoy los telescopios están de luto...”

La verdad es que no me fue fácil escribir sobre el tema y creo que la mejor forma de recordarlo es con una muestra de su trabajo sin pausa para hacer de esta Asociación un lugar cada día un poco mejor. Y esto lo podemos ver en cada rincón del edificio, en sus fotos, en los cuadros que colgó con sus propias manos, en las computadoras llenas de datos obtenidos en noches larguísimas sin descansar lo suficiente. Pero por sobre todas las cosas, su trabajo se ve en la gente a quien él le enseñó a amar la astronomía. Eso es lo mas importante: la gente que después del cimbronazo de la partida de Robert (cariñosamente) tratamos de seguir sus pasos, despacito, como se pueda, pero con él en el corazón.

Solo puedo decir gracias querido Roberto. Y cómo siempre te dije: flaco, te quiero mucho. 🏠

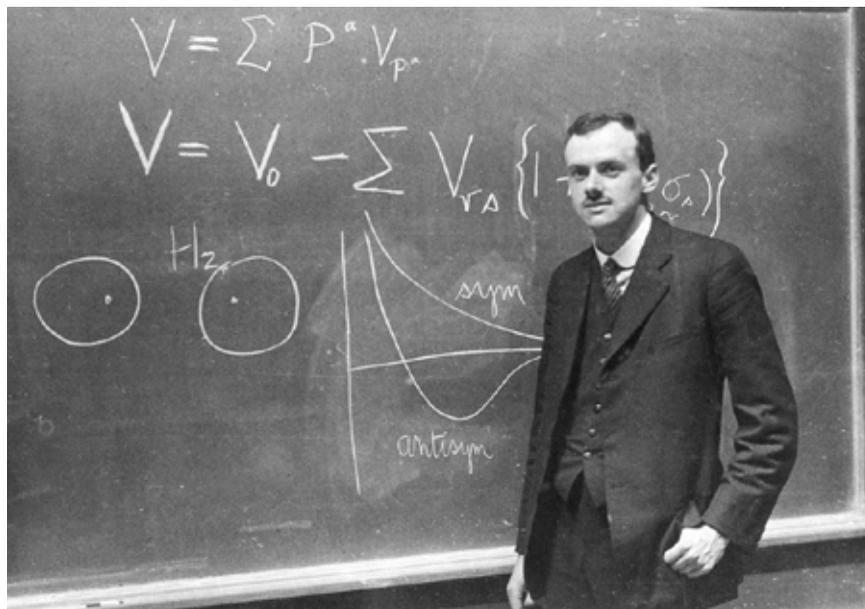
Claudio Pietrasanta
A.A.A.A.



Roberto Mackintosh y Claudio Pietrasanta en CASLEO

PEQUEÑECES: UNA BREVE HISTORIA DEL DESARROLLO DE LA FÍSICA DE PARTÍCULAS ELEMENTALES.

2^{DA} ENTREGA: CONJETURAS ANTI-PARTÍCULAS, ESQUIVOS NEUTRINOS, E INTERACCIONES FUNDAMENTALES



Paul Dirac

En el artículo anterior hemos hecho un brevísimo resumen de la concepción humana acerca de la estructura microscópica del Universo, desde la antigüedad hasta las primeras décadas del siglo XX. Vimos cómo evolucionó esta desde la discusión entre continuistas y atomistas en la Antigua Grecia hasta los inicios de la mecánica cuántica moderna. A partir de esta última, entendemos que todo lo que nos rodea, tanto la materia propiamente dicha como la luz visible y los demás tipos de radiación, pueden pensarse formados por “partículas” elementales o indivisibles. Veremos en el presente artículo cómo evolucionó esta idea durante la primera mitad del último siglo; caracterizado este por la inmensidad de nuevas partículas descubiertas.

¿SE ACABÓ LO QUE SE DABA?

La vez pasada habíamos llegado hasta el año 1927. Lo que teníamos era que la materia parecía estar formada por átomos. Cada uno de estos átomos no era indivisible, sino que estaba a su vez compuesto por un núcleo muy pequeño y denso, de carga eléctrica positiva y una nube de electrones, cargados estos negativamente.

Sobre la composición del núcleo mucho no se sabía a ciencia cierta, aunque ya en 1920 Rutherford había propuesto que este estaba formado por partículas con carga

positiva, unas 2000 veces más pesadas que los electrones, llamadas *protones* y partículas sin carga, de una masa muy similar a estas últimas, llamadas *neutrones* (figura 1). Si bien este modelo parecía explicar las masas y tamaños de los núcleos de átomos conocidos, los neutrones no ha-

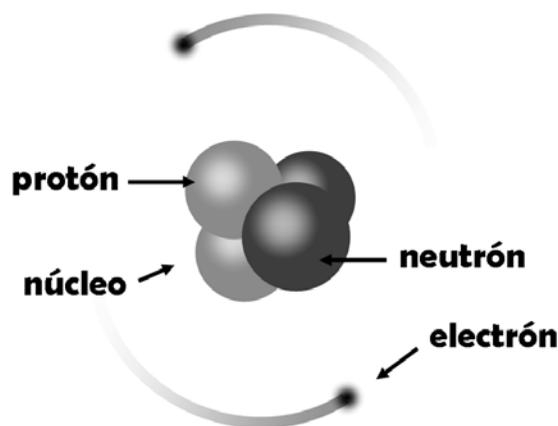


Figura 1: Modelo de átomo formado por protones, neutrones y electrones. Las dos primeras especies forman el núcleo mientras que los electrones se localizan en la periferia.

bían sido observados aún en ningún experimento.

Más allá de las complicaciones discutidas anteriormente, debidas a la interpretación de la naturaleza cuántica de estas partículas, este modelo era bastante sencillo. Por cada átomo tenemos un núcleo (formado por

protones y neutrones) y alrededor de este se encuentran los electrones. Con solamente tres partículas diferentes podía explicarse toda la materia, mientras que con una más, de similares propiedades pero sin masa -el fotón-, se explicaba la naturaleza de la luz.

DIRAC Y LAS ANTIPARTÍCULAS

Estamos en el año 1928. La mecánica cuántica moderna se rige por la ecuación de Schrödinger, que nos explica cómo se mueven e interactúan las partículas elementales¹. Sin embargo, aquí no se acaba la historia. Más allá de los detalles que todavía pudieran quedar pendientes (como la existencia o no de neutrones en el núcleo atómico) existía un problema de carácter más fundamental.

En 1905, como ya hemos mencionado, un joven estudiante de doctorado alemán llamado Albert Einstein postuló una idea bastante fuera de lo común para explicar el movimiento de los cuerpos cuando su velocidad es muy alta. La formulación de esta idea se conoce como *teoría de la relatividad especial* y es un cambio de concepción que desafía el sentido común, y se vuelve esencial para describir el movimiento de los cuerpos a gran velocidad (ver recuadro **No todo es relativo**). Si bien al principio esta teoría recibió fuertes críticas debido a lo poco natural que resultaba, ya para fines de los años 20 estaba lo suficientemente aceptada, tanto que su creador había recibido un premio Nobel².

Lo que sucedía era que, si bien la ecuación de Schrödinger servía para describir las partículas elementales moviéndose a velocidades “normales”, esta no podía aplicarse para velocidades altas (cercasas a la velocidad de la luz, que es de 300.000 kilómetros por segundo). Era en este terreno donde entraba en juego la relatividad especial, que no encajaba con la ecuación de Schrödinger. Se necesitaba, entonces, una ley para describir partículas cuánticas moviéndose a velocidades cercanas a la de la luz.

Es aquí cuando, el segundo día del año 1928, el británico Paul Adrien Maurice Dirac propone una ley que explicaría el movimiento a altas velocidades de las partículas cuánticas. Esta ley, llamada *ecuación de Dirac*, describía el movimiento de un electrón, y pretendía ser válida para cualquier velocidad que este pudiera tener^{3,4}.

Figura 2: Ecuación de Dirac.

En la historia de la física generalmente nos encontramos con teorías propuestas a partir de resultados experimentales. Un ejemplo de esto puede verse en el desarrollo de la mecánica cuántica expuesto en el artículo anterior: para pasar del modelo de Thompson (“budín de pasas”, un átomo distribuido, cargado positivamente con electrones de carga negativa insertos en él) al de Rutherford (un núcleo de carga positiva muy concentrado, con electrones girando en la periferia, muy distantes de este) hizo falta realizar experimentos. En estos se vio que al bombardear átomos con partículas más pequeñas, la mayoría se desviaban levemente mientras que muy pocas rebotaban como si chocaran contra una pared: esto inspiró la idea del núcleo central. En aquel caso la teoría (el modelo de Rutherford) se propuso para *explicar un fenómeno observado*.

Sin embargo, otras veces la idea parte de la inventiva completamente abstracta de su creador, como en la ecuación que ahora nos ocupa. Aquí, Dirac propuso una ecuación lo más *sencilla y matemáticamente bella* que tuviera algún sentido. Y decimos *algún sentido* porque Dirac eligió, al armar su ecuación, la simplicidad por sobre la correspondencia con la física conocida. ¿Qué queremos decir con esto? La ecuación de Dirac era matemáticamente consistente con la relatividad especial, con la mecánica cuántica y explicaba de manera satisfactoria el movimiento del electrón... pero eso no era todo. Para que esta ley fuera válida debía existir otro elemento en este juego. La ecuación tenía dos variables independientes: una describe la dinámica del electrón, mientras que la otra describe una especie de *electrón con energía negativa*. Es decir,

¹ Más allá de la dualidad onda-partícula mencionada en el artículo anterior, en adelante nos referiremos con el término *partícula* a la entidad cuántica fundamental que conforma la materia, sin preocuparnos por la interpretación que pueda dársele a esta palabra.

² Estrictamente, el Nobel conseguido por Einstein, en 1921, se debió a su explicación del efecto fotoeléctrico, descrito en el artículo anterior.

³ Es decir, cualquier velocidad menor a la de la luz, límite superior para las velocidades de todas las partículas con masa, de acuerdo con la relatividad especial.

⁴ Estrictamente, la ecuación de Dirac fue propuesta para *fermiones*, que son una clase de partículas dentro de la cual se encuentran electrones, protones, y neutrones. Para el resto de las partículas, llamadas *bosones*, la ecuación cuántica relativista válida es la de Klein-Gordon.

para que la ecuación de Dirac fuese válida, era necesario que existieran electrones con energía negativa.

Este concepto se mostraba bastante absurdo: si a una partícula, como un electrón, se le permitiera tener energía negativa, sería capaz de entregar energía ilimitadamente, a costa de que la suya fuese cada vez "más negativa". Entonces Dirac, que no quería dar el brazo a torcer, dado lo atractiva que resultaba su teoría, propuso que no se trataba de electrones con energía negativa, sino de una nueva partícula: una especie de *antielectrón* o *positrón*. Esta nueva partícula tendría *exactamente las mismas características que el electrón* -como su masa- pero, al contrario que el electrón, tendría *carga positiva* (y energía positiva, como es de esperar). Esta idea fue expuesta por Dirac en 1931, pese a la falta de apoyo de gran parte de la comunidad de físicos de la época.⁵ La única partícula conocida de carga positiva era el protón, cuya masa es unas 2000 veces mayor que la del electrón, con lo cual no podría ser su "gemela".

El lector suspicaz ya habrá notado que, si le dedicamos tantas líneas a la idea de Dirac, esta no podría ser tan descabellada como estamos presentándola. Y está en lo cierto pues, también en ciencia, la historia la escriben quienes triunfan. En 1932 Carl David Anderson encontró experimentalmente una partícula con las mismas características que el electrón y con carga positiva. Era este el antielectrón o positrón predicho por Dirac y fue la primera *antipartícula* o partícula de *antimateria* conocida. Tiempo después se descubriría que todas las partículas elementales, como el protón, el neutrón, y las muchas otras que serían descubiertas luego, tienen también sus correspondientes antipartículas.⁶ Es decir, con razonamientos basados únicamente en la simplicidad y la belleza de las leyes naturales, se consiguió predecir la existencia de nuevas partículas desconocidas hasta el momento. Esta no fue la única vez que sucedió tal cosa, como veremos en el resto de este artículo, y en el siguiente.

Lejos de ser una curiosidad científica, la existencia de antipartículas tiene aplicaciones en el mundo real. Por ejemplo, la *tomografía por emisión de positrones* es una

técnica no invasiva de diagnóstico utilizada entre otras cosas para la detección de células tumorales.

FALTANTE DE ENERGÍA Y DESCUBRIMIENTO DEL... ¿NEUTRÓN?

Volvamos por un momento al año 1930. Todavía teníamos la complicación de las antipartículas y parecía bastante lógica la idea de que la materia esté únicamente formada por electrones, protones, y neutrones. "Solamente" restaba observar estos últimos en el laboratorio.

En este contexto, los protones y neutrones pueden formar varios núcleos que, cuando tienen la cantidad adecuada de electrones a su alrededor, formarán los átomos propiamente dichos. Estos son los diferentes átomos de la tabla periódica de Mendeleev a que nos referimos en la entrega anterior. Pues resulta que algunos de estos átomos no son estables. ¿Qué quiere decir esto? Que si

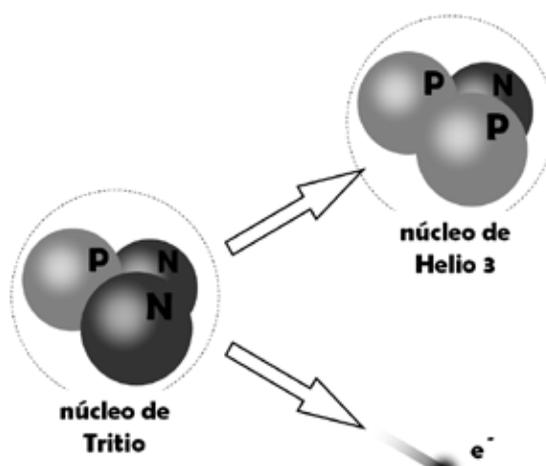


Figura 3: Decaimiento beta del tritio. El núcleo original es ${}^3\text{H}$, un isótopo del hidrógeno, mientras que el núcleo final es ${}^3\text{He}$, un elemento completamente distinto.

juntamos varios de estos (iguales entre sí) y los dejamos librados a su suerte, sin hacerlos interactuar con ningún elemento externo, algunos de ellos se transformarán en átomos de otra especie, liberando otras partículas durante este proceso. Decimos en este caso que el átomo original *decae*, y los productos de este decaimiento son el nuevo átomo y las demás partículas liberadas. Un ejemplo de

⁵ Tanto Heisenberg como Bohr sostuvieron que esto no tenía ningún sentido y que lo mejor sería buscar una teoría nueva. El primero de ellos calificó la propuesta de Dirac como "el capítulo más triste en la física moderna".

⁶ En el próximo artículo veremos que ni el protón ni el neutrón son realmente partículas elementales, sino que ambas están compuestas por objetos más fundamentales. Igualmente, tanto las partículas elementales como las compuestas poseen sus respectivas antipartículas (formadas estas últimas por las antipartículas de las componentes elementales de la partícula compuesta). Como se dijo en una nota anterior, la ecuación de Dirac es válida solo para fermiones. La ecuación de Klein-Gordon, válida para bosones, también tiene soluciones de energía negativa que se interpretan como antipartículas. Con esto, todas las partículas elementales, tanto fermiones como bosones, tienen su respectiva antipartícula.

decaimiento se muestra en la figura 3.

Aquí, un átomo de tritio (un tipo de hidrógeno) se transforma en helio 3, un elemento completamente distinto tanto desde el punto de vista físico como químico. Para que se conserve la carga eléctrica (esta no puede crearse ni destruirse) se debe expulsar un electrón, que es lo que experimentalmente se observa. Esta conversión de un elemento en otro con la emisión de un electrón (o “rayo beta”) es el llamado *decaimiento beta o radiación beta*.

Pero no solo esto se veía en el laboratorio. Si bien la carga eléctrica se conservaba, es decir, era la misma antes que después de la transformación, no sucedía lo mismo con la energía. Si las leyes de la física conocidas hasta el momento eran ciertas, la energía del núcleo original debería ser igual a la suma de las energías de los dos productos (núcleo nuevo más electrón). Pues bien, no era esto lo que se observaba en el laboratorio. Peor aún: no solo siempre “faltaba” energía (había menos en los productos del decaimiento que en el núcleo original), sino que este faltante era distinto cada vez que se realizaba el experimento.⁷

Llegados a este punto, la interpretación más natural de estos experimentos era simplemente que la energía no tenía por qué conservarse. El principio de conservación de la energía era, al igual que cualquier otra ley física, un hecho extraído de la experiencia conocida. Si bien este se había cumplido en todos los experimentos hasta el momento, parecía ya no hacerlo más. De la misma forma en que “el Sol giró alrededor de la Tierra” hasta que se demostró lo contrario - era esta la forma más lógica de describir lo observado hasta aquel momento -, parecería que “la energía se conservó en todos los procesos físicos” hasta 1930. Esto es lo que estuvieron tentados de afirmar - y de hecho, afirmaron- algunos de los más eminentes científicos de la época, Niels Bohr entre ellos.

Pero entre toda esta confusión surgió una idea innovadora. El mentor de esta fue Wolfgang Ernst Pauli y puede ilustrarse con el siguiente ejemplo: supongamos que lanzamos una piedra de un kilogramo contra una pared, con fuerza suficiente para fragmentarla en pedazos. Cuando vamos a ver qué quedó nos encontramos con dos trozos, uno de 500 g y otro de 400 g. Entonces, hay dos explicaciones posibles: bien la cantidad total de piedra no tiene por qué ser la misma antes que después del choque con la pared (es decir, no se conserva la masa o “cantidad de piedra” durante el proceso de choque) o bien hay un

tercer trozo, tan pequeño, que no hemos logrado encontrar. Esto es lo que propuso Pauli: tal vez no se violara el principio de conservación de la energía, sino que habría una tercer partícula resultante del decaimiento beta, que se escapaba a nuestros detectores y se estaba llevando la energía faltante.

Esta idea no era una locura pues, en los experimentos de física de partículas que se llevaban a cabo en ese entonces -y aún hoy-, solo se podían detectar las partículas que interactuaran en alguna forma con las demás de su entorno. Por ejemplo, aquellas cargadas eléctricamente o aquellas que tuvieran una masa suficientemente grande. Es por esto que Pauli propuso que la tercer partícula hipotética no tuviera carga eléctrica, y fuera lo suficientemente liviana como para pasar desapercibida por las demás, con una masa menor que la del protón e incluso que la del electrón. Pauli llamó a esta partícula *neutrón*.

En 1932 James Chadwick descubre una partícula sin carga eléctrica, que bautiza con este nombre, y resulta ser el mismo neutrón propuesto por Rutherford años antes, que formaba parte de los núcleos atómicos junto con los protones. Pero algo no encajaba: el neutrón del núcleo atómico era tan pesado como el protón, mientras que el que había predicho Pauli, el que “se lleva” la energía de los decaimientos beta, debía de ser mucho más liviano que el protón, e incluso que el electrón, por lo que se deducía de los experimentos. Es entonces cuando el físico italiano Enrico Fermi propone que se trata de *dos partículas distintas*, ambas sin carga eléctrica. Una de estas tendría prácticamente la misma masa que el protón, mientras que la otra sería mucho más liviana incluso que el electrón: a la primera la llamó *neutrón* y a la segunda *neutrino* (diminutivo en italiano para neutrón). Además, Fermi formuló una teoría que explicaba en detalle el decaimiento beta. Con esto se terminaba de comprender la estructura interna del núcleo (formado por protones y neutrones) y el faltante de energía en el decaimiento, salvando el principio de conservación de la energía.⁸

⁷ Hoy día explicamos este decaimiento como la conversión de un neutrón del núcleo original en un protón, dando lugar al nuevo núcleo. Como la masa (o energía) del neutrón es apenas mayor a la del protón, sobra energía, la cual se divide entre la del electrón y la “energía faltante”. Es decir, había un faltante de energía aun considerando las correcciones resultantes de la relatividad especial (ver recuadro **No todo es relativo**).

⁸ Hoy en día, a la partícula responsable del faltante de energía en los decaimientos beta la llamamos *antineutrino*. Esta es simplemente una convención a fin de hacer más lógico el agrupamiento de los constituyentes elementales de la materia en partículas y antipartículas.

Faltaba sin embargo un ingrediente esencial: *observar* el neutrino. Al igual que con el neutrón, tenía sentido su introducción para explicar ciertos fenómenos, pero a los científicos no suele agradarles tomar por ciertas entidades que nadie ha visto. Recién en 1956, veintiséis años luego de su predicción teórica y poco antes de la muerte de Pauli, quien lo había predicho, el neutrino sería detectado por Clyde Lorrain Cowan Jr. y Frederick Reines, cerrando así este capítulo de la historia.⁹

Podemos ver hasta aquí que el camino recorrido hasta llegar a la imagen familiar que hoy tenemos de los átomos, formados por protones, neutrones, y electrones, no fue algo sencillo. Antes de haberse siquiera observado la totalidad de estas tres partículas, ya habían entrado en el juego los neutrinos y a cada partícula conocida le correspondía una antipartícula.

LAS INTERACCIONES FUNDAMENTALES Y LAS PARTÍCULAS MEDIADORAS

Ahora bien, ya sabemos cuáles son las partículas que conforman la materia pero, ¿qué las hace moverse? ¿en qué forma interactúan?

Ya desde la antigüedad se conocía una de las interacciones fundamentales de la naturaleza. Esta interacción – o fuerza – se ejerce entre cuerpos que tienen masa y es siempre atractiva. Se la llamó *gravidad*, si bien era conocida desde hacía tiempo, fue Sir Isaac Newton quien logró explicar su acción satisfactoriamente, hacia fines del siglo XVII. Esta describía tanto los fenómenos observados en la Tierra como los movimientos de los cuerpos celestes.

Doscientos años después, James Clerk Maxwell terminaría de explicar un segundo tipo de interacción, también conocida desde la antigüedad: el *electromagnetismo*. Lo que originalmente se creía que eran dos fuerzas distintas: la electricidad y el magnetismo, pudo entenderse como una única fuerza. Esta se ejerce entre cuerpos con carga eléctrica y puede ser atractiva, entre cargas opuestas (una positiva y una negativa), o repulsiva, entre cargas del mismo signo (dos positivas o dos negativas).

Estas dos eran las únicas interacciones fundamentales conocidas hasta las primeras décadas del siglo XX. Cualquier fuerza cuyos efectos observáramos, como nuestro peso, la atracción entre la Tierra y el Sol, la fuerza que ejercemos al patear una pelota o al levantar una pesa, podía ser explicada en términos de la gravedad (peso y atracción entre cuerpos celestes) o del electromagnetismo (fuerzas de contacto). De hecho, estas dos fuerzas siguen

siendo las únicas necesarias para explicar los fenómenos que observamos a nivel macroscópico. Son interacciones *a distancia*, pues se ejercen aún si los cuerpos involucrados no están en contacto; y son *instantáneas*, pues no hace falta que transcurra el tiempo para que la fuerza “llegue” de un cuerpo en interacción al otro.

Pero cuando hablamos de partículas elementales las cosas no son tan simples. En primer lugar, los científicos se vieron obligados a cambiar la idea que tenían de las interacciones conocidas. La forma de explicar la atracción o repulsión electromagnética a principios de la década del 30 se transformó en la siguiente: en lugar de ser una fuerza que apareciera instantáneamente entre dos partículas por el solo hecho de que estas tuvieran carga eléctrica, se pensaba ahora que estas partículas intercambian una *partícula mediadora*. Esta es una tercera partícula, distinta de las dos entre las que se da la interacción. Este proceso puede entenderse, *grosso modo*, como lo que sucede cuando dos patinadores sobre hielo, que se deslizan inicialmente en líneas rectas, se lanzan una pelota el uno al otro (figura 4). En este caso existe una interacción entre los patinadores (pues ambos modifican su trayectoria).

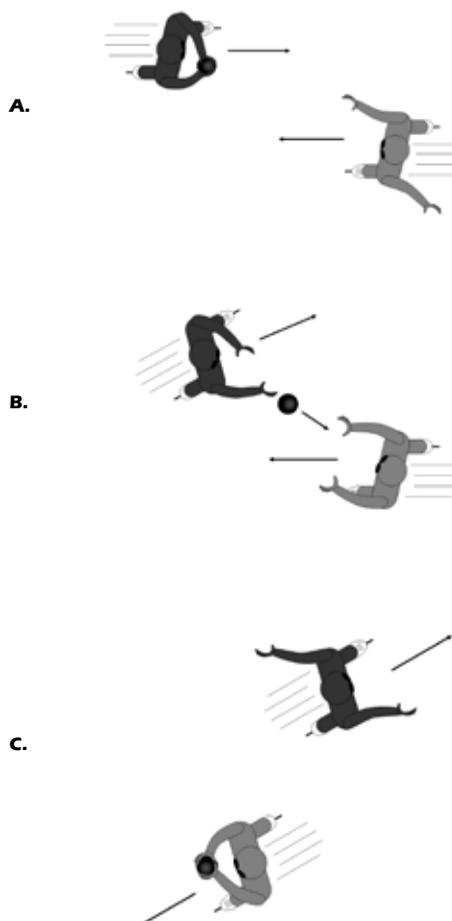


Figura 4: Interacción entre dos patinadores mediada por el intercambio de una pelota. El responsable del desvío de las trayectorias es la pelota lanzada de un patinador a otro.

Esta interacción es *mediada* por el intercambio de la pelota y por ende es *no instantánea* (pasan algunos segundos entre el lanzamiento de la pelota por parte del primer patinador y la recepción de esta por parte del segundo).

Asimismo, la interacción electromagnética se explica como el intercambio de un fotón entre las partículas interactuantes. En la figura 5 puede verse el ejemplo de la repulsión electromagnética entre dos electrones por el intercambio de un fotón. Aquí la interacción ya no es instantánea, sino que tardará en actuar lo que se demore el fotón en ir de un electrón al otro. Como los fotones son partículas de luz, estos se propagan a la velocidad de la luz, que es enorme, pero no infinita. Esta, entonces, también será la velocidad de propagación de la interacción electromagnética, por lo que no será ya una interacción instantánea.¹⁰

La explicación de la interacción electromagnética como intercambio de fotones resultó ser un éxito rotundo. Esta proveía una manera consistente de entender una interacción dentro del marco de una teoría cuántica y redundaba en un gran poder de cálculo para los procesos en que estuviera involucrada esta interacción. Tal fue el éxito de esta forma de entender el electromagnetismo, que se buscó explicar las demás interacciones conocidas de la misma forma.

Si bien lo más lógico habría sido comenzar por describir de esta manera la gravitación, esto no era nada fácil en ese momento y es algo que *aún no ha logrado realizarse*. Y aunque se piensa que debería haber una partícula mediadora para esta interacción, llamada *gravitón*, aún no se ha podido siquiera teorizar de manera consistente sobre esta partícula, por no hablar de encontrarla experimentalmente.¹¹

Por otro lado, a estas alturas ya era evidente que debían existir otras fuerzas que no estaban siendo consideradas. Recordemos el modelo de átomo de la figura 1 y concentrémonos por un momento en el núcleo, formado por protones y neutrones. Los electrones están tan lejos

del núcleo que no ejercerán efecto alguno en este análisis. Considerando solo la fuerza electromagnética, los protones -de carga positiva- deberían repelerse entre sí, mientras que los neutrones -sin carga eléctrica- no ejercerían ningún efecto. Aun considerando la atracción gravitatoria entre protones y neutrones, esta no sería suficiente para mantener el núcleo unido, al ser varios millones de veces más débil que la repulsión electromagnética entre estas partículas.

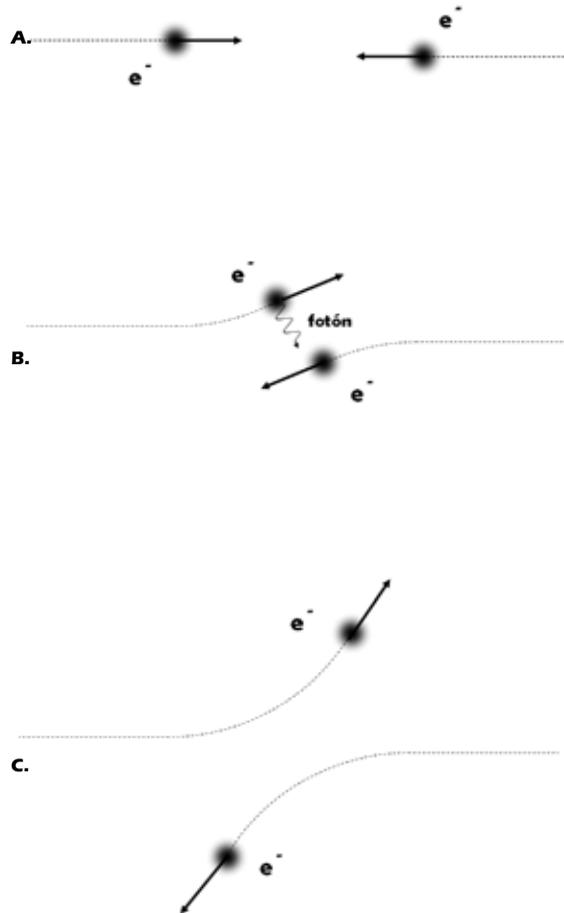


Figura 5: Interacción entre dos electrones mediada por el intercambio de un fotón. El responsable de la interacción electromagnética es el fotón lanzado de un electrón a otro.

⁹ Como dijimos en la nota anterior, la partícula detectada por Cowan y Reines es hoy llamada antineutrino. Más adelante se descubriría el neutrino propiamente dicho.

¹⁰ Esta analogía es solo de carácter ilustrativo. El proceso que ocurre en el intercambio de fotones por parte de electrones es bastante más complejo y solo comparte con el ejemplo de los patinadores las características nombradas en el texto, a saber: ser mediada por el intercambio de un tercer cuerpo, y actuar de manera no instantánea.

¹¹ Esto se debe a que la gravedad no es simplemente una fuerza entre partículas, sino algo bastante más complejo: a partir de la teoría *general* de la relatividad de Einstein se comprendió que la presencia de una masa deforma el espacio-tiempo; lo que modifica las trayectorias de los cuerpos que están en él. Por ejemplo, pensamos que la Tierra no gira alrededor del Sol debido a estar atraída por este, sino porque el espacio alrededor del Sol está curvado y la Tierra sigue naturalmente una trayectoria marcada por esta curvatura.

Entonces los físicos de la época se preguntaron: ¿Qué mantiene unidos a protones y neutrones? ¿Por qué no se separa el núcleo? Pensaron entonces que debería de existir una tercer fuerza, atractiva, de corto alcance, que fuese más intensa que la electromagnética. La llamaron *fuerza nuclear*¹², e intentaron explicarla también con una partícula mediadora, que jugaría el papel que tenía el fotón en el caso del electromagnetismo. Quien propuso esta fuerza, en 1934, fue el japonés Hideki Yukawa (湯川 秀樹), quien también estimó cómo debería ser la partícula mediadora. Esta debería de tener una masa intermedia entre la del electrón y la del protón, por lo que se la denominó *mesón*.¹³

Los mesones, de hecho, se hallaron algunos años más tarde... o al menos eso se creyó. Se encontraron dos partículas con la masa predicha por Yukawa: una con carga eléctrica positiva y otra con carga eléctrica negativa, llamados *mesones mu* o *muones* (μ^+ y μ^- respectivamente). Estas nuevas partículas no estaban dentro de núcleos atómicos sino que provenían del espacio, en forma de *rayos cósmicos*.¹⁴

Sin embargo, al estudiar en detalle las propiedades de los muones descubiertos, encontraron que estas no se correspondían con las esperadas para una partícula mediadora de la fuerza nuclear. Los muones se parecían más bien a los electrones: tenían prácticamente las mismas propiedades que estos salvo por su masa, que era unas 200 veces mayor.

Recién en 1947 -luego de que la investigación básica estuviera frenada algunos años por conocidas razones- se detectaron tres nuevas partículas. Todas ellas tenían una masa muy similar a la de los muones, es decir, a la masa esperada para la partícula mediadora de la interacción nuclear. Una de ellas tenía carga eléctrica positiva, otra neutra y la última negativa y se denominaron *mesones pi* o *piones* (π^+ , π^0 y π^- respectivamente). Estas sí resultaron ser las partículas mediadoras de la fuerza nuclear predichas por Yukawa.¹⁵

Como último comentario de esta sección, diremos que para aquel entonces se conocía una cuarta fuerza aparentemente fundamental. Se trata de la *interacción débil*, llamada así por ser su intensidad menor que la de la fuerza nuclear y de la electromagnética (aunque mucho mayor que la gravitatoria). Era esta la responsable del decaimiento beta del neutrón, proceso en el cual se habían descubierto los neutrinos (figura 3). Obviamente, también se pensó que debería haber una o más partículas mediadoras para esta interacción, pero las características que tales partículas deberían tener no fueron entendidas sino hasta 1967, y recién se las pudo observar experimentalmente en la década del 80.

RACCONTO

Hemos mencionado aquí los hechos más destacados de la física de partículas elementales entre las décadas del 20 y del 40 del siglo pasado. Al final del artículo anterior

¹² También se la llamó interacción nuclear fuerte o simplemente interacción fuerte. Elegimos aquí el nombre de fuerza nuclear, pues en realidad esta no resultó ser una fuerza fundamental, como se creyó en un principio, sino una fuerza efectiva. Así como la fuerza de contacto que le ejercemos a una pelota al patearla es en realidad la resultante de una cantidad de interacciones electromagnéticas microscópicas de repulsión entre los átomos de nuestro pie y los de la pelota; la fuerza nuclear es la resultante de interacciones que suceden dentro cada protón y neutrón, debidos a una fuerza más fundamental que llamaremos, en el próximo artículo, interacción fuerte. Con esta nomenclatura evitaremos la confusión entre estas dos fuerzas (la nuclear, que es efectiva; y la fuerte, que es fundamental).

¹³ La palabra mesón proviene del griego antiguo μέσος (mesos) = medio. Esta denominación se debe a que su masa está comprendida entre las partículas pesadas, como el protón y el neutrón, llamadas genéricamente bariones (βαρύς (barys) = pesado) y las partículas livianas, como el electrón y el positrón, llamadas leptones (λεπτός (leptos)=liviano o pequeño).

¹⁴ Con el nombre de rayos cósmicos designamos todas las partículas que se detectan en la Tierra provenientes desde fuera de la misma. Actualmente, el observatorio de rayos cósmicos más importante del mundo está situado cerca de Malargüe, en nuestra provincia de Mendoza. Puede encontrarse mucha información sobre los rayos cósmicos en la página web de este observatorio: www.auger.org.ar.

¹⁵ Hoy día sabemos que esta última frase es cierta solo a medias. Como veremos en el próximo artículo, más adelante se descubrió la existencia de una fuerza más fundamental, de la que la nuclear sería solo una interacción efectiva: la interacción fuerte (ver nota 12). Entonces, la partícula que nos interesará conocer luego será la mediadora de la interacción fuerte. Veremos que, de hecho, los piones tampoco son partículas elementales, sino que están compuestas por otras, al igual que el protón y el neutrón.

¹⁶ En particular, resulta que el fotón es su propia antipartícula, y lo mismo sucede con el π^0 . Por otra parte, el π^+ es la antipartícula del π^- y el μ^+ es la del μ^- . Con esto solo hay que agregar a la lista el positrón (o antielectrón), el antiprotón, y el antineutrón; con lo que tendremos las antipartículas correspondientes a toda la materia conocida.

las cosas parecían cerrar bastante bien. En aquel entonces, en 1927, podía entenderse una gran cantidad de fenómenos con un Universo solamente compuesto por protones, neutrones, electrones, y fotones. Pero hemos visto cómo el intento por atar los últimos cabos sueltos, a saber: encontrar efectivamente los neutrones y tratar de hacer encajar la relatividad especial con la mecánica cuántica, desembocaron en impensadas dificultades, como la existencia de los neutrinos y de las antipartículas.

Algo similar ocurriría en este momento. Ahora, en 1947, muchas cosas parecen tener sentido: los átomos están formados de tres partículas fundamentales, y hay otras dos (fotón y pion), que son las responsables de dos de las cuatro fuerzas conocidas. Además, tenemos las antipartículas de cada una de estas.¹⁶ El elemento intrigante, que “sobra”, es el muon: una simple copia del electrón, más pesado y sin ningún papel en esta obra.

En el artículo siguiente veremos cómo se nos escapa todo de las manos una vez más. A partir del año 1947, y hasta 1960, aparecerán muchísimas más partículas y los científicos descartarán modelo tras modelo intentando explicar sus propiedades. También será esta la era de los grandes aceleradores de partículas, construidos para tra-

tar de “ver” los constituyentes desconocidos de la materia.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco nuevamente a la AAAA y a la RA por brindarme este espacio, y también a todos los socios y no socios que colaboraron con la revisión de las versiones preliminares de esta segunda parte, aportando valiosas críticas y comentarios. También agradezco a Santiago Labollita por realizar las figuras de este artículo.

BIBLIOGRAFÍA

- *Introduction to Elementary Particles*, David Griffiths, Wiley-VCH; 2da edición, 2008.
- *Antimateria, magia y poesía*, José Edelstein y Andrés Gomberoff, Revista Qué Pasa, Santiago de Chile, 29 de agosto de 2009: http://www.quepasa.cl/articulo/3_663_9.html
- *Una expedición al mundo subatómico. Átomos, núcleos y partículas elementales*; Daniel de Florian, Colección Ciencia Joven, Eudeba, 2007
- *100 años de relatividad*, Diego Harari, Diego Mazzitelli, Colección Ciencia Joven, Eudeba, 2007 

Mgter. Ezequiel Koile

Becario doctoral CONICET
UNLP
A.A.A.A.
koile@fisica.unlp.edu.ar

No todo es relativo

En el artículo anterior comentamos que en el año 1789 Lavoisier había establecido la *ley de conservación de la masa*. Esta decía algo que hoy a primera vista puede parecer obvio: en cualquier reacción química, los átomos no se crean ni se destruyen, sino que solo pueden separarse, combinarse o redistribuirse.

Por otra parte, hacia 1850 se consolidó el *principio de conservación de la energía*. Este establecía que en un sistema físico aislado - es decir, un sistema compuesto por cualquier cantidad de cuerpos pero que no puede interactuar con el exterior - siempre existe una cantidad, llamada *energía*, que no variará con el tiempo. Esta puede tener distintas formas: puede ser mecánica (de movimiento), eléctrica, química, magnética, calórica, etc. Puede transformarse de un tipo en otro (por ejemplo, de mecánica a calórica al chocar dos cuerpos y frenarse ambos, liberando calor), pero nunca puede generarse ni destruirse.

Estos dos principios, similares en sus

enunciados pero muy distintos conceptualmente, resultaron estar íntimamente ligados, como mostró Einstein desde la formulación de su *teoría de la relatividad especial*. Esta tiene solamente dos postulados, muy simples cada uno de ellos, pero que juntos modificaron enormemente los conceptos intuitivos de espacio y tiempo a los que estamos acostumbrados.

El primer postulado de la relatividad especial es que *ningún experimento permite detectar el movimiento rectilíneo y uniforme: en todos los sistemas de referencia inerciales las leyes físicas deben tener la misma forma*. Esto quiere decir que cualquier experimento que hagamos, ya sea en tierra firme o en un tren a 300 km/h, por ejemplo, debe darnos exactamente los mismos resultados. Si nos encontramos dentro del tren y este no tiene ventanas para ver el exterior, no podremos saber si se mueve o no, sin importar qué experimento hagamos desde adentro.³

El segundo postulado dice que *la velo-*

*cidad a la que se propaga la luz en el vacío es de 299.792.458 metros por segundo.*³

Así enunciados los postulados no parecen decir nada fuera de lo común. La novedad aparece cuando se los une: como el segundo postulado, la constancia de la velocidad de la luz, puede considerarse como una ley física, esta debe cumplirse en todo sistema de referencia inercial. Pensemos por ejemplo en dos personas: una quieta y la otra moviéndose a 20.000 km/h. Si ahora la segunda persona enciende una linterna y la apunta hacia adelante, ambos verán que la luz se aleja de ellos a la misma velocidad. No importa que uno “persiga” la luz y el otro se quede quieto. Lo mismo sucedería si la segunda persona apuntara su linterna el sentido opuesto (“hacia atrás”): la luz no se alejará más rápidamente para el segundo observador, sino que se moverá siempre a la misma velocidad constante de 299.792.458 m/s respecto de cualquiera de los dos observadores.

A partir de estos dos postulados se deducen resultados que nos pueden parecer paradójicos, pero que se han comprobado correctos experimentalmente. Por ejemplo, dos sucesos que un observador ve ocurrir simultáneamente, no serán simultáneos para un segundo observador que se moviera con otra velocidad. Estos postulados también modifican las leyes de Newton de la dinámica y, a partir de estas modificaciones, puede deducirse que *ningún cuerpo puede moverse a una velocidad mayor a la de la luz en el vacío*. Es decir, hay un límite para las velocidades permitidas a los objetos físicos.^c

¿Quiere decir esto que la física conocida hasta 1905 – así como el sentido común - no sirve más y debe descartarse? No, no debemos ser tan fatalistas: así como la mecánica cuántica haría reformular los conceptos de materia y de ondas veinte años más tarde, pero sus efectos solo podrían notarse cuando intervenirían objetos “muy pequeños” (sistemas microscópicos), los cambios introducidos por la relatividad especial solo son importantes para cuerpos que se muevan con velocidades muy altas, cercanas a la de la luz (*velocidades relativistas*). Es decir, para saber cómo se mueve un cuerpo macroscópico a una velocidad no relativista, como un perro, un avión, o un planeta, alcanza con las leyes que Newton formuló en el siglo XVII.

Lamentablemente, resulta que este artículo se refiere a partículas elementales, que son tanto microscópicas como relativistas. Es por esto que debemos considerar ambos efectos: la mecánica cuántica y la relatividad especial.

La mayor parte de los experimentos en la física de partículas elementales se realizan mediante procesos de colisión. En

estos se hacen chocar dos partículas y se estudian los productos del choque.

Pensemos, por ejemplo en el caso de la figura A. Aquí hacemos chocar dos partículas de la misma masa m , ambas con la misma velocidad v antes del choque. Luego de este, ambas partículas quedarán unidas, formando una nueva partícula, que permanecerá en reposo. Si utilizáramos las leyes de la dinámica de Newton, sería bastante obvio prever cuál será la masa de la partícula final; simplemente $M_{final} = m + m = 2m$. Pues resulta que, si utilizamos las leyes modificadas por la relatividad especial, este no es el resultado, sino que será

$$M_{final} = \frac{2m}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

donde c es la velocidad de la luz en el vacío.

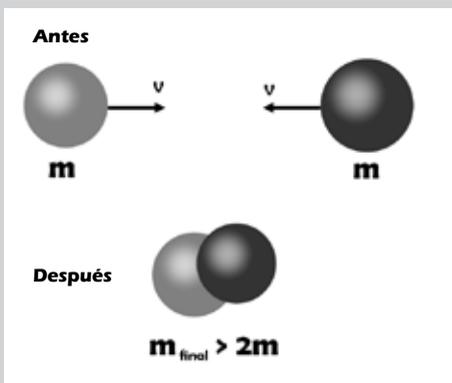


Figura A: Colisión de dos partículas de masa m . Luego de la colisión, la masa de la partícula resultante será mayor que la suma de las masas iniciales.

Este valor será siempre mayor a $2m$, aunque prácticamente no se notará la diferencia para velocidades v mucho más pequeñas que la de la luz. Por ejemplo, si la velocidad con que se acercan las partículas es de “tan solo” 100.000 km/h, la masa resultante será apenas un millonésimo más grande que $2m$. En cambio, si la velocidad de acercamiento es el 87% de la velocidad de

la luz, es decir, $v \approx 260.000.000m/s \approx 936.000.000km/h$, la masa final será el doble que la del caso anterior, es decir: $M_{final} = 4m$. Si la velocidad de acercamiento es del 99,99% de la velocidad de la luz, es decir: $v \approx 299.762.479m/s \approx 1.079.144.924km/h$, la masa final será $M_{final} = 141m$, es decir, unas 70 veces mayor que si las partículas se hubiesen acercado lentamente.

Lo que sucede en este caso es que la energía de movimiento (*energía cinética*) que tenían las partículas antes de la colisión se convierte en masa luego de esta. De la misma forma, un cuerpo en reposo de masa m tiene “guardada” una energía $E=mc^2$; que puede transformarse en energía cinética a cambio de que el cuerpo reduzca su masa. Este fenómeno se utiliza en los aceleradores de partículas, como por ejemplo el LHC (*Large Hadron Collider* o Gran Colisionador de Hadrones), sito en Ginebra, Suiza. Estos aparatos son capaces de producir partículas muy masivas a partir de hacer colisionar partículas livianas, como protones, siempre que la colisión se produzca a una velocidad suficientemente grande.

Los últimos ejemplos nos muestran que las leyes de conservación de la masa (1789) y de la energía (1850) no son válidas por sí solas, pues estamos perdiendo energía y ganando masa en el primer ejemplo y exactamente lo contrario en el segundo. Pero si decimos que *la masa es una forma de energía*, que podemos transformar en otras y viceversa, sigue siendo válido el principio de conservación de la energía, incluyendo la masa dentro de esta.

Ezequiel Koile

^a Sin embargo, podemos saber si el tren en el que estamos se está acelerando o si está doblando. La equivalencia es para sistemas de referencia que se mueven en línea recta y con velocidad constante. Estos son los *sistemas de referencia inerciales* a los que se refiere el postulado.

^b Es tan exacto este valor que hoy por hoy se define el metro como “la longitud recorrida por la luz en el vacío en una fracción de 1/299.792.458 segundos”

^c Esto se debe a que, si hubiera un cuerpo - o una señal - que pudiera moverse a una velocidad mayor que la de la luz, existiría un sistema de referencia desde el cual se violara la *causalidad*. Es decir, la causa sería posterior a la consecuencia. Si bien en la relatividad especial puede violarse la *simultaneidad* (dados los dos mismos sucesos A y B, estos pueden ocurrir simultáneamente, ser A anterior a B, o ser B anterior a A, según cómo se mueva el observador), la *causalidad* tiene un significado físico más profundo y no puede violarse (al menos, con nuestra forma actual de entender el universo físico). En septiembre de 2011, en los *Laboratori Nazionali del Gran Sasso* de Italia, se creyó medir neutrinos moviéndose a velocidades mayores a la de la luz en el vacío. Estos resultados no fueron demasiado aceptados por la comunidad científica *a priori*, dado que entraban en fuerte conflicto con nuestra visión del Universo aceptada (la relatividad general). Finalmente, en junio de 2012 se descubrió la existencia de errores experimentales debidos al instrumental, que no habían sido ponderados en los primeros experimentos. El nuevo valor para la velocidad de los neutrinos es consistente con la relatividad general, lo que no nos obliga a cambiar nuestra visión del Universo... por ahora.

EL CLIMA EN LA A.A.A.A.

LA INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UNA ESTACIÓN METEOROLÓGICA EN EL OBSERVATORIO

En una época donde no existían los libros, no existía la radio y mucho menos la televisión, el entretenimiento era observar el cielo y escuchar fantásticas historias sobre guerreros, cazadores y terribles bestias al asecho. ¡Claro, todo esto era si el cielo estaba despejado!

Desde edades muy antiguas, observar el cielo está relacionado con las condiciones meteorológicas. Aristoteles, Tolomeo y otros genios de la época ya dedicaban parte de su tiempo a escribir sobre las condiciones que afectaban el clima. Johannes Kepler y Tycho Brahe trabajaron haciendo predicciones meteorológicas.

Por supuesto con el tiempo esto se fue dividiendo de la astrometeorología, como se lo conocía en aquellas épocas, para tomar su lugar propio dentro de la ciencia. Tras mucho trabajo e investigación en 1870 Hungría abre la primera oficina meteorológica, seguida por la de los EUA en 1871 y la tercera en el mundo fue la de Argentina en 1872, promovida y solicitada por el Dr. Benjamín Apthorp Gould, quien fuera director del primer observatorio astronómico de la Argentina, en Córdoba.

Es por esto que se nos ocurrió retomar la práctica de la meteorología en el observatorio de la AAAA e instalar nuestra propia estación.

Con la colaboración de muchos socios, realizamos el montaje de los elementos de medición, sobre un mástil ubicado en la terraza de nuestro observatorio. Previo a la instalación, se realizaron trabajos de prueba sobre el alcance de los sensores, ubicación de los mismos, armado de computadoras y tareas de logística.

La EMA (estación meteorológica automática) es una Sinometer WS1081. Cuenta con un sensor que nos da los datos de temperatura, presión y humedad, una veleta que nos indica la dirección del viento, un anemómetro que registra velocidad y ráfagas de viento y un pluviómetro. Todos los datos que recoge dicha estación son enviados de forma inalámbrica a una base, la cual está conectada a una PC online y transmite los datos en tiempo real, en

la página oficial de la AAAA. Allí podemos ver el estado actual del clima en la zona de Parque Centenario, condiciones que son de referencia a toda la capital, datos acumulados y los gráficos generados a través de un software específico, cumulus v1.9.2. Contamos también con datos acerca de la fase lunar, salida y puesta del Sol y la Luna, duración de la luz diurna y varios más. Esta información está disponible para todos los socios y para todas aquellas personas que accedan a la página web de la Asociación.

La EMA nos proporciona datos estadísticos a diario, semanales, mensuales y anuales. Toda esta información puede ser utilizada con fines científicos por varias entidades meteorológicas.

Los datos de nuestra EMA combinados con datos de otras estaciones y del SMN nos permiten tener una idea sobre las condiciones de observación en nuestra institución y los distintos lugares que utilizamos para las activi-



Hernán Palmisciano durante la instalación de la EMA.

dades astronómicas de la AAAA.

A partir de esto, comenzarán talleres sobre meteorología, trabajos de recuperación de los antiguos equipos que perteneces a AAAA y la reinstalación de dichos elementos como soporte de la EMA, combinando esto con el curso dictado por el Lic. Carlos Benitez , Introducción a la Meteorología. Tenemos el deseo de llevar esta actividad a todos aquellos socios que se interesen en la meteorología, realizando observaciones, mediciones y llevando control de datos, intentando darle carácter de investigación científica a esta tarea realizada en la AAAA.

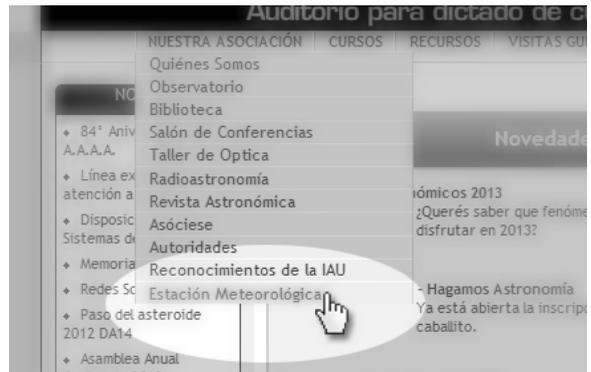
Prontamente, con la colaboración y conocimientos de Hernan Socolovsky se instalará un sistema para la medición de la radiación solar. Así mismo intentaremos seguir mejorando los instrumentos y agregando formas de registro para aumentar el rendimiento de nuestra EMA. Se realizará un sistema de alerta de velocidad de viento, disparando un dispositivo que colocará la antena de radio observatorio en posición de equilibrio, salvaguardando la integridad de la misma ante fuertes ráfagas de viento. Además una cámara online las 24 hs nos dará una idea de cómo se ve el cielo sobre el observatorio, eso en un futuro,

esperemos que no muy lejano.

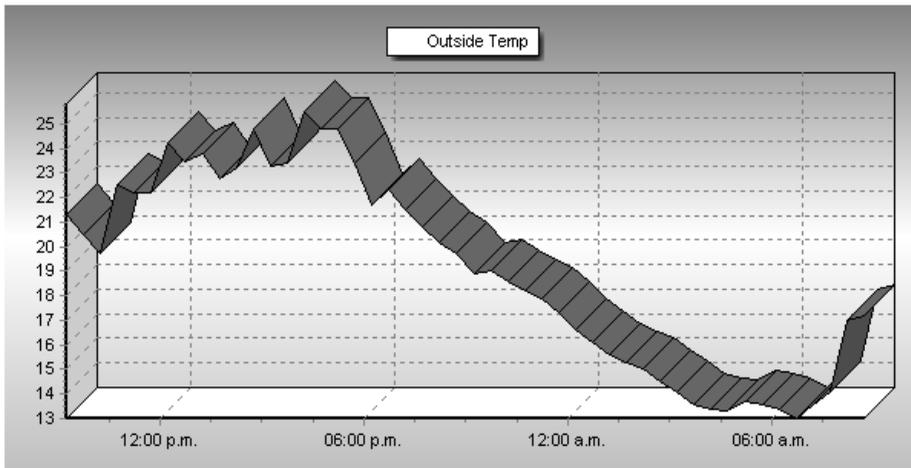
Así, de esta manera, algo tan cotidiano, lleno de historia desde las antiguas civilizaciones hasta hoy en día, es una herramienta más para quienes gustan de la observación del cielo y lo referido a la astronomía.

Nuestra EMA está en funcionamiento gracias al trabajo y colaboración de los socios Luis Manterola, Edgardo Perea, Ariel Kachuka, Pablo Cirielli, Claudio Pietrasanta, Hernan Palmisciano y Diego Sassone. 🏠

Hernan Palmisciano y Diego Sassone
A.A.A.A. A.A.A.A.



Dónde encontrar el link a la Estación Meteorológica.

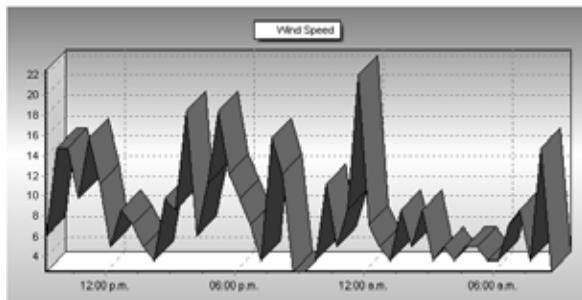


Temperatura diaria

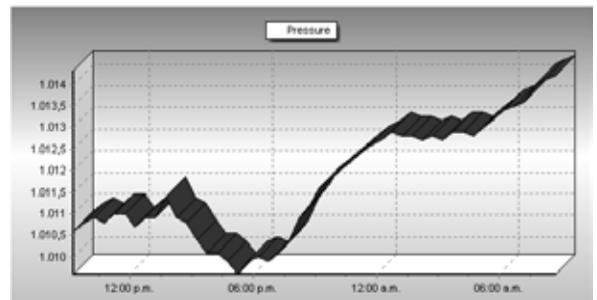
Izq.: Imagen que genera la Estación Meteorológica Automática en la que grafica la temperatura a lo largo del día.

Abajo izq.: Imagen de la EMA de la velocidad diaria del viento.

Abajo der.: Imagen de la EMA de la variación de la presión diaria.



Viento diario



Presión diaria



M 83
PUNTA INDIO por Roberto Mackintosh y Claudio Pietrasanta



NGC 253
CASLEO por Roberto Mackintosh y Claudio Pietrasanta



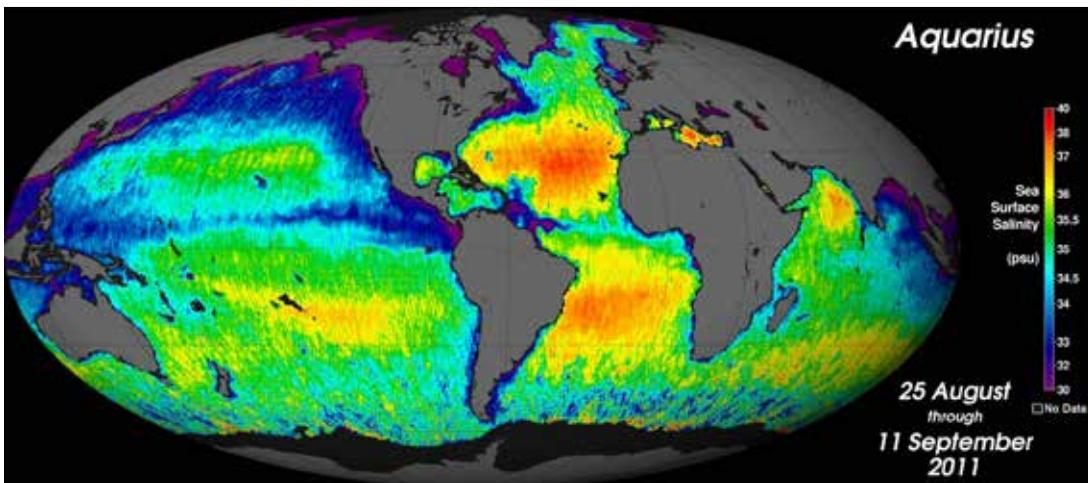
NGC 6726
CASLEO por Roberto Mackintosh y Claudio Pietrasanta



ARGENTINA EN EL ESPACIO: ENERGÍA SOLAR PARA LA MISIÓN SAC-D/AQUARIUS.



Fotografía: Matías Jones



Arriba:

Prueba final de despliegue de los paneles, sitio de lanzamiento, Vandenberg, California, EUA

Izquierda:

Primer mapeo global de salinidad superficial de los océanos. La concentración de sal en la superficie es mayor en las zonas de color rojo decreciendo hasta las zonas más "dulces" referidas en color azul.

RELATO DE UN CONSOCIO AFORTUNADO...

BREVE INTRODUCCIÓN PERSONAL

Creo que el rumbo de mi vida cambió aquel día en que mi padre me llevó por primera vez a la A.A.A.A. a mirar por telescopio. Ese día quedé enamorado para siempre de las estrellas y todo lo relacionado a la exploración espacial. Y haber sido socio y haber vivido dentro de la A.A.A.A. desde aquel momento, hace ya más de veinte años, ha sido una constante fuente de inspiración tanto en mi vida de aficionado a la astronomía como así también en la profesional.

He estado también acompañado de la suerte, ya que todo se me fue dando para que yo pudiera ser parte de este proyecto y con lugar de trabajo a solo quince cuadras de mi casa... jamás hubiera imaginado que aquí, en mi querida Argentina yo pudiese trabajar en una misión espacial conjunta con la NASA.

LA MISIÓN SAC-D

SAC-D/Aquarius es una misión espacial en conjunto entre la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) y la NASA de EEUU, con participación en menor medida de las agencias espaciales brasilera (INPE), italiana (ASI), canadiense (CSA) y francesa (CNES). El SAC-D/Aquarius es un satélite de aplicaciones científicas cuyo objetivo es la observación de nuestro propio planeta.

El SAC-D, llamado así por ser el cuarto satélite de aplicaciones científicas fabricado en argentina, (SAC-A 1996, SAC-B 1998 falló durante el lanzamiento, SAC-C Nov 2000 hasta ahora) fue construido en INVAP S.E., en San Carlos de Bariloche. En este proyecto se fabricaron por primera vez en Argentina los paneles solares, dado que en las misiones anteriores habían sido comprados. Los mismos fueron construidos en el Centro Atómico Constituyentes de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) dentro del departamento de energía solar (DES) lugar en el que estoy trabajando desde 2005.

El satélite lleva a bordo 8 instrumentos, entre los cuales el Aquarius - el principal instrumento, provisto por la

Datos generales de la misión		
	Peso	Consumo
Total	1350 Kg	1154 W
Plataforma	680 Kg	540 W
Aquarius	375 Kg	314 W
Inst. SAC-D	230 Kg	300 W
Combustible	65 Kg	

NASA - tendrá a cargo la medición de la salinidad superficial de los océanos a nivel global, para determinar nuevos modelos climáticos. Se trata de una antena parabólica extremadamente sensible capaz de detectar la emisión térmica (microondas) de la superficie del mar. La intensidad de dicha radiación es proporcional a la temperatura de la superficie del mar y a la concentración de sal que existe en la superficie, por lo que descontando esta primera se logra deducir la salinidad superficial.

Los restantes 7 instrumentos que lleva a bordo el satélite fueron integrados en nuestro país por instituciones nacionales tales como el Instituto Argentino de Radioastronomía (IAR), el CONICET y la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata (FI-UNLP). Entre ellos se destacan una cámara infrarroja de alta sensibilidad, denominada NIRST, cuya función es la detección de zonas o focos de altas temperaturas (uso típico en alertas temprana de incendios forestales y erupciones volcánicas), una cámara en el rango de la luz visible (cámara nocturna de alta sensibilidad o HSC) que será utilizada para la detección de pesca ilegal en mares argentinos y un radiómetro de microondas (MWR) para determinar perfiles de humedad en la atmósfera y en los suelos. También se realizó en nuestro país, dentro de la FI-UNLP, el desarrollo de un sistema de adquisición de datos (DCS) que viajó a bordo del satélite.

Los dos restantes instrumentos, ROSA y CARMEN fueron aportados por las agencias espaciales italiana y francesa y se utilizan para estudiar la atmósfera a través del estudio de radio ocultación de las señales de GPS y para estudiar los efectos de la radiación cósmica sobre dispositivos electrónicos respectivamente.

El 10 de junio de 2011, el SAC-D fue lanzado al espacio desde la base militar de Vandenberg en California, EUA; mediante un cohete Delta II que transportó la valiosa carga desde el sitio de lanzamiento hasta su destino final:

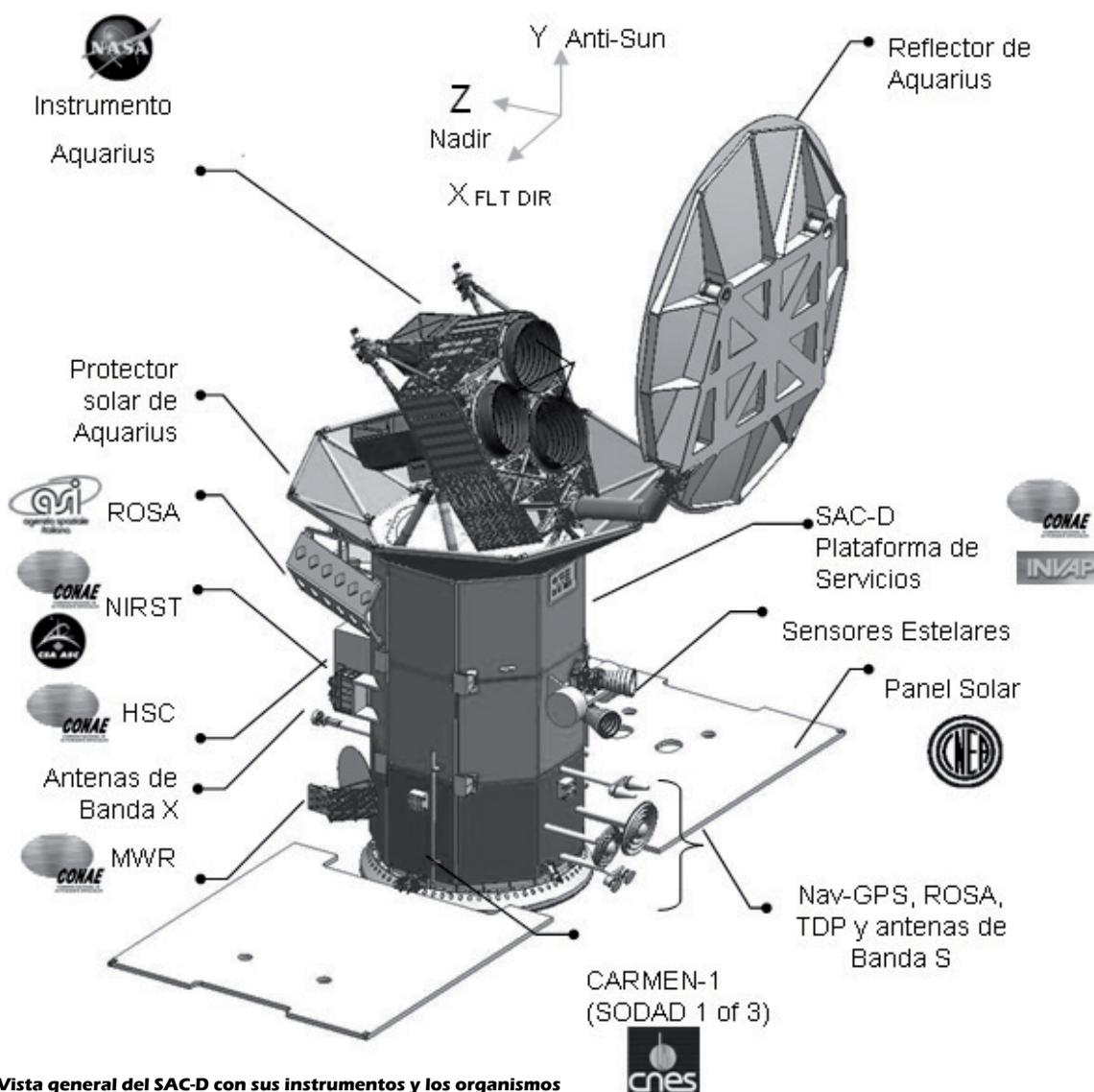
órbita helio sincrónica a 657km de altura sobre nuestras cabezas. En este tipo de orbita el satélite gira alrededor de la Tierra uniendo permanentemente los polos y dando una vuelta completa en casi 100 minutos, con el agregado que siempre “camina” por encima de la línea que separa el día de la noche en la tierra, asegurando de esta manera que el satélite “vea” al sol en forma casi perpetua.

Además, en este tipo de orbita el SAC-D da en un día completo algo así como 14 vueltas al planeta, cosa que le permite a los instrumentos barrer un área bastante significativa de la Tierra. Actualmente, el SAC-D goza de buena salud: todos sus sistemas funcionan perfectamente y, en lo que a mí respecta, los paneles generan la energía para la que fueron diseñados.

PROVEYENDO POTENCIA A UN SATÉLITE

Desde hace ya algunas décadas las misiones espaciales están en su totalidad provistas con paneles solares. Antiguamente se utilizaban reactores nucleares de a bordo pero se dejaron de lado por cuestiones de seguridad, mayormente debido a la probabilidad de falla en un despegue. Sin embargo, aún se siguen utilizando para ciertas aplicaciones específicas (misiones interplanetarias donde la luz del sol llega con mucha menor intensidad).

Allá arriba, la luz del Sol es la única fuente natural de energía y además, fuera de la atmosfera la luz solar se ve un poco distinta: no tan amarillenta como estamos acostumbrados sino más “azulada” dado que la atmosfera se encarga de filtrar los rayos UV y dispersar al color azul. Otro dato no menor es que la luz es más intensa: 1367W



Vista general del SAC-D con sus instrumentos y los organismos que participaron en la fabricación de cada uno de ellos.

por cada metro cuadrado llegan a la capa superior de la atmosfera terrestre en forma continua y casi perpetua... cómo no utilizarla...

El panel solar es el encargado de transformar la radiación que llega desde el Sol, en forma de luz, directamente en energía eléctrica. La celda solar, o celda fotovoltaica, es un dispositivo construido con materiales semiconductores (como por ejemplo el Silicio o Germanio) y es la encargada de transformar directamente la luz en corriente eléctrica. Para ello, se hace uso de la propiedad fotoeléctrica que tienen los materiales semiconductores, que es la de liberar electrones de los enlaces atómicos cuando son iluminados. Dichos electrones son posteriormente arrastrados por un campo eléctrico (juntura N-P dentro del semiconductor) pudiendo ser aprovechados para generar una corriente eléctrica continua. Según los materiales y la tecnología de fabricación utilizados, una celda puede proveer una tensión desde 0,5V (celda convencional de silicio) hasta 2,5V, ya para las celdas multicapas más avanzadas, y alguna fracción de Ampère de corriente. La eficiencia de estos dispositivos puede variar entre un 10% y un 30%, utilizándose para misiones espaciales obviamente

te las más eficientes y confiables del mercado.

Para satisfacer los requerimientos de potencia de la misión (suma de todos los consumos a bordo del satélite) es necesario agrupar de alguna manera muchas celdas solares, formando lo que se denomina un panel solar. En el caso del SAC-D fueron necesarias 25.000 celdas cubriendo un área de 9m² para proveer los casi 2.500W de energía a la misión. Normalmente, la generación de potencia se dimensiona con un buen margen de diferencia con respecto al consumo, dado que a lo largo de su vida útil las celdas solares van perdiendo un poco su eficiencia. Esto es producto del deterioro producido por el ambiente espacial (por ejemplo, el daño por radiación de partículas cargadas, ciclos térmicos de gran amplitud debido al sol y sombra) y porque, además, se debe tolerar alguna posibilidad de rotura/falla por parte de alguna sección del panel. Sumado a esto, se debe mantener con carga la batería del satélite para poder operar cuando los paneles entran en eclipses, es decir, cuando el satélite se esconde del sol por detrás de la Tierra, por lo que la capacidad de generación de los paneles debe estar por encima del consumo promedio.

Fotografía: Matías Jones

Instrumento	Objetivos	Características	Resolución	Agencia
Aquarius Radiómetro y escaterómetro	Detección de Salinidad del océano	Radiómetro en Banda L, (1.413 Ghz) & Escaterómetro; (1.26 Ghz) // barrido: 390	Tres haces: 76 x 84 x 120, 96 x 156 km	NASA
MWR Radiómetro de microondas	Precipitación, velocidad del viento, concentración de hielos, vapor de agua.	Bandas: 23.8Ghz Polar. V 36.5Ghz Polar. H & V Ancho de banda: 0.5 y 1 Barrido: 380	Dieciseis < 54 km	CONAE
NIRST Cámara térmica	Incendios, volcanes, temperatura	Bandas: 4, 11 y 12 Barrido instantáneo: 182 Barrido extendido: 1000	Espacial: 350 Radiométrica: Mínima área incendiada detectable 200	CONAE CSA
HSC Cámara de alta sensibilidad	Luces urbanas, tormentas eléctricas, cobertura de áreas nevadas	Pancromática: 450 – 700 Barrido: 1200	200-400	CONAE
DCS Sistema recolector de datos	Recepción de datos	401.55	2 contactos por un máximo de 200	CONAE
ROSA Radio occultation sounder for atmosphere	Variables	Técnicas de radio-ocultación	Horizontal: 300 Km Vertical: 300m	ASI
CARMEN I ICARE & SODAD	Efectos de la radiación cósmica sobre electrónicos	ICARE: 3 detectores de Si, Si/Li SODAD: 4 sensores MOS	I: espectro de 256 S: Sensible a 0.5 a10	CNES
TDP Instrumento tecnológico	Posición, velocidad y tiempo; determinación de velocidades	Receptor Unidad de Referencia	Posición: 20metros	CONAE

FABRICANDO PANELES SOLARES DE USO ESPACIAL EN LA CNEA

Para llevar a cabo la fabricación de los paneles solares, por parte del DES, en el Centro Atómico Constituyentes (CNEA) fue necesario establecer algunos hitos importantes tales como el panelcito solar “tecnológico” que llevó a bordo la misión SAC-A, que consistía en un pequeño panel de prueba con celdas de silicio cristalino fabricadas dentro del Depto. de Energía Solar de la CNEA. Este panel no abastecía de energía al satélite, pero su telemetría notificó el correcto funcionamiento del mismo durante la su vida útil.

Posteriormente, ya con los contratos firmados entre CNEA y CONAE para la fabricación de paneles solares para las misiones espaciales argentinas (1995) se comenzó a instalar en el centro atómico un laboratorio de integración de paneles solares para uso espacial. Básicamente se trata de un laboratorio denominado “área limpia” cuyo aire está totalmente controlado: su humedad permanece baja, su temperatura siempre a 22°C, y lo más importante: el material particulado en el aire (polvo) debe permane-

cer controlado por debajo de una determinada cantidad de partículas por unidad de volumen. Todo esto, a fin de evitar que las partes que integran un satélite sean contaminadas y/o ensuciadas.

Una vez listas las instalaciones, se procedió a la fabricación de paneles prototipos (de menor a mayor tamaño) a fin de calificar los procesos, los componentes y el personal involucrado en la integración final de los modelos de vuelo. Para ello se elaboraron primero 3 paneles de pequeña área y posteriormente un modelo de ingeniería de calificación a escala real. Dicho modelo de ingeniería fue sometido posteriormente a ensayos ambientales en un enorme laboratorio de ensayos, en Brasil, los cuales incluyeron: ciclados térmicos de +/- 100°C, ensayos de vibraciones, de shock y de vacío. Entre un ensayo y otro, se debe asegurar que la generación de potencia eléctrica por parte del panel no haya sufrido cambios, ese es justamente el objeto de calificar un modelo de ingeniería “fabricar y poner a prueba”. Además de esto, una prueba fundamental que deben superar los mecanismos del satélite es que el sistema de despliegue de los paneles funcione correctamente.



El satélite SAC-D está siendo introducido en una enorme cámara de termovacío para ser ensayado. Laboratorio de Integración y Testeo (San Pablo, Brasil).

PRIMERAS MEDICIONES

Una vez puestos a punto todos los procesos, componentes y personal, se llevó a cabo la integración de los paneles solares de vuelo. Los paneles del SAC-D son dos alas de 2,2m x 2,3m cada una, recubiertas por casi 1300 celdas solares fotovoltaicas. El panel, cuyo sustrato está compuesto de dos multilaminados de fibra de carbono dispuestos en forma paralela y en cuyo interior se coloca un tejido de aluminio con forma de celdas de panel de abeja (formando un sándwich), hace que el panel sea una estructura muy rígida y extremadamente liviana, totalmente apto para uso espacial. Para realizar la integración del panel, se deben colocar sobre dicho sustrato, las celdas con sus interconectores, buses de interconexión, cables, sensores de temperatura, resistencias de drenaje de carga electrostática al satélite y conectores para “enchufar” el panel al satélite.

Una vez finalizada la construcción de los modelos de vuelo, los paneles iniciaron un largo recorrido por distintos laboratorios. Primeramente en Invap (Bariloche) para ser ensayados e integrados al satélite. Posteriormente viajaron al laboratorio de integración y testeo (LIT-INPE, Brasil) donde fueron sometidos a ensayos de termovaciación y vibración, pero de menor rigurosidad con respecto al panel de ingeniería para no ocasionarles daño. Finalmente fueron transportados junto con el satélite a la base militar de Vandenberg, en California, EUA donde se realizaron los últimos ensayos de generación eléctrica y pruebas de despliegue.

A esta altura, el SAC-D lleva 21 meses en órbita terrestre, algo así como 9000 vueltas alrededor del mundo, y toda la telemetría de los diferentes sistemas indican hasta ahora que la misión es exitosa. Los datos provenientes del satélite, tanto la telemetría como los proporcionados por los instrumentos científicos, son colectados a diario en la estación terrena de CONAE, cerca de Carlos Paz, Córdoba cada vez que el SAC-D vuela por encima del lugar. A partir de aquí, los tecnólogos nos relajamos un poquito y cedemos terreno a los científicos, quienes deben por los próximos 5 años (vida útil mínima de la misión) estudiar, obtener resultados y volcar conocimientos a la sociedad.

LA A.A.A.A. CON UN PIE EN LA MISIÓN

No es el afecto por mi querida asociación lo que me lleva a decir lo que viene, sino que los hechos lo demuestran, dado que no he sido el único consocio que trabajó para esta misión espacial: Martín Semegone y Martín Salibe, ambos pertenecientes al IAR (Instituto Argentino de Radioastronomía) también han participado en la fabricación y ensayo de algunos de los instrumentos que llevó la misión. Por lo que de alguna manera evidencia la bondad de nuestra asociación de astronomía en inspirar y en parte también formar, a las personas que componen en todo lo relacionado con la astronomía y el espacio.



Hernan P. Socolovsky

A.A.A.A.
CNEA

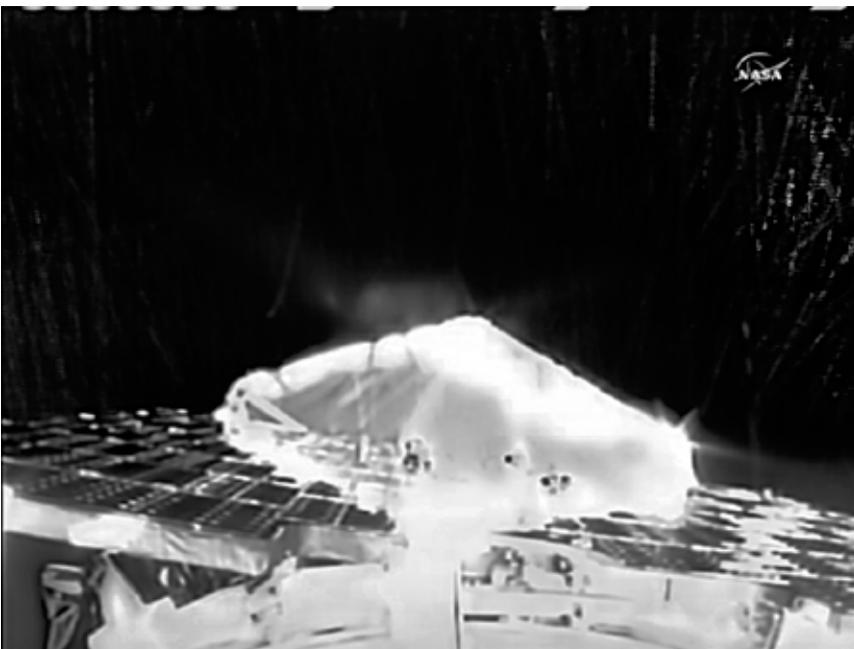


Imagen del SAC-D en el espacio tomada por una cámara montada en la última etapa del lanzador, instantes previos a la separación del satélite (se visualiza solo un panel).

EVOLUCIÓN ESTELAR:

ETAPAS FINALES EN EL PROCESO EVOLUTIVO DE LAS ESTRELLAS.

Según hemos visto ya en el artículo anterior (RA 278, pag. 21), conforme se llevan a cabo las reacciones termónucleares en el interior de las estrellas, en una pequeña región central denominada núcleo estelar¹, éstas experimentan diferentes procesos o secuencias de cambios a lo largo de su existencia. La descripción y el estudio de las características y propiedades de estos procesos es denominada Teoría de Evolución Estelar. Conforme tales cambios tienen lugar, las estrellas atraviesan por varias etapas de su evolución donde se generan, conforme a su masa, diversos procesos de nucleosíntesis y reacciones termónucleares² en los que intervienen núcleos de átomos correspondientes a elementos cada vez más pesados y que contienen un número cada vez mayor de cargas positivas (protones). Esto naturalmente trae como consecuencia un consumo cada vez más alto de energía, energía que por supuesto resulta necesaria para que tales reacciones tengan lugar.

De este modo, la energía neta o resultante³, que las estrellas producen a partir de dichos procesos, resulta ser cada vez menor y como consecuencia de ello, las estrellas experimentan a lo largo de su "vida" varios períodos o fases de inestabilidad, donde la gran mayoría de estas estrellas, que originalmente se encontraban en la Secuencia Principal, terminan por despedir al espacio interestelar grandes cantidades de materia, correspondientes al material que conforman sus capas más externas.

Los procesos de nucleosíntesis continúan en el corazón de las estrellas, etapa por etapa, en tanto y en cuanto la masa de éstas se lo permita, hasta que gran parte o la totalidad de su masa quede formada principalmente por núcleos de átomos de helio, de carbono y oxígeno, de

neón y magnesio, de silicio y azufre, o hasta llegar a la reacción que parte de núcleos de átomos de silicio para formar núcleos de átomos de hierro y níquel. Como hemos dicho, en cada uno de estos procesos la energía resultante producida es cada vez más baja que aquella producida en una etapa anterior y, en consecuencia, el tiempo que le demanda a la estrella "consumir" el combustible nuclear en cada una de estas etapas será cada vez considerablemente menor. Se dice que los últimos núcleos atómicos en producirse, en el interior de una estrella, corresponden a los del elemento hierro, porque éste resulta ser el más estable de todos. Sus enlaces resultan ser los más fuertes y además, como veremos más adelante en este artículo, los procesos que tienen lugar en un núcleo de una estrella con estas características tienen la particularidad de absorber energía en lugar de cederla.

Por otra parte, si una estrella luego de atravesar una fase de inestabilidad no dispone de la masa suficiente como para alcanzar en su núcleo la temperatura que requiere la ignición termónuclear de los núcleos de los átomos que lo conforman (productos de las reacciones en una fase o etapa anterior) sólo le puede estar aguardando su final. En efecto, si la masa de una estrella no es suficiente para sostener las reacciones termónucleares en su núcleo, éstas acaban por detenerse, trayendo como consecuencia el descenso sostenido de la temperatura y, con esta última, la disminución de la presión interna. Sin presión que pueda sostener todo el peso del núcleo y el resto de la estrella, la gravedad toma el control absoluto de la situación iniciándose un proceso de contracción que afecta principalmente al núcleo.⁴

En este nuevo artículo veremos qué les sucede a las estrellas en su etapa final, una vez que no les resulta posible ya continuar con la producción de energía por medio de las reacciones termónucleares en su núcleo. Estas reacciones son las que les permiten alcanzar el tan anhelado equilibrio hidrodinámico entre la presión interna, su peso total⁵ y la energía que emite al exterior en forma de radiación a través de sus capas más externas (fotosfera, cromosfera, corona, etc.). Lo que le vaya a ocurrir a una estrella luego de no poder producir más energía en su núcleo dependerá principalmente de su masa, su composición química (metalicidad) y su velocidad de rotación. Nos concentraremos aquí en describir los procesos que

¹ El núcleo tiene un tamaño algo mayor al 1% del tamaño total de la estrella.

² Como son los casos de las reacciones Protón-Protón, el ciclo C.N.O., reacción Triple α , nucleosíntesis del carbono, oxígeno y neón, etc.

³ Esto es, la energía total producida menos la energía requerida o consumida en tal proceso.

⁴ En el caso de nuestro Sol, el proceso de nucleosíntesis termina con la producción de núcleos de átomos de carbono y oxígeno en su parte central; pues su masa no es lo suficientemente alta como para generar energía térmica que le permita continuar con los procesos de ignición nuclear del carbono, que lo llevaría a la siguiente etapa evolutiva de equilibrio.

⁵ Incluye el peso del núcleo de la estrella y el de aquellas capas que se encuentran más allá de éste.

atraviesa una estrella y que tienen lugar como consecuencia de su masa, mientras que se darán breves descripciones, según sea el caso, de las implicancias que tienen sobre éstos su composición química y su velocidad de rotación.

Al igual que en casos anteriores, con el objeto de simplificar la descripción de tales procesos, podemos tomar una franja que corresponda a aquellas estrellas que presentan una cierta masa como “punto de separación”. En este sentido, podemos considerar la franja que corresponde a estrellas con una masa de entre 8 y 9 masas solares y así separar el conjunto de estrellas que alguna vez formó parte de la Secuencia Principal (SP) del Diagrama Hertzsprung-Russell en dos grandes grupos de acuerdo a sus masas, los cuales denominaremos: Parte Inferior (con $M < 9M_{\odot}$) y Parte Superior. (con $M > 9M_{\odot}$).

Para aquellas estrellas cuya masa total, al momento de ser formadas, no superan las 8 ó 9 masas solares (M_{\odot}), estrellas que consideraremos aquí de la Parte Inferior de la Secuencia Principal, les espera uno de los finales más bellos y vistoso, con la más increíble concepción en variedades de formas y de seguro de lo más apacible (apacible,

claro está, en comparación a los finales que les depara a las estrellas de mayor masa). Se trata de la generación de una Nebulosa Planetaria, con una pequeñísima Enana Blanca como remanente central, resultado de la contracción del núcleo de la difunta estrella.

Por otra parte, para el caso en que las estrellas presenten una masa, al momento de ser formadas, mayor a la de $9M_{\odot}$, estrellas que consideraremos de la Parte Superior de la Secuencia Principal, les aguardan finales muchísimo más caóticos y violentos, como son los casos de una Supernova (de tipo II) y la producción de colosales brotes de Rayos Gamma, que dejarán como remanentes una Estrella de Neutrones o un Agujero Negro.

NEBULOSAS PLANETARIAS Y ENANAS BLANCAS.

Cuando la masa de la estrella al momento de encontrarse en la Secuencia Principal es de entre 1 y 5 masas solares, presenta un núcleo donde se producen las reacciones termonucleares a partir del hidrógeno, lo que da

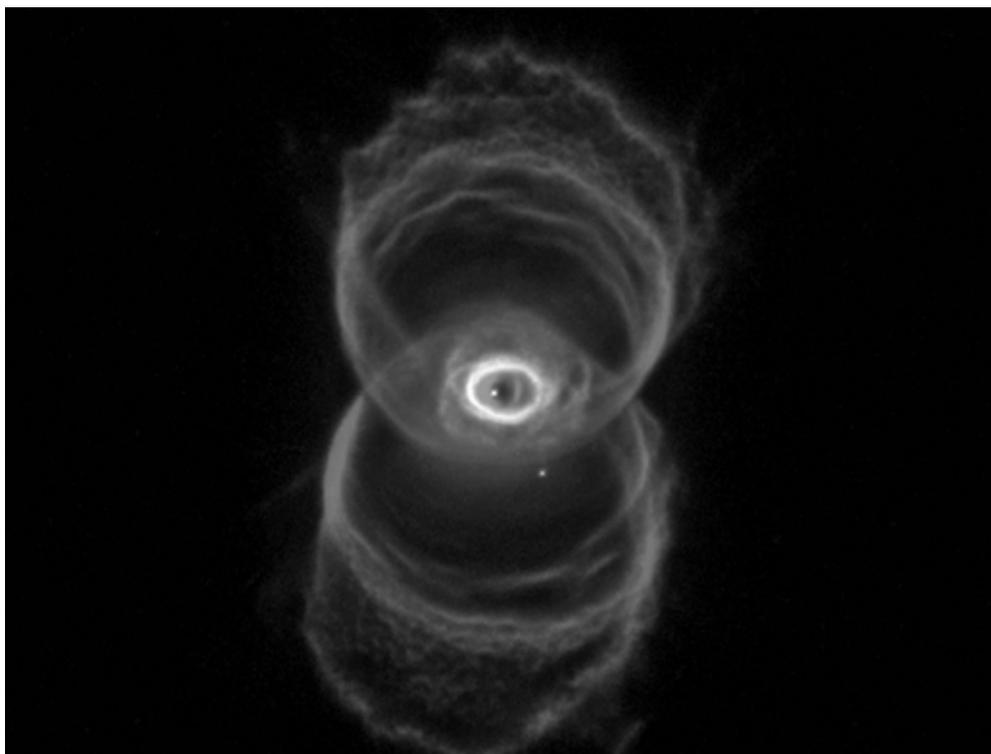


Figura 1. MyCn 18 o Nebulosa Reloj de Arena. Se encuentra a 8.000 años luz de distancia. La estrella central de esta nebulosa planetaria con forma de reloj de arena se encuentra en sus últimas etapas evolutivas. Con su combustible nuclear agotado, esta breve y espectacular fase final en la vida de una estrella del tipo del Sol ocurre cuando sus capas externas son expulsadas. Su núcleo se convierte en una enana blanca, extremadamente caliente pero desvaneciente.

En 1995, Los astrónomos utilizaron el Telescopio Espacial Hubble (HST) para tomar una serie de imágenes de nebulosas planetarias, incluida ésta. La nitidez sin precedentes de las imágenes del Hubble revela detalles del proceso de expulsión de la nebulosa y puede ayudar a resolver el misterio sobre la variedad de complejas formas y simetrías de las nebulosas planetarias.

como resultado la producción de núcleos de átomos de helio y energía, donde esta última contribuye a la estabilidad hidrodinámica de la estrella. Una vez agotado el hidrógeno en el núcleo de este tipo de estrellas, comienza la combustión nuclear del hidrógeno en las capas que se encuentran inmediatamente por encima del núcleo inerte de helio.⁶ Al incrementar su masa debido a estas reacciones, donde se producen más núcleos de helio, se contrae a expensas de su propio peso. Tanto la contracción del núcleo inerte de helio como las reacciones termonucleares del hidrógeno en capas producen un incremento de la temperatura central de la estrella, la cual termina por expandir sus atmósferas externas y, luego de su enfriamiento, permiten que la estrella se desplace de su posición en la secuencia principal del Diagrama H-R hacia la rama de las estrellas gigantes rojas. Esto último, que describe resumidamente la fase de gigante roja (ver RA 278, pag. 21), concluye una vez que en el núcleo de la estrella se alcanza una temperatura de 100 millones de grados (100.000.000 K) momento en que se inician las reacciones termonucleares del helio que dan como resultado núcleos de átomos de carbono y oxígeno (relámpago del helio). Dichos elementos se acumulan en el corazón de la estrella para formar un nuevo núcleo de material inerte. De este modo, tras producirse el relámpago del helio, la estrella adquiere una nueva estructura de equilibrio, reduce su tamaño y aumenta su temperatura; por lo que se sitúa en algún lugar de la rama horizontal de las gigantes.

Ahora bien, como se ha dicho, la estrella en la rama horizontal se encuentra en una situación de equilibrio, y esto continuará de ese modo hasta que se agote nuevamente el combustible en el núcleo de la estrella (en este caso el helio). Una vez agotado éste, el núcleo quedará formado principalmente por carbono y oxígeno, el cual colapsará debido a que la temperatura no es lo suficientemente alta como para sostener su propio peso (recuerden que si la temperatura no es suficiente se pierde presión y la gravedad toma total control de la situación). Por otra parte, el helio que se encuentra en las capas inmediatamente por encima del núcleo inerte de carbono y oxígeno comienza a incrementar su temperatura y densidad al punto tal que se inician las reacciones termonucleares de éste en capas, como antes lo había hecho el hidrógeno. Naturalmente, también se llevarán a cabo reacciones del tipo protón-protón o C.O.N, en capas aún más externas al núcleo.

Todo esto produce que la estrella vuelva a ser inestable y que sus capas más externas se calienten y experimenten nuevamente una fase de expansión, aunque en esta oportunidad la estrella lo hará siguiendo el camino, en el Diagrama H-R, de la rama asintótica de las gigantes. La fusión del helio en capas no se produce de un modo regular. El proceso triple alfa es sumamente sensible a la temperatura y, en general, termina por producirse el fenómeno del Relámpago del Helio en capas, lo que libera enormes cantidades de energía.

Si bien la contracción que se produce en el núcleo de la estrella produce un incremento de la temperatura, éste no es suficiente para iniciar las reacciones termonucleares a partir del carbono y oxígeno, con lo cual, podemos decir que el núcleo deja aquí de producir reacciones nucleares. El hecho de que se produzca un aumento en la temperatura del núcleo de la estrella, debido a la inyección de enormes cantidades de energía resultado de las reacciones termonucleares en capas del hidrógeno y helio (Relámpago del Helio), incrementa considerablemente la producción de energía de radiación. Con esto, las capas externas de la estrella terminan por ser aceleradas al punto tal de superar la velocidad de escape de la estrella y acaban por ser expulsadas al espacio interestelar, teniendo por resultado la producción del fenómeno de Nebulosa Planetaria. Este no es de naturaleza explosiva, sino que resulta ser un fenómeno más bien apacible (por supuesto, teniendo en cuenta los violentos procesos que experimenta una estrella a lo largo de su vida y principalmente en comparación con los procesos finales que experimentan las estrellas de la parte superior de la Secuencia Principal), lo que se verifica por las bajas velocidades radiales observadas (medidas por efecto Doppler).

Cabe aclarar que el nombre de nebulosa planetaria resulta ser poco feliz, pues en realidad no representa una connotación física. Sólo se debe a que los primeros que observaron dichos objetos percibieron una imagen que en algunos aspectos generales les recordaba a un planeta. En realidad, se trata de una nebulosa de gas y polvo, normalmente de emisión, de un tamaño típico de varios años luz de diámetro, que se ve sometida a la acción de grandes cantidades de radiación proveniente del núcleo de la estrella que ahora se ha convertido en una Enana Blanca.

Asimismo, cuando la masa de la estrella, al momento de encontrarse en la secuencia principal, es aproximadamente de entre 5 y 9 masas solares (esto último dependerá de la composición química inicial de la estrella y su velocidad de rotación) se sigue paso a paso lo antes

⁶ En este caso se hace mención al término "núcleo inerte", pues en él ya no se producen reacciones termonucleares.

descrito para estrellas con masas inferiores. Pero en este nuevo caso, la temperatura que puede alcanzar el núcleo de carbono y oxígeno es del orden de los 600 millones de grados ($600.000.000^{\circ}\text{K}$), la que resulta suficiente para iniciar la reacción termonuclear del carbono, dando como resultado la producción de núcleos atómicos de neón, magnesio y más oxígeno.

Una vez más, cuando la estrella agote todas sus reservas de carbono en el núcleo, comenzarán tanto un nuevo proceso de contracción de éste (en esta oportunidad formado por neón, magnesio, oxígeno y algo de carbono), como reacciones termonucleares de los productos de reacciones anteriores en capas en torno a él. Vuelve a tener lugar una nueva fase de inestabilidad para la estrella, la cual se expandirá, se enfriará externamente y se desplazará en el diagrama de H-R por otro camino de la rama asintótica de las gigantes.

Puede ocurrir que al contraerse el núcleo inerte de neón alcance la inimaginable temperatura de 1.000 millones de grados ($1.000.000.000^{\circ}\text{K}$), iniciando así las reacciones termonucleares de éste, lo cual da como resultado el aumento en la concentración de oxígeno y magnesio en el núcleo de la estrella.

Nuevamente, si la estrella no presenta una masa suficiente como para elevar la temperatura de su núcleo a un punto crítico, donde se dé inicio a las reacciones termonucleares del elemento primordial que lo compone, éste resultará inerte respecto a la producción de nuevas reacciones termonucleares y su actividad culminará en dicha etapa. La estrella no podrá recuperar su estabilidad y terminará, una vez más, como una Nebulosa Planetaria. Las estrellas con las características mencionadas en los párrafos anteriores, al pasar por una o varias etapas de inesta-

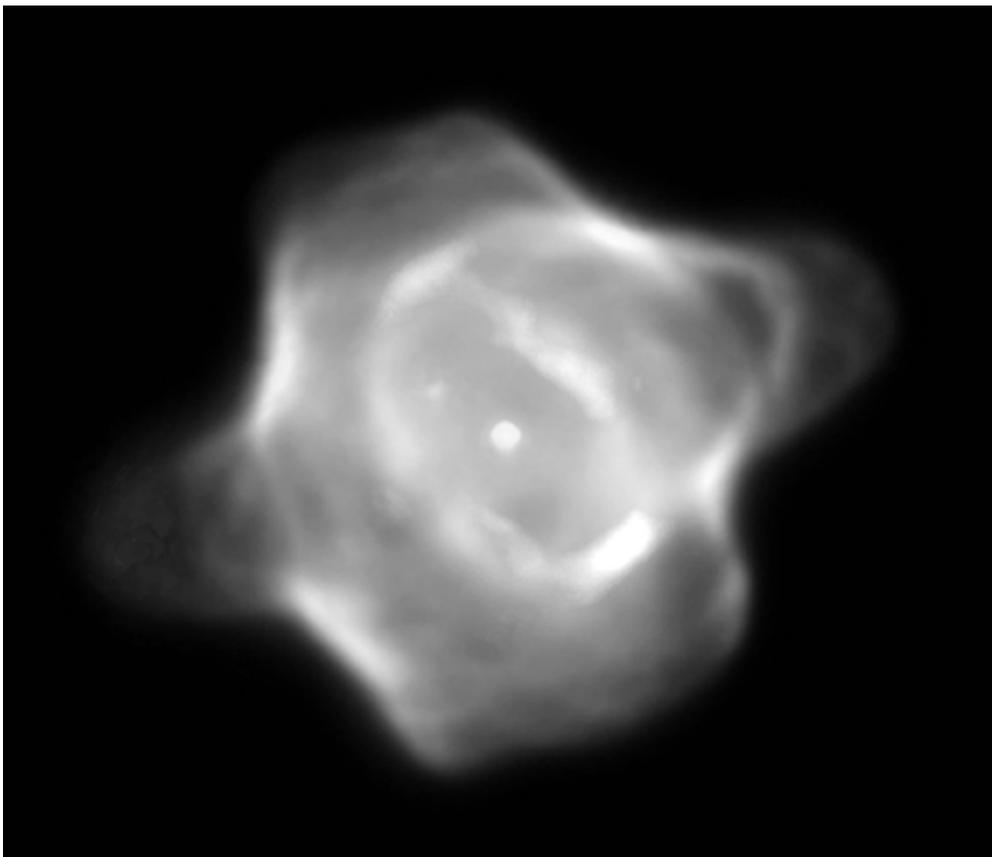


Figura 2. El Telescopio Espacial Hubble muestra a la nebulosa planetaria más joven que se haya imaginado. Hace sólo 20 años, el gas que rodea la moribunda estrella central todavía no estaba lo suficientemente caliente como para brillar. Conocida como la Nebulosa Stingray (Henize 1357), la esfera de gas incandescente se encuentra a unos 18.000 años luz en la constelación de Ara en el hemisferio sur celeste.

La nebulosa es unas 130 veces más grande que nuestro Sistema Solar, pero tiene sólo un décimo del tamaño de otras nebulosas planetarias conocidas. El Hubble ha sido el primer telescopio en proveer una imagen de cerca de esta pequeña nube de gas. Entre la compleja estructura que incluye un anillo y burbujas de gas, la imagen revela que la estrella central es binaria. Recientemente, los astrónomos han sugerido que la presencia de una compañera es la clave en la creación de las diversas formas de las nebulosas planetarias.

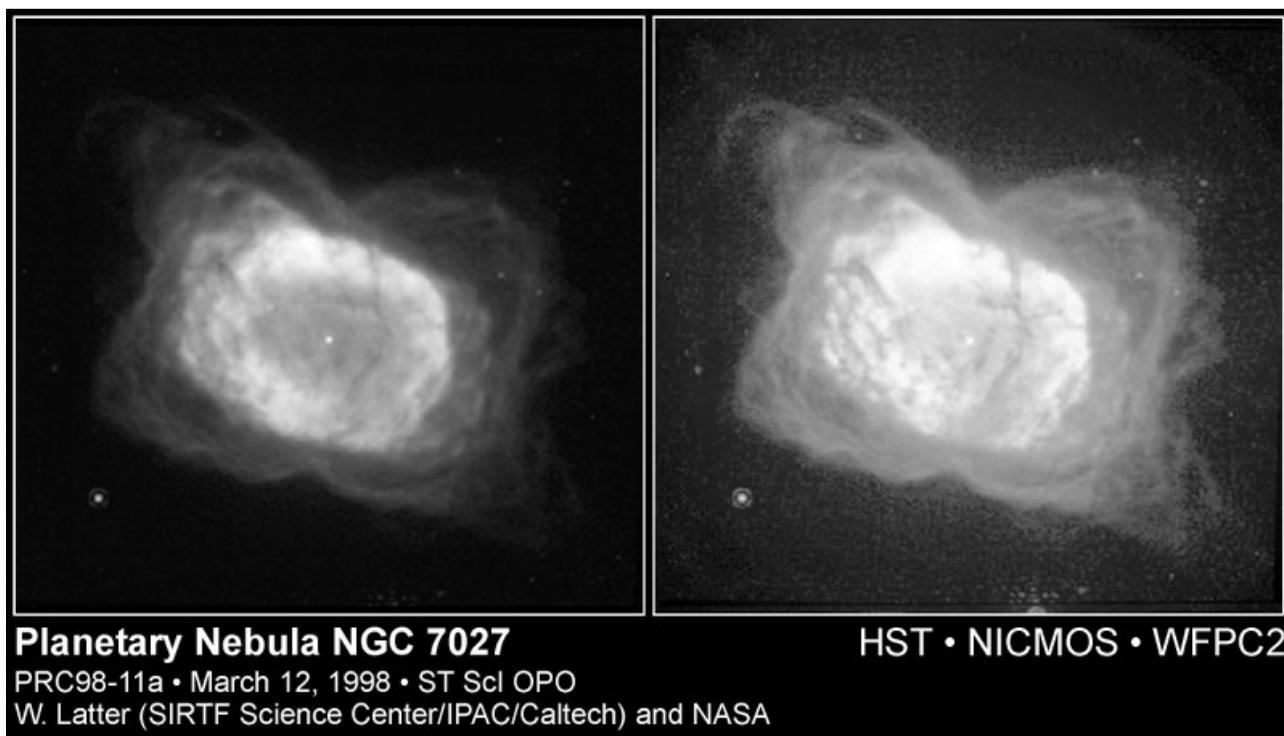
bilidad, pueden llegar a perder hasta un 90 % de su masa. de la estrella.

El físico hindú Subramanyan Chandrasekhar demostró en 1918 que un núcleo estelar cuya masa, abundante en Helio, sea de $1,44 M_{\odot}$ sería capaz de detener su contracción debida a la acción gravitatoria de su propio peso. Este límite, denominado comúnmente Límite de Chandrasekhar, naturalmente varía de acuerdo con la composición química de la estrella, pudiendo ser de $1,40 M_{\odot}$ para el caso de que un núcleo estelar que se encuentre formado principalmente por Carbono, o de $1,11 M_{\odot}$ para el caso en que éste esté formado principalmente por Hierro. Asimismo, el valor de dicho límite será tanto mayor, en cada caso, cuanto mayor sea la velocidad de rotación

Así pues, una vez formada la nebulosa planetaria, el núcleo de la estrella moribunda (cuya masa no supere el límite de Chandrasekhar) se encontrará en proceso de contracción, el cual seguirá hasta que los electrones libres que forman parte de este núcleo estén lo suficientemente cerca unos de otros, como para que la fuerza de repulsión, debida al principio de exclusión de Pauli, cobre las riendas de la situación y permita que la estrella se estabilice (se llegará a un equilibrio entre la fuerza de gravedad y la fuerza debida a la repulsión por el principio de exclusión de Pauli). Tendremos pues que una masa algo superior a la del Sol se encuentra en una esfera del tamaño de la



Figura 3. La Nebulosa de la Hélice. Situada a una distancia de 650 años luz y abarcando una porción de cielo en la constelación de Aquarius equivalente a media Luna Llena. Presenta un tamaño que corresponde a un gran anillo de casi tres años luz de diámetro: aproximadamente tres cuartas partes de la distancia entre el Sol y su estrella más cercana. Se encuentra entre las nebulosas planetarias más cercanas a la Tierra. La imagen muestra una impresionante red de radios filamentosos embebidos en un encendido anillo gaseoso rojo (hidrógeno y nitrógeno) y verde-azulado (oxígeno) (ver RA 278, pag. 20).



Planetary Nebula NGC 7027

PRC98-11a • March 12, 1998 • ST ScI OPO

W. Latter (SIRTF Science Center/IPAC/Caltech) and NASA

HST • NICMOS • WFPC2

Tierra (de unos 12.000 a 20.000 Km) y con una densidad del material tal que una pequeña cucharada pesaría lo que el monte Everest (aproximadamente 100 millones de toneladas por metro cúbico). Su temperatura será de varios centenares de miles de grados y se irá enfriando, primero con bastante celeridad y luego más lentamente. Se dice así que se ha formado una Enana Blanca. Como hemos dicho, al no producirse reacciones termonucleares en ella, la misma no debería denominarse propiamente estrella: se trata sólo de un remante, aquel despojo de un núcleo pesado incandescente de una estrella moribunda, al que sólo le resta enfriarse hasta convertirse en una Enana Negra.

Mucho más de la mitad de las enanas blancas observadas presentan una pequeña atmósfera rica en hidrógeno, mientras que otras carecen totalmente de éste elemento y se caracterizan por ser ricas en helio, carbono y calcio.

El aspecto de las nebulosas planetarias es muy diverso, aunque en general este es anular, aunque ello corresponde sólo a un efecto visual. Son en realidad grandes burbujas o esferas, aunque las observaciones de alta resolución muestran complejas estructuras, que envuelven a la enana blanca en su centro. En algunos casos se observa cómo los gases eyectados alcanzan a los expulsados por la estrella en etapas anteriores de inestabilidad y al interactuar

con ellos, o con el material del medio interestelar, dan como resultado una gran diversidad de hermosas formas y estructuras (Nebulosa de la Hélice, figura 3).

En otras, en cambio, se observan formas claramente asimétricas, en las que se distinguen eyecciones bipolares, como ocurre con la Nebulosa del Reloj de Arena (Fig. 1) y la Nebulosa del Ojo de Gato.

Asimismo, existen otros tipos de nebulosas planetarias donde su forma parece simplemente caprichosa. Si bien no se sabe con seguridad las razones de estas asimetrías en la forma de los remanentes de materia expulsado por las estrellas en sus últimas etapas, se cree que son el resultado de la interacción entre el material expulsado por la estrella y el material preexistente en sus inmediaciones; o bien, se podría deber a irregularidades en el modo en que la difunta estrella expulsa la materia de sus capas externas, o a la existencia de una estrella binaria. Así, se pueden ver imágenes de nebulosas planetarias con éstas características como la Nebulosa Stingray (Fig. 2).



Adrián Bogao

A.A.A.A.

Profesor de Astronomía 1

Estudiante de Cs. Físicas FCEN UBA

CÚMULOS VIEJOS EN LA NUBE MENOR DE MAGALLANES

EL SORPRENDENTE ESCASO NÚMERO DE CÚMULOS FORMADOS CONJUNTAMENTE CON ESTA GALAXIA HA SUSCITADO EL INTERÉS DE TODA LA COMUNIDAD ASTRONÓMICA INTERNACIONAL. RECIENTEMENTE, SE HA IDENTIFICADO UN 60% MÁS DE CÚMULOS VIEJOS RESPECTO DE LOS CONOCIDOS HASTA EL PRESENTE.

La cuestión acerca de la existencia de cúmulos viejos, en la Nube Menor de Magallanes, ha despertado siempre un enorme interés. Los resultados del más reciente censo de cúmulos estelares, en esta galaxia, con edades estimadas mayores a los 1000 millones de años muestran que, de un total de 43 cúmulos listados, sólo 11 podrían considerarse genuinamente, con edades intermedias o viejos (edad > 5000 millones de años). Si bien se han llevado a cabo diferentes campañas observacionales, con el objeto de encontrar cúmulos viejos, desafortunadamente, no ha sido identificado ningún candidato. Estos resultados parecerían no sólo mostrar que la tarea de encontrar más cúmulos viejos, en la Nube Menor de Magallanes, es ardua, sino también que ésta parecería una empresa de difícil éxito.

El llamativo escaso número de cúmulos viejos resulta aún más notable, cuando se los compara con los casi 500 cúmulos catalogados en la galaxia, representando menos del 3% de su población de cúmulos estelares.

Sobre la base de este puñado de cúmulos viejos conocidos, recientes estudios han aparecido en la literatura, con una visión que permite mejorar nuestro conocimiento acerca de la formación y de la evolución química de la Nube Menor de Magallanes.

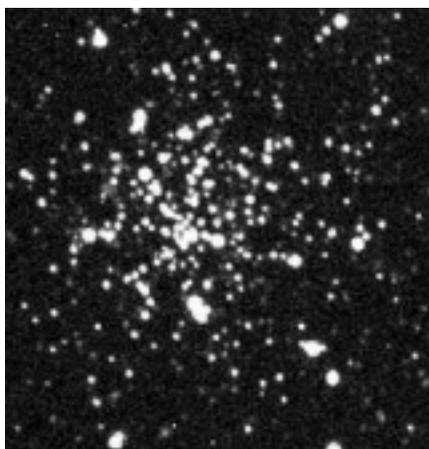


Figura 1. Imagen de cúmulo ESO51-SC09, adquirida con el NTT.

Por ejemplo, las estimaciones de edades y de metalicidades de cúmulos viejos nos han ayudado a comprender mejor la relación edad-metalicidad de la galaxia, acerca de su estructura jerárquica, acerca de la distribución de edades de los cúmulos estelares, entre otros.

Por otro lado, desde un punto de vista teórico, se han reportado evidencias, de que hace unos 7500 millones de años la Nube Menor de Magallanes habría experimentado un evento violento de formación estelar, con el consiguiente enriquecimiento químico. Por lo tanto, con el objetivo de componer una imagen robusta, acerca de la formación y evolución química de la galaxia, resulta de vital importancia saber si éstos son los únicos cúmulos de edad intermedia o viejos, que se formaron en la misma.

Con el advenimiento de telescopios de gran tamaño, detectores y cámaras digitales de última generación, los principales observatorios internacionales han puesto a disposición de toda la comunidad una enorme cantidad de datos científicos. Precisamente, haciendo uso de bases de datos almacenadas en los archivos del National Optical Astronomy Observatory (NOAO), ha sido posible analizar imágenes obtenidas con el telescopio Víctor Blanco de 4m de Cerro Tololo Inter-American Observatory (CTIO) y una cámara-mosaico CCD de gran campo (36'x36').

La exquisita calidad de las imágenes como así también la importante cobertura espacial conseguida, permitieron observar gran parte de la galaxia, logrando finalmente cubrir una muestra representativa de todas sus poblaciones estelares.

A partir de este relevamiento sin precedentes se determinaron magnitudes y colores en el sistema fotométrico de Washington, de más de 3 millones de estrellas y de unos 150 cúmulos estelares. Dichas mediciones de cúmulos estelares sirvieron, a su vez, para diferentes aplicaciones, como por ejemplo determinar sus radios o tamaños angulares, estimar sus edades y metalicidades, ob-

tener una medida de cuán afectados se hallan, debido a la extinción del polvo interestelar, entre otras. Las edades de estos agregados fue posible estimarlas a partir de indicadores fotométricos, calibrados previamente en términos de edad, y sus metalicidades (o contenido de abundancias metálicas) a partir del conocimiento previo de líneas de iso-abundancias, trazadas en diferentes diagramas fotométricos.

Entre los cúmulos analizados, muchos de los cuales no disponían hasta entonces de ningún estudio previo, se identificaron 7 cúmulos genuinamente con edades intermedias o viejos.

El hallazgo sorprendió a los investigadores involucrados por el impacto de sus resultados. Los nuevos cúmulos viejos son conocidos con los siguientes nombres: HW 31, HW 40, HW 41, HW 42, HW 59, HW 63, y L 91. Sus edades varían desde 5000 millones de años hasta 9500 millones de años, es decir, cubren el rango de edades de los objetos más viejos conocidos en la Nube Menor de Magallanes.

Respecto de sus abundancias químicas, el grupo de investigadores también confirmó que se trataría de objetos con metalicidades muy bajas, con niveles de abundancias metálicas propias de los comienzos de la formación de la galaxia. Los resultados fueron difundidos en 2011 a través de una Letter en la revista especializada *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* (416, L89).

Los 7 nuevos cúmulos, de edad intermedia y viejos, representan un 60% más de objetos que se agregan a la lista de los sólo 11 cúmulos viejos conocidos hasta entonces. La cantidad de cúmulos hallada es verdaderamente significativa, más aún si se considera que muchos esfuerzos se habían hecho hasta entonces, para identificar nuevos candidatos. Tal vez, haya influido en este afortunado resultado, el hecho de disponer de datos observacionales de última generación. Así, por ejemplo, un detalle llamativo es que los 7 flamantes candidatos a cúmulos viejos, se encuentran distribuidos dentro del disco interior de la Nube Menor de Magallanes, donde la contaminación de estrellas del campo es importante. Por su parte, los anteriormente bien conocidos 11 cúmulos viejos se distribuyen mayoritariamente en las regiones más externas de la galaxia, donde las condiciones de observación, no son tan severas.

Podríamos preguntarnos si los actuales 18 cúmulos viejos constituyen la población total de cúmulos

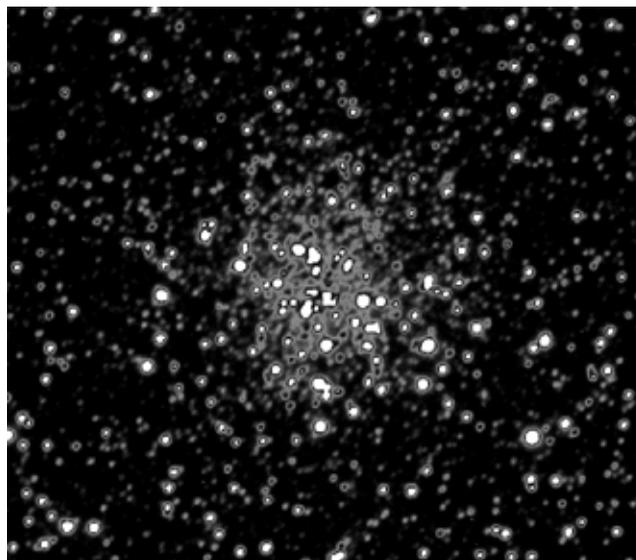


Figura 2. Imagen del cúmulo L 91, tomada con el telescopio de 4m de CTIO.

viejos en la Nube Menor de Magallanes, o si, por el contrario, aún existen cúmulos viejos en la galaxia que no han sido descubiertos. Ciertamente, no será posible dar una respuesta definitiva hasta que no se haya completado el estudio de los casi 500 agregados catalogados.

De todos modos, algunos científicos han estimado estadísticamente sobre la base del número total de cúmulos catalogados y los estudiados hasta el presente. ¿Qué probabilidad existe de encontrar más cúmulos viejos, en la galaxia? Aparentemente, sus resultados muestran que deberíamos esperar encontrar unos 7 cúmulos viejos, aún no estudiados.

A excepción de uno solo, todos deberían localizarse en las regiones más densas de la galaxia. El desafío fue planteado en detalle en un artículo publicado en 2011 en *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* (418, L69).

Desde entonces, sólo fue reportado el hallazgo de un cúmulo viejo, ubicado en el disco exterior de la galaxia. Se trata de un objeto conocido con el nombre de ESO51-SC09, cuya edad resultó ser de 7000 millones de años. El descubrimiento fue realizado en 2012 examinando datos obtenidos con el New Technology Telescope (NTT) del European Southern Observatory, y dado a conocer a la comunidad científica en una Letter en la prestigiosa revista especializada *The Astrophysical Journal*, 756, L32. 

Dr. Andrés E. Piatti
IAFE - CONICET

Diario de Fenómenos Astronómicos 2013

Está calculado para un observador global. La información se encuentra en Tiempo Universal (para la Argentina H.L... = T.U. - 3 hrs)

Abril

- Día Hora
- 01 11 Luna máx. decl. Surf(-20° 3)
- 03 01 Plutón 0.95 de la Luna Occn.
- 03 04 CUARTO MENGUANTE
- 06 20 Neptuno 5.65 de la Luna
- 07 04 Venus 0.65 de Marte
- 09 12 Urano 3.85 de la Luna
- 10 09 LUNA NUEVA
- 10 13 Marte 2.65 de la Luna
- 10 16 Venus 3.15 de la Luna
- 12 19 Plutón estacionario
- 14 10 Aldebarán 3.55 de la Luna
- 14 18 Júpiter 2.0N de la Luna
- 15 05 Luna máx. decl. Norte(20° 2)
- 15 22 Luna en apogeo
- 18 00 Marte en conjunción
- 18 12 CUARTO CRECIENTE
- 20 08 Mercurio 1.85 Urano
- 21 01 Regulus 5.6N de la Luna
- 25 00 Spica 0.15 de la Luna occn.
- 25 19 LUNA LLENA Eclipse
- 26 00 Saturno 3.4N de la Luna
- 27 19 Luna en perigeo
- 28 08 Saturno en oposición
- 28 19 Luna máx. decl. Surf(-20° 2)
- 30 07 Plutón 1.05 de la Luna occn.

Mayo

- Día Hora
- 02 11 CUARTO MENGUANTE
- 04 03 Neptuno 5.65 de la Luna
- 06 20 Urano 3.85 de la Luna
- 07 23 Mercurio 0.45 de Marte
- 09 13 Marte 0.45 de la Luna occn.
- 09 19 Mercurio 0.35 de la Luna occn.
- 10 00 LUNA NUEVA Eclipse
- 11 00 Venus 1.4N de la Luna
- 11 17 Aldebarán 3.45 de la Luna
- 11 20 Mercurio conjunción superior
- 12 12 Luna máx. Decl. Norte(20° 2)
- 12 13 Júpiter 2.5N de la Luna
- 13 13 Luna en apogeo
- 17 17 Venus 5.8N de Aldebarán
- 18 04 CUARTO CRECIENTE
- 18 09 Regulus 5.6N de la Luna
- 22 10 Spica 0.15 de la Luna occn.
- 23 07 Saturno 3.5N de la Luna

- 24 23 Mercurio 1.4N de Venus
- 25 04 LUNA LLENA
- 26 01 Luna EN perigeo
- 26 05 Luna máx. decl. Surf(-20° 2)
- 27 09 Mercurio 2.3N de Júpiter
- 27 15 Plutón 0.95 de la Luna occn.
- 28 19 Venus 1.0N de Júpiter
- 31 10 Neptuno 5.65 de la Luna
- 31 19 CUARTO MENGUANTE

Junio

- Día Hora
- 03 04 Urano 3.75 de la Luna
- 07 13 Marte 1.8N de la Luna
- 07 17 Neptuno estacionario
- 07 23 Aldebarán 3.45 de la Luna
- 08 15 LUNA NUEVA
- 08 20 Luna máx. decl. Norte(20° 2)
- 09 08 Júpiter 3.0N de la Luna
- 09 21 Luna en apogeo
- 10 10 Venus 5.2N de la Luna
- 10 21 Mercurio 5.8N de la Luna
- 12 15 Mercurio máx. elong. E(24°)
- 14 12 Marte 5.7N de Aldebarán
- 14 16 Regulus 5.5N de la Luna
- 16 17 CUARTO CRECIENTE
- 18 20 Spica 0.25 de la Luna occn.
- 19 15 Saturno 3.4N de la Luna
- 19 16 Júpiter en conjunción
- 20 23 Mercurio 2.05 de Venus
- 21 05 Solsticio
- 22 06 Venus 5.25 de Pollux
- 22 16 Luna máx. decl. Surf(-20° 2)
- 23 11 LUNA LLENA
- 23 11 Luna en perigeo
- 24 00 Plutón 0.95 de la Luna occn.
- 25 23 Mercurio estacionario
- 27 17 Neptuno 5.55 de la Luna
- 30 05 CUARTO MENGUANTE
- 30 12 Urano 3.55 de la Luna

Julio

- Día Hora
- 02 00 Plutón en oposición
- 05 05 Aldebarán 3.35 de la Luna
- 05 14 Tierra en afelio
- 06 02 Luna máx. decl. Norte(20° 1)
- 06 12 Marte 3.7N de la Luna
- 07 01 Luna en apogeo
- 07 03 Júpiter 3.5N de la Luna
- 08 07 LUNA NUEVA
- 08 11 Mercurio 0.15 de la Luna occn.
- 09 04 Saturno estacionario
- 09 18 Mercurio conjunción inferior

- 11 22 Regulus 5.4N de la Luna
- 16 03 CUARTO CRECIENTE
- 16 03 Spica 0.35 de la Luna occn.
- 16 23 Saturno 3.2N de la Luna
- 17 23 Urano estacionario
- 20 03 Luna máx. decl. Surf(-20° 0)
- 20 11 Mercurio estacionario
- 21 10 Plutón 1.05 de la Luna occn.
- 21 20 Luna en perigeo
- 22 07 Marte 0.8N de Júpiter
- 22 13 Venus 1.1N of Regulus
- 22 18 LUNA LLENA
- 25 02 Neptuno 5.45 de la Luna
- 27 20 Urano 3.35 de la Luna
- 29 17 CUARTO MENGUANTE
- 30 09 Mercurio máx. elong. W(20°)

Agosto

- Día Hora
- 01 11 Aldebarán 3.15 de la Luna
- 02 09 Luna máx. decl. Norte(20° 0)
- 03 09 Luna en apogeo
- 03 21 Júpiter 4.0N de la Luna
- 04 10 Marte 5.1N de la Luna
- 05 06 Mercurio 4.3N de la Luna
- 06 21 LUNA NUEVA
- 08 03 Regulus 5.2N de la Luna
- 09 22 Venus 4.9N de la Luna
- 12 09 Spica 0.55 de la Luna occn.
- 13 06 Saturno 2.8N de la Luna
- 14 10 CUARTO CRECIENTE
- 16 12 Luna máx. decl. Surf(-19° 9)
- 17 18 Plutón 1.25 de la Luna occn.
- 17 20 Marte 5.85 de Pollux
- 19 01 Luna en perigeo
- 21 01 LUNA LLENA
- 21 11 Neptuno 5.35 de la Luna
- 23 23 Mercurio 1.3N de Regulus
- 24 04 Urano 3.25 de la Luna
- 24 21 Mercurio conjunción superior
- 27 01 Neptuno en oposición
- 28 09 CUARTO MENGUANTE
- 28 19 Aldebarán 2.95 de la Luna
- 29 17 Luna máx. decl. Norte(19° 8)
- 30 23 Luna en apogeo
- 31 15 Júpiter 4.4N de la Luna

Septiembre

- Día Hora
- 04 10 Regulus 5.2N de la Luna
- 05 11 LUNA NUEVA
- 06 02 Venus 1.6N de Spica
- 06 10 Mercurio 4.5N de la Luna
- 08 14 Spica 0.75 de la Luna occn.

- 08 20 Venus 0.5N de la Luna occn.
- 09 15 Saturno 2.3N de la Luna
- 12 17 CUARTO CRECIENTE
- 12 18 Luna máx. decl. Surf(-19° 7)
- 14 01 Plutón 1.45 de la Luna
- 15 16 Luna en perigeo
- 17 19 Neptuno 5.35 de la Luna
- 18 20 Venus 3.55 de Saturno
- 19 11 LUNA LLENA
- 20 05 Plutón estacionario
- 20 12 Urano 3.15 de la Luna
- 22 20 Equinoccio
- 25 01 Mercurio 0.7N de Spica
- 25 03 Aldebarán 2.85 de la Luna
- 26 00 Luna máx. decl. Norte(19° 6)
- 27 03 CUARTO MENGUANTE
- 27 17 Luna en apogeo
- 28 07 Júpiter 4.8N de la Luna

Octubre

- Día Hora
- 01 18 Regulus 5.3N de la Luna
- 03 14 Urano en oposición
- 05 00 LUNA NUEVA
- 05 22 Spica 0.85 de la Luna occn.
- 07 00 Mercurio 2.75 de la Luna
- 07 03 Saturno 1.9N de la Luna
- 08 13 Venus 4.65 de la Luna
- 08 21 Mercurio 5.05 de Saturno
- 09 06 Mercurio máx. elong. E(25°)
- 09 23 Luna máx. decl. Surf(-19° 6)
- 10 23 Luna en perigeo
- 11 06 Plutón 1.65 de la Luna
- 11 23 CUARTO CRECIENTE
- 15 01 Neptuno 5.45 de la Luna
- 15 12 Marte 0.9N de Regulus
- 16 21 Venus 1.5N de Antares
- 17 19 Urano 3.25 de la Luna
- 18 23 LUNA LLENA Eclipse
- 21 12 Mercurio estacionario
- 22 11 Aldebarán 2.75 de la Luna
- 23 09 Luna máx. decl. Norte(19° 6)
- 25 13 Luna en apogeo
- 25 20 Júpiter 5.0N de la Luna
- 26 23 CUARTO MENGUANTE
- 29 03 Regulus 5.3N de la Luna
- 29 17 Mercurio 3.65 de Saturno

Noviembre

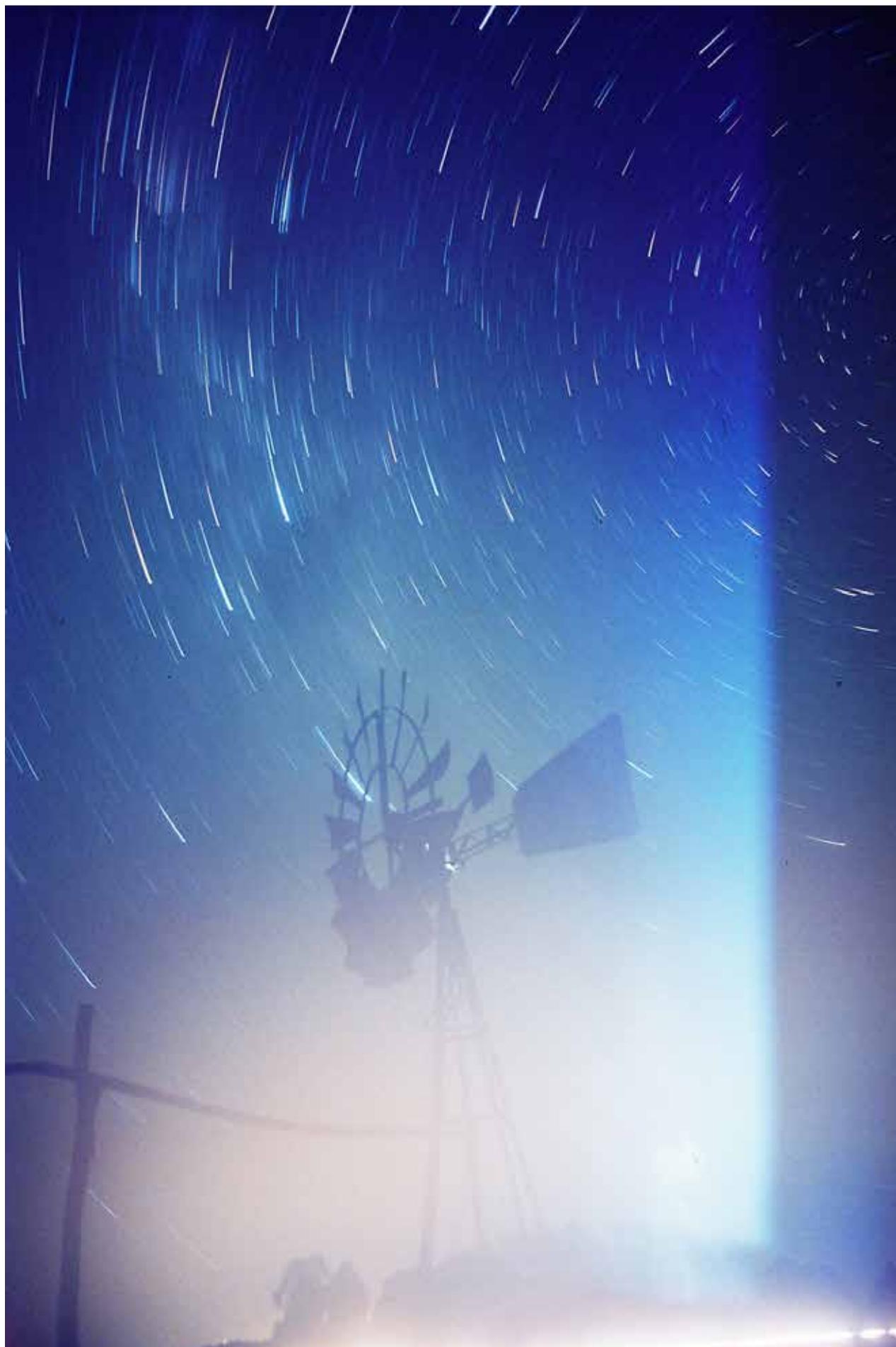
- Día Hora
- 01 05 Venus máx. elong. E(47°)
- 01 20 Mercury conjunción inferior
- 02 07 Spica 0.85 de la Luna occn.

- 03 06 Mercurio 0.0N de la Luna occn.
- 03 12 LUNA NUEVA Eclipse
- 03 17 Saturno 1.6N de la Luna
- 06 06 Luna máx. decl. Surf(-19° 6)
- 06 09 Luna en perigeo
- 06 11 Saturno en conjunción
- 07 07 Júpiter estacionario
- 07 13 Plutón 1.75 de la Luna
- 10 06 CUARTO CRECIENTE
- 10 14 Mercurio estacionario
- 11 07 Neptuno 5.45 de la Luna
- 13 21 Neptuno estacionario
- 14 00 Urano 3.25 de la Luna
- 17 15 LUNA LLENA
- 18 08 Mercurio máx. elong. W(19)
- 18 19 Aldebarán 2.75 de la Luna
- 19 17 Luna máx. decl. Norte(19° 6)
- 22 04 Júpiter 5.0N de la Luna
- 22 09 Luna en apogeo
- 25 12 Regulus 5.3N de la Luna
- 25 19 CUARTO MENGUANTE
- 26 01 Mercurio 0.35 de Saturno
- 27 11 Marte 5.3N de la Luna
- 29 17 Spica 0.95 de la Luna occn.

Diciembre

- Día Hora
- 01 09 Saturno 1.2N de la Luna occn.
- 01 22 Mercurio 0.55 de la Luna occn.
- 03 00 LUNA NUEVA
- 03 17 Luna máx. decl. Surf(-19° 6)
- 04 10 Luna en perigeo
- 04 23 Plutón 1.85 de la Luna
- 08 13 Neptuno 5.35 de la Luna
- 09 15 CUARTO CRECIENTE
- 11 04 Urano 3.15 de la Luna
- 11 13 Mercurio 4.6N de Antares
- 16 02 Aldebarán 2.65 de la Luna
- 17 01 Luna máx. decl. Norte(19° 6)
- 17 09 LUNA LLENA
- 18 01 Urano estacionario
- 19 06 Júpiter 4.9N de la Luna
- 19 23 Luna en apogeo
- 20 19 Venus estacionario
- 21 17 Solsticio
- 22 19 Regulus 5.1N de la Luna
- 25 13 CUARTO MENGUANTE
- 25 23 Marte 4.4N de la Luna
- 27 03 Spica 1.15 de la Luna occn.
- 29 00 Saturno 0.8N de la Luna occn.
- 29 06 Mercurio conjunción superior
- 31 05 Luna máx. decl. Surf(-19° 5)
- 31 11 Mercurio 4.65 Plutón

Dirección de Observatorio A.A.A.A.



Polo sur celeste
YAMAY, Bs. As. por Nahuel M. Srnec



Despegue del cohete Delta II transportando la misión SAC-D/Aquarius, 10 de Junio de 2011