



PEQUEÑECES
HISTORIA DE LA FÍSICA DE PARTÍCULAS ELEMENTALES



EVOLUCIÓN ESTELAR
CUANDO LAS ESTRELLAS AGOTAN EL HIDRÓGENO DE SU NÚCLEO



EL LEONCITO
VISITA AL COMPLEJO ASTRONÓMICO MÁS IMPORTANTE DEL PAÍS



FOTOGRAFIA DE M 8 - Laguna TOMADA CON UN TELESCOPIO HOKENN.
 Gentileza de Roberto Madkintosh y A.A. Amigos de la Astronomía

AHORA LA MEJOR TECNOLOGÍA DEL MUNDO TAMBIÉN ES ACCESIBLE.



SATURNO: 00.00.09"
 ORION: 00.00.15"
 SIRIUS: 00.00.11"
 PLUTON: 00.00.09"
 MARTE: 00.00.20"
 M13: 00.00.12"
 ALPHA CENTAURI: 00.00.08"

GOTO2501200PEQ5 REFLECTOR SCOPE/ Diseño óptico parabólico Montura ecuatorial robotizada de búsqueda automática



D 254 mm / f 1200 mm
 Espejo primario parabólico con difracción limitada
 Ocular de 1.25" Super 25, Super 10.
 2x barlow lens
 Buscador de 9x50
 Diseño Óptico Newtoniano (parabólico).
 Enfocador Craiford diámetro 2" con adaptador de 1.25".
 Montura ecuatorial Syncan Eq5 que permite un seguimiento de alta precisión.
 Menú de uso fácil con más de 13.400 objetos.
 Tiene la capacidad de conectarse a una computadora mediante un cable RS-232.

- Precisión de posicionamiento de hasta 1 minuto de arco.
- Motores de velocidad gradual con el paso de 1,8° ángulo de 64 pasos y micro conducido.
- Velocidad de giro de hasta 3,4° / s (800X).
- Auto Guiador Interface para astro-fotografía.
- Velocidad de rectores seleccionable desde 0.25X, 0.50X, 0.75X, o 1X.
- Base de datos con completa Messier, NGC, IC y catálogos.
- Mínima vibración constante para la fotografía de larga exposición.
- Corrección de error periódico.
- PC compatibilidad.
- Actualizable por Internet.

HOKENN
 HAY OTROS MUNDOS POR VER

www.wald.com.ar/hokenn





EDITORIAL

Ya ha pasado el año internacional de la astronomía, los festejos del bicentenario, la conmemoración de nuestro 80° aniversario (que recordamos en las páginas que siguen) y un sinnúmero de eventos de observación y difusión.

Como anunciamos en el número anterior, el curso de fotografía astronómica se ha renovado por completo y se ha generado un nuevo grupo de trabajo. En estas páginas

se encuentran las experimentaciones hechas con cámaras estenopéicas preparadas para fotografiar el camino del Sol en nuestro cielo durante 3 meses y artículos escritos por los profesores del curso. A su vez, al equipo digital adquirido para el curso le hemos sumado una montura ecuatorial motorizada Sky-Watcher EQ6 PRO para la cual el equipo de óptica le construyó un telescopio de 215mm de diámetro y una relación F/D 3,66.

Hace ya ocho décadas que venimos difundiendo y popularizando la astronomía, el área científica que cuenta con la mayor comunidad de aficionados y entusiastas (imaginemos, en comparación, la cantidad de amateurs en el mundo que pueden reunir la geología, la oceanografía o la mecánica clásica). Paradójicamente, ser aficionado a las estrellas es algo sumamente extraño entre los estudiantes de astronomía y científicos profesionales.

Hoy, a casi un año del último número, hemos finalizado la nueva Revista Astronómica. Han sido meses de mucho trabajo: se rediseñó por completo la revista, se añadieron más páginas, se han sumado a nuestros escritores nuevos científicos y aficionados. Esperamos que la disfruten y que nos ayuden a seguir mejorando ésta que es la revista de todos los Amigos de la Astronomía.

Nahuel M. Srnec

FE DE ERRATAS

En nuestro número anterior, en el artículo sobre Canis Minor, la constelación se extiende entre los $-00^{\circ} 20'$ y los $+13^{\circ} 12'$ de declinación (no entre los $-00^{\circ} 20'$ y los $+35^{\circ} 54'$; error que se arrastró al resto del artículo). Una versión corregida de la revista se puede descargar de nuestro sitio web en formato pdf.

En la actualización del sitio web y de sus servidores, se han perdido las cuentas de email anteriores de la revista, por lo que estamos utilizando la siguiente: revista@amigosdelaastronomia.org

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

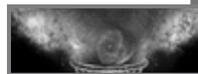
Sitio web: <http://www.amigosdelaastronomia.org>

AG ISSN: 0044-9253

Registro Nacional de la Propiedad Intelectual: 797732

BESTIARIO ASTRONÓMICO

Noticias y novedades astronómicas



4

PEQUEÑECES: 1ª ENTREGA

Historia de la física de partículas elementales



6

SOLARIGRAFÍAS

Fotografiando la eclíptica con cámaras estenopéicas



15

PÓSTER CENTRAL

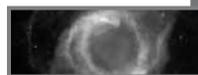
Foto del 80° aniversario de la Asociación



18

NEBULOSA HELIX

Estudio de la nebulosa planetaria



20

EVOLUCIÓN ESTELAR

Estrellas que agotan el hidrógeno en sus núcleos



21

CASLEO

Visita al Complejo Astronómico El Leoncito



26

CANES VENATICI

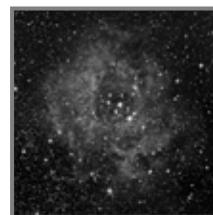
Estudio de la constelación y sus objetos observables



30

FOTO DE TAPA

La nebulosa Roseta, fotografiada por Matías Jones desde San Juan, en su visita al CASLEO pero con su propio equipamiento. Para la obtención de la imagen se utilizó una cámara Canon 40D modificada a foco primario de un telescopio Hokken 150750 (con corrector de coma); todo trabajando sobre una montura Meade LXD55 y autoguiado con un telescopio maksutov-cassegrain de 10cm y una webcam. La imagen es un mosaico de 2 cuadros de 80 min aproximadamente cada uno.



FUNDADOR Carlos Cardalda

DIRECTOR

Carlos E. Angueira Vázquez

DIRECTOR PERIODÍSTICO

Nahuel Matías Srnec

COLABORADORES

Adrián Bogao

Ezequiel Koile

Gabriel Brichetto

Roberto Mackintosh

Verónica Espino

Inés Simone

Matías Jones

Nelson Simoni

Jorge Weselka

Comisión Directiva de la A.A.A.A.:

Presidente: Roberto Mackintosh

Vicepresidente: Carlos E. Angueira Vázquez

Secretario: Luis Manterola

Prosecretario: Adrián Bogao

Tesorero: Enrique Dios

Protesorero: Edgardo Perea

Vocales Titulares: Horacio Galacho, Matías Jones, Mónica Konishi, Verónica Leyenda, Martín Monteverde, Nahuel M. Srnec.

Vocales Suplentes: Ariel Kachuka, Ezequiel Koile, Alexia Rotzajt.

Comisión revisora de cuentas: Mónica Willimann, Leandro Casiraghi, Nelson Simoni.

Correo de lectores: revista@amigosdelaastronomia.org

NUESTRA HISTORIA

Con esta primera aparición abrimos un espacio dedicado a traer del recuerdo algunas de las tantas notas particulares que se encuentran latentes a lo largo de la rica historia de la Asociación.

En esta ocasión podemos ver una fotografía publicada recientemente en el Boletín N° 51 de la Asociación Argentina de Astronomía, organización que nuclea a los astrónomos y astrofísicos del medio local (www.astronomiaargentina.org.ar).

La imagen fue capturada durante la reunión fundacional de la asociación citada, desarrollada en el Observatorio Félix Aguilar, San Juan, en 1958. En ella vemos un nutrido grupo de astrónomos presentes en aquel histórico encuentro. Pero los desprevénidos pasarán por alto que muchos de ellos eran socios de "Amigos de la Astronomía". A continuación le ponemos nombre y apellido a cada una de las figuras y, en el caso que corresponda, el número de socio entre paréntesis. Aparecen de derecha a izquierda: M. J. Ramé, Sergei Slaneitajs, Carlos Rogati (687), Carlos Hernández, Augusto López, Bernhard H. Dawson (10), Juan José Nissen (87), Ricardo Platzek (283), Francisco Muñoz, Livio Gratton (914), Jorge Sahade (414), Adela Ringuet, José Luis Sércic (761), Herbert Wilkens (279), Jorge Landi Dessy (301), y Juan Bussolini (425). El Dr. B. H. Dawson,



Fotografía cortesía del Dr. Alejandro Feinstein

designado en ese entonces primer presidente de la nueva asociación, ya había desempeñado ese cargo en "Amigos de la Astronomía" y, lo que es más importante, fue uno de sus más destacados pilares.

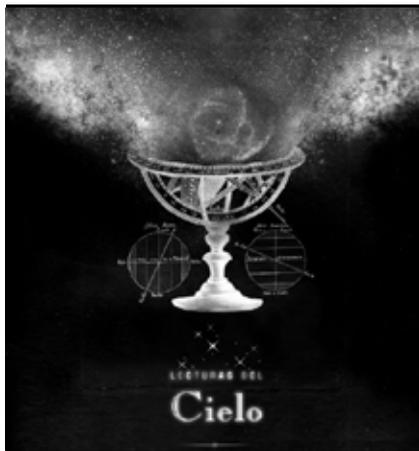


Fuga Lab, de izq. a der.: Luis Marte (Dir. Fuga Lab), Gabriel Cicuttin (AAAA), Verónica Espino (AAAA), Roberto Mackintosh (Presidente AAAA) y Matías Jones (Enc. Dpto. Fot. Astronómica AAAA)

La Asociación participó de la Muestra "Fuga Lab", realizada en la Galería "Objeto a", en Palermo, entre el 1 y el 12 de Junio. En este espacio artístico se desarrolló un evento multifacético donde convivieron Artes Escénicas, Artes Visuales, Fotografía Astronómica, Islas Sonoras y Videoarte. Fue muy destacable la factura de la muestra y el nivel artístico alcanzado por todos los participantes.

La curaduría estuvo a cargo de Darío Sacco, de Fuga Lab, y la coordinación del Área de Fotografía Astronómica, de

Verónica Espino y Matías Jones, socios de nuestra institución. Por otra parte cabe destacar la iniciativa del socio Gabriel Cicuttin, ya que fue quien acercó la propuesta a la Asociación y luego llevó adelante el vínculo entre la Galería, Fuga Lab y los coordinadores ya citados. Pudieron apreciarse obras astronómicas de Gabriel Cicuttin, Luis D'Amico, Verónica Espino, Pablo Fiszelew, Matías Jones, Roberto Mackintosh, Hernán Palmisciano, Jorge Weselka, y disfrutar de una conferencia de Alejandro Blain.



Entre noviembre de 2009 y marzo de 2010 se desarrolló en la Biblioteca Nacional una destacada muestra biblio-hemerográfica, de la cual la Asociación participó en carácter de organizadora, en forma conjunta con esa institución, el IAFE, el Observatorio de La Plata y la UNSAM.

En la muestra, titulada "Lecturas del Cielo", se exhibieron unas doscientas obras sobre temáticas astronómicas y científicas en general. Fue posible apreciar un

incunable, diversos libros de los siglos XVI al XVIII, y relevantes obras y cartas celestes de los siglos XIX, XX y XXI. Entre tantas obras destacadas podríamos nombrar "Chronicon mundi" de Hartmann Schedel (1493); una bella edición de "Atlas Coelestis" de John Flamsteed (1753), numerosos volúmenes de Athanasius Kircher de mediados del siglo XVII o el excelente atlas celeste de nuestros socios Alfredo Völsch y Bernhard H. Dawson publicado en 1933 por la AAAA.

La Asociación se involucró plenamente en el desarrollo de la muestra, colaborando con numeroso material y esfuerzo. Tal vez lo que concentró mayor atención fue la edición de cincuenta imágenes del cielo originales, que fueron el leit motiv en la elaboración de los paneles y el elegante catálogo de la muestra. Asimismo, se seleccionó material biblio-hemerográfico relevante de los fondos de nuestra Biblioteca; instrumentos con valor histórico; material gráfico de la Institución de las décadas de 1930 y 1940, que debió ser digitalizado para su empleo; textos informativos sobre Amigos de la Astronomía y se realizó una conferencia con la que la Asociación se integró al ciclo de cinco conferencias que acompañó a la muestra.

El viernes 27 de noviembre se inauguró la muestra, contando la ceremonia de apertura con la participación de: Sr. Horacio González, Director de la Biblioteca Nacional; Dra. Gloria Dubner, Dir. del IAFE; Lic. Roberto Venero, Sec. de Extensión del Obs. De La Plata; Dr. Alejandro Gangui, del IAFE; Sr. Miguel Asua, de la UNSAM; Roberto Casazza (impulsor del proyecto), de la Biblioteca Nacional y del Presidente de nuestra institución.

La preparación de material enviado por Amigos de la Astronomía y la coordinación del proyecto demandaron mucha energía, pero el resultado plasmado pronto recompensó estos esfuerzos. Un evento sin duda relevante para nuestra institución, ya que son excepcionales las ocasiones a lo largo de toda su historia, en las cuales ha organizado o participado de actividades fuera de su sede, y, por otro lado, formando parte de una comisión organizadora de calibre.

El equipo de producción de la Asociación lo conformaron Roberto Mackintosh, Matías Jones, Alejandro Blain y María Sol Tuero, bibliotecaria de la institución.

Roberto Mackintosh

EL 80º ANIVERSARIO DE “AMIGOS DE LA ASTRONOMÍA”

EL 31 DE OCTUBRE DE 2009 SE CONVOCÓ A LOS SOCIOS Y AMIGOS PARA CELEBRAR LOS 80 AÑOS DE VIDA DE LA NUESTRA ASOCIACIÓN. EL PRESIDENTE ROBERTO MACKINTOSH PRONUNCIÓ LAS SIGUIENTES PALABRAS:

Nos separan 80 años de aquellos primeros destellos de una fantástica visión que un grupo de amigos comenzaba a hilar en el telar de la pasión, la sabiduría y el amor. Un hecho singular, que con el andar del tiempo va cobrando aún más relevancia, cuando aquella matriz, forjada a partir de un genuino interés hacia el prójimo, hacia la comunidad, hacia la cultura, nos permiten hoy en día seguir alimentando este espacio, donde se congregan las más diversas vitalidades y que, a partir de ellas, es posible accionar en pos de una concreción mas plena del individuo, en pos de una sociedad con mayor capacidad de discernimiento, de creatividad, de asombro, de aquellas cosas que la puedan situar un paso más allá del tedio, algo más cerca de una relación totalmente descarnada con la vida.

Carlos Cardalda, alma mater de la Asociación, de pie ante sus dudas, no vaciló en emprender un camino que le permitiese transponer el horizonte inicialmente cercano de sus conocimientos astronómicos, y así alcanzar a comprender lo esencial de aquellos fenómenos que lo fascinaban. Aquel puñado de primeros socios, fundadores como él, se sumaron a esa búsqueda y a esa forma pronunciadamente activa de participar del desarrollo de la cultura y el conocimiento. Codo a codo, encontráramos en esos instantes iniciales, un doctor en astronomía proveniente de EUA, un corredor de la Bolsa de Comercio, un músico, o un empleado de un frigorífico. Afortunadamente estos valores han atravesado toda la historia de la Asociación: un cuerpo social heterogéneo donde todos pueden sentir su lugar de pertenencia y el sacrificio por llevar adelante esta obra maravillosa que es Amigos de la Astronomía.

La Asociación ha sido, es y será una usina continua de vivencias, proyectos, estudiantes, pasiones, desencuentros, amores, amigos, artículos, observaciones, telescopios, Doctores. Una poderosa máquina viviente. Pensemos un instante en la primera reunión que se llevó a cabo para constituir la Asociación. Living de uno de los ya muchos departamentos porteños. Ajustadamente los presentes alcanzaron para formar la Comisión Directiva. Ocho décadas después más de 11.000 socios han formado parte de la Institución. Decenas de profesionales del campo de las ciencias dieron sus primeros pasos en nuestras aulas, varios de ellos incluso ya tienen un asteroide designado con sus nombres o han sido decanos de facultades o directores de observatorios. Innumerables chicos comenzaron aquí a sentir ese cosquilleo tan humano producto de explorar por primera vez “mundos” distantes. ¿Cuántos jóvenes comenzaron aquí con esa a veces difícil tarea de cómo relacionarse con los demás? ¿Cuántas amistades nacieron aquí? Incontables. Podría enumerar muchas otras cosas, pero creo que cada uno puede completar su propia lista y que, además, seguramente estará tachonada de esas imágenes que siempre guardamos en nuestra memoria. Y recordemos que todo esto se ha dado en el contexto de una Latinoamérica que ha ido por lo general de tropiezo en tropiezo, donde los proyectos culturales, científicos o educacionales no tienen un lugar ganado por se. Por el contrario, consumen la energía de todo un grupo social para aflorar, ni qué decir cuántos esfuerzos demanda preservarlos y acentuar su progreso. El caso de nuestra Asociación es único en la región, tanto por su volumen y dinámica social, como por su compleja infraestructura e inusual vitalidad.

Tenemos la suerte de guiar los pasos de una Institución que es un polo cultural, una Institución con suficiente envergadura como para accionar positivamente sobre la comunidad y lograr aportes efectivos. Nuestro desafío es que la Asociación siga siendo un partícipe activo de la vida cultural, creo que siempre ese ha sido su rol, y creo además, que es extremadamente motivador reconocer nuestro lugar como actores en este sentido constructor del ser de las personas.

Espero que en los tiempos por venir podamos disfrutar de otras muchas metas alcanzadas. El tesón, el esfuerzo, la honradez sé que estarán; son el principal patrimonio de nuestra querida Asociación. Feliz aniversario. Gracias a todos.

DR. JUAN CARLOS FORTE

En el acto del 80 aniversario de nuestra Asociación, al socio Juan Carlos Forte le fue otorgada la medalla de socio honorífico. El doctor Forte ingresó a la Asociación en la década del '60, época en la que estudiaba ingeniería. Allí conoció a otros cuatro socios jóvenes que no tenían relación previa. La retroalimentación que surgió de su encuentro y relación hizo que los cinco decidieran dejar sus estudios actuales para dedicarse a la astronomía. Actualmente todos ellos son doctores en astronomía: Marraco, Mendez, Muzzio, Cerruti y el mismo Juan Carlos Forte.

Hacer una síntesis de su carrera es una tarea difícil ya que se ha desempeñado y se desempeña como investigador, docente, director de tesis doctorales, ha sido decano de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Universidad Nacional de La Plata, fue representante de la Argentina en el Board de Directores del Proyecto Gemini y ha publicado trabajos en las revistas internacionales más prestigiosas.



Fotografía: Enrique Dios



Titus Lucretius Carus, poeta autor de *De rerum natura*

Los objetos que encontramos en la superficie de la Tierra, ¿están compuestos de los mismos elementos que los seres vivos? ¿Y el Sol, la Luna y las estrellas? Si partimos un objeto en dos mitades, luego tomamos una de éstas y la volvemos a dividir en dos y repetimos este proceso, ¿podremos seguir dividiéndolo eternamente en fragmentos cada vez más pequeños, o llegaremos alguna vez a una partícula elemental, indivisible? Y si este es el caso, ¿cuáles son estas partículas que forman la materia de nuestro universo? ¿Qué forma, tamaño y características tienen? Desde la antigüedad el hombre se hace una y otra vez estas preguntas y sueña con responderse las.

CONTINUISTAS Y ATOMISTAS EN LA GRECIA CLÁSICA

Desde el Siglo V a.C. existieron en la Grecia Clásica dos visiones antagónicas respecto a la constitución microscópica de la materia.

Por un lado estaba la teoría continuista, apoyada por grandes filósofos de la talla de Aristóteles y Platón. En ésta se concibe que la materia es divisible *ad infinitum*, y la diversidad de la misma (la existencia de distintos materiales) se debe a estar formada por diferentes proporcio-

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

1º ENTREGA: HACIA UNA NUEVA FÍSICA

nes de los elementos fundamentales irreducibles. Estos son: tierra, fuego, aire y agua.

Por otro lado, la teoría atomista postulaba que los cuerpos están constituidos por partículas fundamentales llamadas átomos (vocablo griego para indivisible). Esta teoría fue sostenida en Grecia por los filósofos Empédocles, Demócrito, Leucipo y finalmente Epicuro. Sus opiniones fueron plasmadas en *De rerum natura*, del poeta Lucrecio: “Así pues, existen átomos de cuerpo simple y sólido que contienen en sí partes pequeñísimas estrechamente unidas.” Por otra parte, en la India existió una doctrina atomista similar a la griega, por parte del filósofo Kaṇāda (S II a.C.). Algunas fuentes incluso toman como iniciadores del atomismo a filósofos muy anteriores a éste e incluso a los griegos.¹

EDAD MEDIA Y EDAD MODERNA

Durante el Medioevo hubo una oposición general a la idea atomista, basada por un lado en concepciones teológicas incompatibles con ésta y por otro lado en la fuerte influencia que el pensamiento aristotélico tuvo en esta época. Amén de esto, algunos filósofos como Guillaume de Conches y Nicholas d'Autrécourt mantuvieron esta doctrina.

En los Siglos XV y XVI, durante la crítica al aristotelismo hubo un renacimiento de esta teoría, con las ideas de Nicolás de Cusa y Giordano Bruno. En el Siglo XVII, esta renovación logró un punto culminante con la *Syntagma philosophicum* de Pierre Gassendi. Esta obra reafirmaba el atomismo, considerándolo la hipótesis más razonable para la explicación de los fenómenos naturales, pero aún tenía ciertos errores conceptuales. Las mayores críticas al atomismo en este período se basaron en la dificultad lógica de admitir una porción indivisible de materia y en la dificultad de explicar la diversidad de las propiedades físicas y químicas de los distintos cuerpos, si se los suponía compuestos por el mismo tipo de partículas elementales.

COMIENZOS DE LA QUÍMICA MODERNA: TEORÍA ATÓMICA DE DALTON (S XVIII Y XIX)

A lo largo del S XVIII los químicos establecieron una serie de leyes que rigen las transformaciones de la materia. Algunas de las contribuciones más importantes de este período fueron la ley de la conservación de la masa (Antonie Laurent de Lavoisier, 1789), la ley de las proporciones recíprocas (Jeremias Benjamin Richter, 1792) y la ley de las proporciones definidas (Joseph Louis Proust, 1797). Estos tres principios, conocidos en su conjunto como *Leyes ponderales de la química*, fueron explicadas entre 1808 y 1810 por un modelo teórico propuesto por John Dalton en su Nuevo sistema de filosofía química. En esta obra enuncia los postulados fundamentales de la teoría atómica de la materia²:

- 1 La materia está formada por átomos indivisibles.
- 2 Cada elemento consta de una clase característica de átomos. Éstos son idénticos dentro de un mismo elemento y difieren entre un elemento y otro.
- 3 Los átomos son inmutables, es decir, no pueden transformarse de un elemento a otro.
- 4 Cuando se combinan diferentes elementos para formar una sustancia compuesta, ésta consta de una proporción bien definida de cada elemento. Esta sustancia puede dividirse hasta llegar a su porción más pequeña, llamada átomo compuesto³.
- 5 En una reacción química los átomos no se crean ni se destruyen. Sólo pueden separarse, combinarse o redistribuirse. Esta es la ley de la conservación de la masa.

Esta teoría atómica de Dalton dio un importantísimo impulso al desarrollo de la química en el siglo XIX.

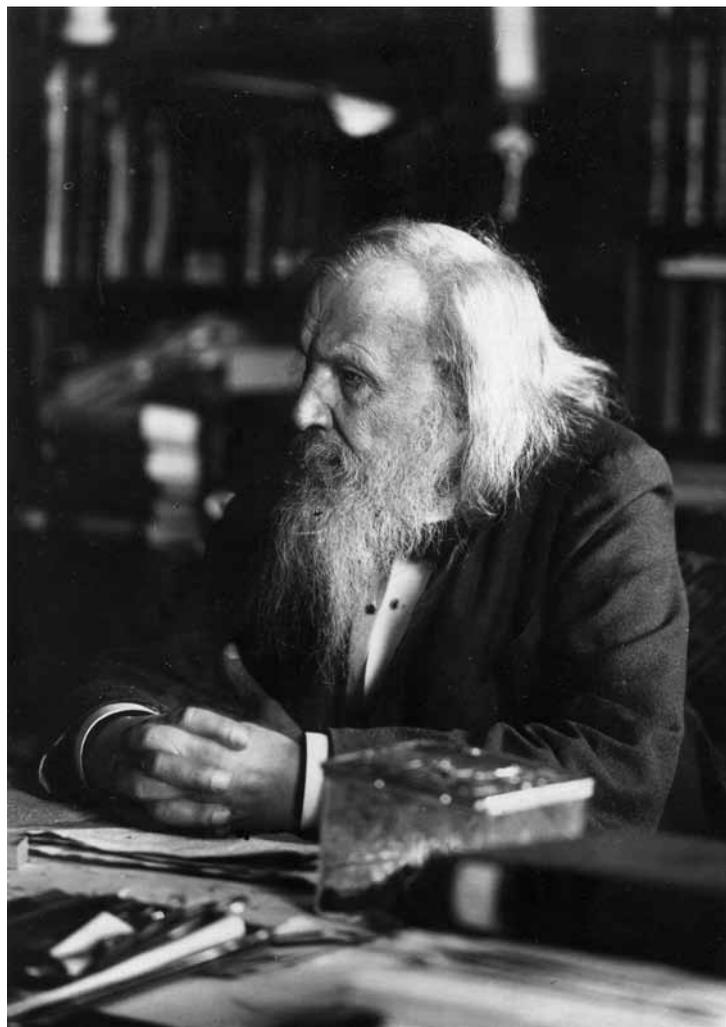
ESTRUCTURA INTERNA DEL ÁTOMO: LOS MODELOS DE J. J. THOMSON Y RUTHERFORD (1897-1913)

El comienzo del S XX nos encuentra con una aceptación casi universal en el ámbito científico de la teo-

ría atómica de Dalton; una idea completamente diferente de la teoría atómica de la Antigua Grecia.

Ya se sabía que las sustancias conocidas están formadas por constituyentes fundamentales, llamados átomos simples o compuestos y se contaba con la clasificación periódica de los elementos (Tabla Periódica) de Dimitri Ivanovich Mendeleev y Julius Lothar Meyer (1869), que explicaban cuáles eran las propiedades físicas y químicas de un elemento según su masa atómica. Sin embargo, no se sabía qué relación hay entre átomos de diferentes elementos ni su estructura interna, si es que la tienen.

Por otra parte, se conocían distintas formas de radiación: los rayos catódicos, los rayos X y rayos α , β y γ . Se sabía además que algunos de estos tipos de radiación están formados por partículas elementales⁴. En particular, se había descubierto en 1897 que los rayos catódicos son realmente partículas muy pequeñas con carga negativa,



N. de R.: Dimitri Ivanovich Mendeleev (1834 - 1907) químico ruso cuya investigación más importante lo llevó a enunciar la ley periódica de los elementos. En su libro *Principios de la química*, de 1869, publica la tabla periódica de los elementos. En la siguiente página presentamos un fragmento de ella.

¹ Algunas fuentes hablan de pensamiento atomista en la India del SVII a.C. mientras que otros postulan como iniciador de esta doctrina al fenicio Mosco de Sidón (S XIV a.C.).

² Actualmente, podemos decir que los postulados 1 y 3 resultaron no ser correctos. Se han encontrado constituyentes más fundamentales que los átomos, que forman parte de éstos, como veremos más adelante. También sabemos hoy que puede transformarse un átomo de un elemento en otro mediante procesos de fusión y fisión nuclear.

³ Los átomos compuestos se conocen actualmente como moléculas.

⁴ Hoy sabemos que los rayos catódicos y los rayos β son electrones, mientras que los rayos α son núcleos de átomos de helio y los rayos γ son fotones, es decir, "partículas de luz" (ver Espectros y cuantos).

llamadas electrones. Quien realizó este descubrimiento fue el físico británico Joseph John Thomson, lo que le valió el Premio Nobel de 1906. Algunos años después, Robert Andrews Millikan mediría la carga eléctrica de cada electrón y, a partir de esto, su masa.

Fue el mismo Thomson quien en 1904 propuso uno de los primeros modelos para la estructura interna de los átomos. Se sabía que éstos son eléctricamente neutros, es decir, que su carga eléctrica total es cero, pero también se sabía que en alguna parte de su interior poseían electrones, que podían "arrancarse" de aquéllos. Este proceso, llamado ionización, dejaba al átomo cargado positivamente, con el mismo valor de carga que los electrones expulsados del mismo. También se sabía que la masa de los electrones es mucho menor que la masa de los átomos

(casi 2.000 veces menor para el átomo de hidrógeno-el más liviano-, número que se multiplica para átomos más pesados) y que el diámetro de los átomos más pequeños es de aproximadamente 10^{-8} cm (es decir, la cienmillesésima parte de un centímetro). Esto llevó a Thomson a pensar a los átomos como esferas de este tamaño, con una carga positiva uniformemente distribuida, y con una cierta cantidad de electrones insertados en ella, como pasas de uvas en un budín. Este modelo, que se conoció justamente como "budín de pasas", se muestra en la figura 1a.

En el año 1910, Johannes Hans Wilhelm Geiger y Ernest Marsden sometieron a pruebas experimentales el modelo recién explicado. Lo hicieron disparando partículas α (que ya se sabía eran átomos de helio a los que se les extrajeron dos electrones) sobre láminas delgadas de

THE PERIODICITY OF THE ELEMENTS

The Elements	Their Properties in the Free State				The Composition of the Hydrogen and Organo-metallic Compounds	Symbols and Atomic Weights	The Composition of the Saline Oxides	The Properties of the Saline Oxides				Small Periods or Series
	t	a	d	A				R ₂ O _n	d'	(2A + n'16)	v	
	[1]	[2]	[3]	[4]	RH _m or R(CH ₃) _m	B A	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	
Hydrogen	<-200°		<0.05	20	m = 1	H 1	1 = n	0.917	19.6	<-20	1	
Lithium	180°		0.59	12		Li 7	1†	2.0	15	-9	2	
Beryllium	(900°)		1.64	5.5		Be 9	— 2	8.06	16.3	+ 2.6		
Boron	(1800°)		2.5	4.4		B 11	— 3	1.8	39	10		
Carbon	>(2500°)		<2.0	6	4	C 12	— 3	>1.0	<88	<19		
Nitrogen	-208°		<0.7	20	3	N 14	1 — 3*	1.64	66	< 5		
Oxygen	<-200°		<1.0	16	2	O 16	1 — 3* — 5*	—	—	—		
Fluorine	—		—	—	1	F 19	—	—	—	—		
Sodium	96°	0.71	0.98	23		Na 23	1†	Na ₂ O	2.6	24	-22	3
Magnesium	500°	0.27	1.74	14	2	Mg 24	— 2†	3.6	22	- 3		
Aluminium	600°	0.23	2.6	11	3	Al 27	— 3	Al ₂ O ₃	4.0	26	+ 1.3	
Silicon	(1200°)	0.08	2.3	12	4	Si 28	— 3 4	2.65	45	5.2		
Phosphorus	44°	1.28	2.2	14	3	P 31	1 — 3* 4* 5*	2.39	59	6.2		
Sulphur	114°	0.67	2.07	15	2	S 32	— 2 — 4* 5* 6*	1.96	82	8.7		
Chlorine	-75°	—	1.3	27	1	Cl 35.5	1 — 3 — 5* — 7*	—	—	—		
Potassium	58°	0.84	0.87	45		K 39	1†	2.7	35	-5.5	4	
Calcium	(800°)	—	1.6	25		Ca 40	— 2†	3.15	36	- 7		
Scandium	—	(2.5)	(1.8)	—		Sc 44	— 3†	3.86	35	(0)		
Titanium	(2500°)	—	(5.1)	(9.4)		Ti 48	— 3 4	4.2	38	(+5)		
Vanadium	(2000°)	—	5.5	9.2		V 51	— 2 3 4 5	3.49	52	6.7		
Chromium	(2000°)	—	5.5	8.0		Cr 52	— 2 3 — 6*	2.74	73	9.5		
Manganese	(1500°)	—	7.5	7.3		Mn 55	— 2† 3 4 — 6* 7*	—	—	—		
Iron	1400°	0.12	7.8	7.2		Fe 56	— 2† 3 — 6*	—	—	—		
Cobalt	(1400°)	0.13	8.6	6.8		Co 58.5	— 2† 3 4 — 6*	—	—	—		
Nickel	1350°	0.17	8.7	6.8		Ni 59	— 2† 3	—	—	—		
Copper	1054°	0.29	8.8	7.2		Cu 63	1† 2†	Cu ₂ O	5.9	24	9.8	5
Zinc	(220°)	—	7.1	9.2		Zn 65	— 2†	5.7	25	4.8		
Gallium	30°	—	5.96	12	3	Ga 70	— 2 3	Ga ₂ O ₃	(51)	(36)	(4.0)	
Germanium	900°	—	5.47	13	4	Ge 72	— 2 3 4	4.7	44	4.5		
Arsenic	500°	0.06	3.7	13	3	As 75	— 3 — 5*	4.1	56	6.0		
Selenium	317°	—	4.8	16	2	Se 79	— 4 — 6*	—	—	—		
Bromine	-7°	—	3.1	26	1	Br 80	1 — 3 — 5* — 7*	—	—	—		
Rubidium	89°	—	1.5	57		Rb 85	1†	—	—	—		
Strontium	(600°)	—	2.5	35		Sr 87	— 2†	4.3	48	-11	6	
Yttrium	—	(3.4)	(2.6)	—		Y 89	— 3†	5.05	45	(-2)		
Zirconium	(1500°)	—	4.1	22		Zr 90	— 3 — 4	5.7	43	-0.2		
Niobium	—	—	7.1	13		Nb 94	— 3 — 5*	4.7	57	+6.2		
Molybdenum	—	—	8.6	12		Mo 96	— 2 3 4 — 6*	4.4	65	6.8		
Ruthenium	(2000°)	0.10	12.2	8.4		Ru 108	— 2 3 4 — 6 — 8	—	—	—		
Rhodium	(1900°)	0.08	12.1	8.6		Rh 104	— 2 3 4 — 6	—	—	—		
Palladium	1500°	0.12	11.4	8.3		Pd 106	1† 2 — 4	—	—	—		
Silver	950°	0.19	10.5	10		Ag 108	1†	Ag ₂ O	7.5	31	11	7
Cadmium	320°	0.31	8.6	13	2	Cd 112	— 2†	8.15	31	2.5		
Indium	176°	0.46	7.4	14	3	In 113	— 2 3	In ₂ O ₃	7.18	38	2.7	
Tin	230°	0.23	7.2	16	4	Sn 118	— 2 — 4	6.95	43	2.8		
Antimony	432°	0.12	6.7	18	3	Sb 120	— 3 4 5	6.5	49	2.6		
Tellurium	455°	0.17	6.4	20	2	Te 125	— 4 — 6*	5.1	68	4.7		
Iodine	114°	—	4.9	26	1	I 127	1 — 3 — 5* — 7*	—	—	—		
Cesium	27°	—	1.88	71		Cs 133	1†	—	—	—		
Barium	—	—	3.75	36		Ba 137	— 2†	5.1	60	-6.0		
Lanthanum	(600°)	—	6.1	23		La 139	— 3†	6.5	50	+1.3		
Cerium	(700°)	—	6.6	21		Ce 140	— 3 4	6.74	50	2.0		
Didymium	(800°)	—	6.5	22		Di 142	— 3 — 5	—	—	—		
Ytterbium	—	—	(6.9)	(25)		Yb 173	— 3	9.18	43	(-2)	10	
Tantalum	—	—	10.4	18		Ta 182	— 4 — 5	7.5	59	4.6		
Tungsten	(1500°)	—	19.1	9.6		W 184	— 4 — 6	6.9	67	8		
Osmium	(2500°)	0.07	22.5	8.5		Os 191	— 3 4 — 6 — 8	—	—	—		
Iridium	2000°	0.07	23.4	8.6		Ir 193	— 3 4 — 6	—	—	—		
Platinum	1775°	0.05	21.5	9.2		Pt 196	— 2 — 4	—	—	—		
Gold	1045°	0.14	19.3	10		Au 198	1 — 3	Au ₂ O (12.5)	(33)	(13)		
Mercury	-39°	—	13.6	15	2	Hg 200	1† 2†	11.1	39	4.5		
Thallium	294°	0.31	11.8	17	3	Tl 204	1† — 3	Tl ₂ O ₃	(9.7)	(47)	(4.3)	
Lead	326°	0.29	11.3	18	4	Pb 206	— 2† — 4	8.9	53	4.2		
Bismuth	268°	0.14	9.8	21	3	Bi 208	— 3 — 5	—	—	—		
Thorium	—	—	11.1	21		Th 232	— 4	9.86	54	2.0	12	
Uranium	(800°)	—	18.7	13		U 240	— 4 — 6	(7.2)	(80)	(9)		

Tabla Periódica de Dimitri Ivanovich Mendeleev (1869) elaborada para sus "Principles of Chemistry", primera edición Inglesa.



Neils Bohr y Albert Einstein, fotografía de Paul Ehrenfest

más pequeños que el átomo completo) y para saber qué relación hay entre este tamaño y la carga eléctrica contenida en el mismo.

PROBLEMAS DEL MODELO DE RUTHERFORD

Pese a los logros del modelo de Rutherford, éste fallaba en varios aspectos. Uno de estos era que no quedaba claro en qué parte de la periferia atómica se ubicaría a los electrones. Si éstos estuvieran quietos a una distancia fija del núcleo, como se muestra en la figura 1b, colapsarían (“caerían”) hacia el núcleo ante la menor perturbación, dado que se ven atraídos por éste al tener cargas eléctricas opuestas. Si, en cambio, estuvieran orbitando al núcleo como lo hacen los planetas con el Sol (modelo planetario, figura 1c), nos topáramos con otro problema: años antes ya se había observado que para que una partícula cargada describa un movimiento curvo (ya sea una órbita circular, elíptica o de cualquier otra forma), ésta debe emitir luz. La energía que la partícula gasta para poder lograr esta emisión le haría orbitar cada vez más cerca del núcleo y eventualmente se precipitaría hacia éste, al igual que en el caso anterior, en el que los electrones estuvieran en reposo.

Con esto en vista, se hacía difícil entender cómo podía ser que este modelo fuera el correcto ya que se sabía que los átomos son estables, es decir, dondequiera que estén los electrones, éstos no caen hacia el núcleo.

ESPECTROS Y CUANTOS

Otro enigma no resuelto hasta este entonces era el de los espectros atómicos. Si se produce una descarga eléctrica en un recipiente que contiene un gas, éste emitirá luz. Pero ésta no estará compuesta de todos los colores al mismo tiempo, como la emitida por una lámpara incandescente (la comúnmente llamada “luz blanca”) sino que sólo habrá luz de ciertos colores muy bien definidos. Éstos corresponden unívocamente a un gas en particular. Es decir, el hidrógeno se caracteriza por tener ciertos colores,

el helio tiene otros colores distintos, etcétera. Los colores que aparecen constituyen *el espectro de emisión* del átomo⁵.

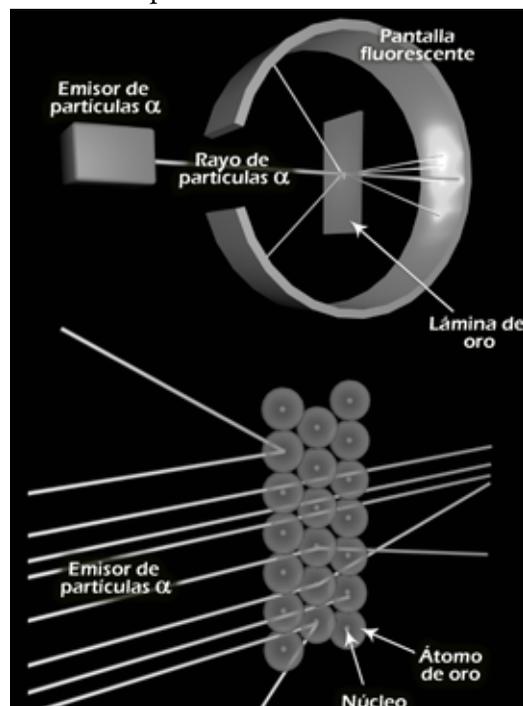
Por otra parte, si se emite luz blanca (es decir, todos los colores juntos) y se la hace atravesar un recipiente con un gas, la luz que saldrá de éste tendrá todos los colores excepto algunos de los colores característicos de este gas, que son absorbidos por el mismo. Este es el *espectro de absorción* del átomo⁶.

Como los gases están compuestos de átomos, podríamos preguntarnos de dónde sale la luz emitida (o absorbida) por un gas. En el modelo planetario de Rutherford (figura 1c) hemos visto que los electrones emiten luz, pero según este modelo deberían hacerlo en muchos colores al mismo tiempo, y no sólo en algunos específicos, como se sabía que sucede. Vemos aquí que el modelo de Rutherford vuelve a fallar.

Por otro lado, se estaban empezando a delinear las bases de la futura teoría cuántica. En el año 1901 un estudiante de doctorado alemán llamado Max Planck propuso un modelo muy curioso para explicar el comportamiento de ciertos sistemas físicos. En este modelo Planck postula que si tenemos un sistema que realiza un movimiento periódico, es decir, que se repite exactamente luego de un cierto período de tiempo (como la oscilación de un péndulo) su energía total debe valer:

$$E = n \cdot h \cdot \nu$$

donde ν es la frecuencia del movimiento periódico, h es una constante, llamada constante de Planck y n es un número entero cualquiera.



Experimento de Geiger-Marsden - infografía por Nahuel Srnec

¿Qué significa esta ecuación? Nos dice que al sistema no se le permite tener cualquier valor de energía, como sería natural pensar, sino que sólo puede tener una energía que es múltiplo de la cantidad fundamental, $h \cdot \nu$, un valor intrínseco del sistema físico considerado, al que se llamó cuanto de energía. El postulado de Planck dice que la energía está cuantizada o discretizada. En la figura 3 se puede ver la diferencia entre este postulado y la idea clásica (o de sentido común) de que el sistema puede tomar cualquier valor de energía.

Este modelo era a priori bastante arbitrario, puesto que no se entendía por qué el sistema no puede tener los demás valores de energía. Pero explicaba asombrosamente bien problemas no resueltos hasta entonces por la física clásica, mucho más intuitiva⁷.

¿QUÉ ONDA LA LUZ? ¡SON UNOS CUANTOS!

En 1905 otro estudiante de doctorado, Albert Einstein, publicó tres trabajos de fundamental importancia que revolucionaron la Física de ese entonces. Entre éstos se encontraba la famosa Teoría Especial de la Relatividad, de la que hablaremos en un próximo artículo, pero también había un modelo para el efecto fotoeléctrico que cambió la concepción sobre la naturaleza de la luz.

Hasta ese entonces, la luz era considerada una onda electromagnética, que podía propagarse en el vacío. Muchas de sus propiedades se entendían (y se siguen entendiendo) de esta forma, y en muchos casos es una visión correcta, dado que en gran cantidad de experimentos y aplicaciones tecnológicas, la luz se comporta como si fuese una onda. Pero este no es siempre el caso.

Si disparamos luz hacia un material, éste emitirá una cierta cantidad de electrones, que son arrancados del mismo por la luz incidente. Este es el denominado *efecto fotoeléctrico*. Si la luz fuese una onda, al aumentar la intensidad de la luz incidente debería aumentar proporcionalmente la cantidad de electrones emitidos por el material. Esto se comprobaba experimentalmente pero se veía que sólo había emisión de electrones cuando la frecuencia de la luz incidente era mayor que un cierto valor, independientemente de su intensidad.

Lo que propuso Einstein es que la luz está compuesta realmente de partículas de luz (llamadas *fotones* o *cuantos* de luz) cada uno con una energía $E = h \cdot \nu$. Aquí ν es la frecuencia de la luz y h es la constante de Planck. De esta forma, la incidencia de la luz en el material era

el choque de un fotón contra un átomo del material. A partir de la energía que este último ganaba en el choque (entregada por el fotón) podía emitir un electrón. Con esto se explicaba la existencia de una frecuencia mínima de la luz para arrancar electrones, dado que hay una energía mínima para que éstos puedan salir fuera del material.

MODELO ATÓMICO DE BOHR Y LA ANTIGUA TEORÍA CUÁNTICA (1913-1924)

En 1913 Niels Bohr propone su modelo para el átomo que enfrenta los dos problemas principales del de Rutherford: tanto el de la estabilidad mecánica (que no colapsen los electrones hacia el núcleo) como el de los espectros atómicos. Esta es la teoría atómica de Bohr.

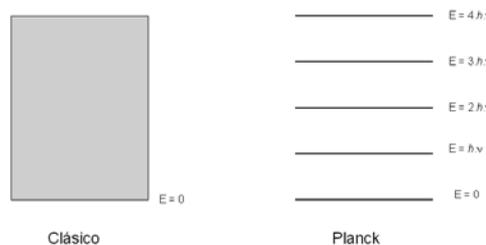


Figura 3: Niveles de energía posibles según la teoría clásica (izquierda) y según el modelo de Planck (derecha). En la primera, cualquier valor de energía es posible, formándose un *espectro continuo de energías*. En el modelo de Planck, sólo puede tomarse valores de energía múltiplos de la cantidad $h \cdot \nu$ (*espectro discreto de energías*).

Se basa en una mezcla inteligente del modelo del átomo de Rutherford con la teoría cuántica incipiente, y sirve exclusivamente para átomos con un solo electrón. Los postulados de Bohr fueron:

1. El electrón de un átomo se mueve en órbitas circulares alrededor del núcleo (modelo planetario de Rutherford).
2. El electrón no puede moverse en cualquier órbita sino que sólo tiene permitidos algunos valores para el radio de su órbita o, lo que es equivalente, para su energía (cuantización de la energía).
3. A pesar de que el electrón realiza una trayectoria curva, se mueve en una órbita permitida sin irradiar energía electromagnética (luz).
4. Un electrón emite radiación electromagnética (luz) cuando se mueve de una órbita de energía inicial

⁵ Cada uno de los colores emitidos tiene una longitud de onda específica. Si se grafican todas las longitudes de ondas emitidas por el gas, es decir, su espectro, veremos aparecer unas líneas exactamente en estos colores particulares que lo representan. Estas son las *líneas de emisión* del gas.

⁶ Estas son las *líneas de absorción*.

⁷ Por ejemplo, este modelo explicó muy bien el espectro de radiación de un cuerpo negro y el valor del calor específico de los sólidos a bajas temperaturas, importantes enigmas de la época.



E_i a una órbita de menor energía E_f . La energía perdida al pasar de una órbita a otra es la que tendrá el fotón emitido, es decir, $E_{\text{fotón}} = E_i - E_f$ y por ende, su frecuencia será $\nu = (E_i - E_f)/h$. Análogamente, cuando un átomo absorbe un fotón, la energía ganada promueve a un electrón a una órbita de mayor energía.

Este modelo, si bien esquiva el problema de la estabilidad del átomo al introducir el postulado número 3 ad hoc, explicó con excelente precisión los espectros atómicos observados durante gran parte del S XIX. Esto se logró ya que, al calcular los niveles de energía permitidos por la cuantización, de la diferencia de energías entre éstos resultaba el patrón de líneas de emisión observado con altísima precisión. Más aún, este modelo predijo varias series de líneas espectrales (colores característicos de los elementos) que se observarían años después.

El experimento detallado en la sección anterior, donde se observaban las líneas de emisión de un gas, se explica con este modelo a partir del postulado 4, como se muestra en la figura 4. El estado natural, o *estado fundamental* de los átomos de un electrón es cuando éste está en su órbita más baja, es decir, la de radio menor. Al producirse la descarga eléctrica el átomo absorbe energía, lo cual produce una transición a un estado de mayor energía (y mayor radio), llamado *estado excitado* (figura 4a). Luego, el átomo emitirá este exceso de energía para regresar al estado fundamental mediante una serie de transiciones en cada una de las cuales se emitirá un fotón de cierta energía (figura 4b). Estos fotones son los que producen las líneas de emisión.

La teoría cuántica explicada hasta aquí, formulada por Planck, Einstein, Bohr y luego perfeccionada en 1916 por Arnold Johannes Wilhelm Sommerfeld (quien propuso órbitas elípticas para los electrones, al igual que las que describen los planetas) es lo que hoy conocemos como *antigua teoría cuántica*. Ésta hace predicciones muy exactas, aunque tiene algunas falencias; entre ellas: no explica cuánto tiempo tarda un electrón en pasar de un estado de energía a otro, y que tampoco nos dice cómo tratar átomos con más de un electrón. Por otra parte, es bastante arbitraria desde el punto de vista teórico: si bien la energía está cuantizada (sólo puede tomar ciertos valores), otras magnitudes como por ejemplo la posición del electrón en la órbita circular (es decir, su ángulo) pueden tomar cualquier valor continuo.

DUALIDAD ONDA-PARTÍCULA Y PRINCIPIO DE INDETERMINACIÓN

En 1924 Prince Louis-Victor Pierre Raymond de Broglie (otro estudiante de doctorado) introduce un nuevo enfoque para las ideas de la teoría cuántica.

Einstein ya había propuesto casi veinte años antes que, si bien la luz se propaga en el vacío como si fuese una onda, al interactuar con la materia ésta se comporta como una partícula (fotón). De Broglie simplemente se preguntó: ¿será cierto esto mismo para las “partículas de materia”? Es decir, un electrón o un núcleo atómico⁸ se comportan como partículas al interactuar con otras partículas pero, ¿qué podemos decir acerca de su comportamiento mientras se propagan en el vacío? ¿Se podrá considerar a los electrones como ondas que se comportan como partículas al interactuar con otras partículas?

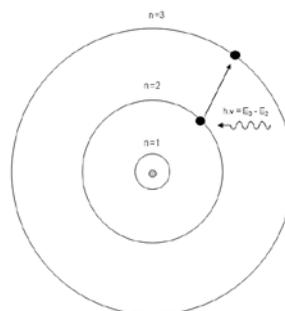


Figura 4a: Absorción de un fotón por un átomo en el modelo de Bohr. Al incidir un fotón de frecuencia ν (energía $h \cdot \nu$), el electrón que se encontraba en la segunda órbita permitida aumenta su energía, subiendo a la tercer órbita permitida

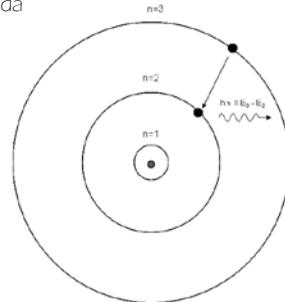


Figura 4b: Emisión de un fotón por un átomo en el modelo de Bohr. El electrón excitado decae dejando su órbita (la tercera permitida) para quedar en una de menor energía (la segunda). En este proceso se emite un fotón de frecuencia ν y energía $h \cdot \nu$.

Para definir qué onda se le asocia a una partícula libre cualquiera, digamos de masa m , velocidad V y energía total E^0 , de Broglie “copió” dos ecuaciones que eran válidas para la propagación de la luz. Estas son:

$$E = h \cdot \nu$$

$$M \cdot V \cdot \lambda = h$$

La primera es la cuantización de energía, propuesta

⁸ Al momento de desarrollarse la teoría de de Broglie aún no se había descubierto la estructura interna de los núcleos atómicos. Hoy sabemos que éstos están formados por protones y neutrones (descubiertos recién en 1932). En el próximo artículo se verá que tampoco los protones y neutrones son *partículas elementales*, sino que están compuestos de partículas más pequeñas.

⁹ Aquí E es la *energía relativista* de la partícula, que está dada por la famosa ecuación $E = m \cdot c^2$, y m es su *masa relativista*, que depende de su velocidad V .

Algo más sobre la dualidad onda-partícula

¿Qué significa la dualidad onda-partícula? ¿Dónde se propaga exactamente la onda asociada a una partícula y qué relación existe entre éstas? Estas fueron preguntas que se hicieron los científicos de los años 20 tratando de dilucidar uno de los misterios más grandes de esta nueva física.

La forma en que lo entendemos actualmente es la siguiente: mientras una "partícula" no interactúe con nada, no está localizada en un lugar exacto, sino que su posición está distribuida en distintos puntos del espacio. En el momento de medir su posición, se interactúa con ella de tal manera que se la observa como una partícula propiamente dicha, con una posición más o menos determinada (tengamos en cuenta siempre el principio de indeterminación de Heisenberg). Pero si repetimos el experimento, con *exactamente las mismas condiciones experimentales iniciales* podría suceder que se la observe en otra posición. Las diversas posiciones donde encontraremos la partícula al realizar distintas mediciones, y la cantidad de veces que la encontraremos en cada una de éstas, darán una distribución de probabilidades que tendrá la forma de la onda de De Broglie.

Un ejemplo para entender esto puede verse en el caso de la molécula de hidrógeno ionizada (H_2^+). Ésta está formada por dos protones (que son los núcleos de los

dos átomos de hidrógeno) y un solo electrón. La pregunta es: ¿alrededor de cuál de los dos protones estará el electrón? La respuesta es tan sencilla como desconcertante: *en ambos a la vez*.

Veamos cómo es esto: Si pensáramos clásicamente (es decir, sin considerar la teoría cuántica), el electrón sólo tiene permitido estar alrededor de uno de los protones, no puede estar en el medio de ambos. Es decir, sólo puede estar alrededor del protón 1 o alrededor del protón 2 (figura 5). Entonces si efectuamos una medición y vemos que se encuentra alrededor del protón 1 (figura 5a), esto significa que siempre estuvo allí, tanto antes como después de la medición. Y lo mismo si lo encontráramos en el protón 2, por supuesto (figura 5b). Entonces, si tomamos varias moléculas y efectuamos el mismo experimento, podremos separarlas en dos grupos: las que *inicialmente* tenían su electrón orbitando el protón 1 y las que lo tenían orbitando el protón 2.

Hoy sabemos que este razonamiento no es el correcto. Si tomamos una molécula de H_2^+ y medimos dónde está el electrón, los resultados posibles de la medición son, como es lógico, que esté alrededor del protón 1 o bien que esté alrededor del protón 2. Pero en realidad, no tiene sentido preguntarse alrededor

de cuál protón estaba *antes de realizar la medición*. Hasta antes de medir, el electrón estuvo simultáneamente orbitando ambos protones y, al momento de efectuar la medición dejó de estarlo, para aparecer sólo en uno.

Es decir, si tomáramos varias moléculas para efectuar la misma medición, no hay dos grupos distintos: *todas las moléculas eran exactamente iguales antes de medirlas*, a pesar de que luego de la medición se vieran distintos resultados. El gráfico que nos muestra cuál es la probabilidad de encontrar a una partícula cuántica en cada región distinta del espacio luego de realizada la medición se denomina función de onda y es ésta la famosa onda de De Broglie. La *función de onda* nos da la probabilidad de encontrar al electrón alrededor del protón 1 o del protón 2, y se la grafica en la figura 5c. En este caso, hay un 50% de probabilidades de encontrar a la partícula orbitando cada protón.

Considerando la interpretación recién explicada, puede también entenderse el principio de indeterminación de Heisenberg: dado que no tiene sentido hablar de la posición real de una partícula (o análogamente, su velocidad), no existe una posición ni una velocidad únicamente determinadas para ésta.

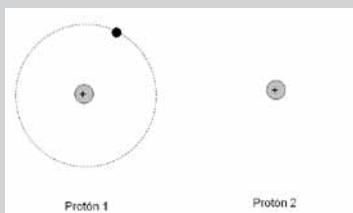


Figura 5a: Primer resultado posible de la medición: el electrón se encuentra orbitando el protón 1.

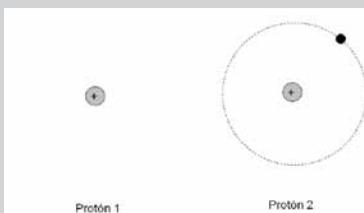


Figura 5b: Segundo resultado posible de la medición: el electrón se encuentra orbitando el protón 2.

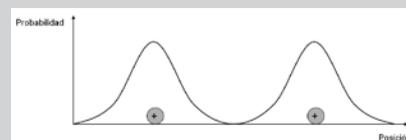


Figura 5c: función de onda del electrón en una molécula de H_2^+ . La forma de la onda da la probabilidad de encontrar al electrón en cada punto del espacio. Esta es máxima en las inmediaciones de cada uno de los protones y es nula en medio de ellos

por Einstein para los fotones a principios de ese siglo. La segunda se deduce de la teoría especial de la relatividad y también se refiere a los fotones¹⁰. Si suponemos que estas ecuaciones son válidas también para partículas de materia, nos dan exactamente cuál es la onda asociada a éstas. Basta con introducir la masa M , la velocidad V y la energía E de nuestra partícula y nos dará la frecuencia ν y la longitud de onda λ de su onda asociada, con lo que ésta queda completamente determinada.

A partir de esta idea puede explicarse también en alguna medida la arbitrariedad del modelo atómico de Bohr. Resulta que las longitudes de las órbitas permitidas para los electrones por el modelo de Bohr son exactamente las

que incluyen un número entero de ondas de De Broglie del electrón. Por ejemplo, si calculamos la velocidad del electrón en la órbita más baja permitida del modelo de Bohr y la introducimos junto con la masa del electrón en la segunda ecuación, resultará que la longitud de onda resultante coincide con la longitud de la órbita del electrón.

En 1927 se vio que esta descripción ondulatoria de las partículas no era un mero capricho matemático. Fue en ese año que Clinton Joseph Davisson y Lester Halbert Germer (e independientemente Sir George Paget Thomson¹¹) demostraron experimentalmente la existencia de estas misteriosas ondas, observando la difracción de los electrones en cristales. Es decir, ¡midieron electrones

comportándose inequívocamente como ondas! El hecho de poder describir un mismo ente como una onda o como una partícula según nos convenga se conoce como *dualidad onda-partícula* y fue motivo de muchos dolores de cabeza para los físicos de los años 20 (ver: *Algo más sobre la dualidad onda-partícula*).

También surgió, alrededor de esta dualidad, el llamado *Principio de Indeterminación*, desarrollado por Werner Karl Heisenberg. Éste dice que si se mide al mismo tiempo la posición de una partícula y su velocidad, la incerteza (error experimental) con que se puede llegar a conocer una de estas dos magnitudes será mayor cuanto menor sea la incerteza en la otra. Es decir, cuanto más exactamente sepamos dónde está una partícula menos sabremos sobre su velocidad y viceversa.

Este es otro postulado que trajo (y sigue trayendo) muchísimos problemas para la interpretación de la mecánica cuántica, aunque es una simple deducción si se considera la interpretación actual de la dualidad onda-partícula (ver: *Algo más sobre la dualidad onda-partícula*).

En el año 1926, Erwin Rudolf Josef Alexander Schrödinger, a partir de todas estas ideas, le dio forma matemática a la Teoría Cuántica Moderna, o Mecánica Cuántica, como la conocemos hoy en día. Esta teoría ha tenido incontables éxitos al explicar con lujo de detalle complejísimo problemas de la física, la química y la biología, entre otras ramas científicas, y al impulsar importantísimos desarrollos tecnológicos en el campo de las distintas ingenierías. En este último sentido podemos mencionar por ejemplo la invención del transistor, componente desarrollado netamente a partir de la teoría cuántica, que dio un impulso fundamental a la electrónica en el siglo XX.

EL PANORAMA HASTA AQUÍ

Hemos expuesto hasta aquí los puntos más importantes en el desarrollo de la física microscópica desde la antigüedad hasta la década de 1920. La complejidad de los conceptos tratados, sobre todo los de principios del siglo XX es increíble y todavía escapa al entendimiento

¹⁰ En realidad, esta ecuación no vale en la forma aquí expresada para los fotones, pues éstos no tienen masa. En aquel caso, la ecuación se escribe $p\lambda = h$, donde p es el impulso lineal del fotón. En el caso de las partículas de materia, el impulso lineal relativista es justamente $p = M \cdot V$ y se recupera la ecuación de más arriba.

¹¹ George era hijo de J.J. Thomson, creador del modelo atómico del budín de pasas. Su padre recibió el Premio Nobel por descubrir que la corriente eléctrica estaba compuesta de partículas, es decir, por descubrir que el electrón es una partícula. George recibió el Nobel de 1937 (junto con Davisson) por demostrar que el electrón es una onda...

de muchos de nosotros. Si bien las leyes que gobiernan la mecánica cuántica son muy claras matemáticamente y están perfectamente entendidas y comprobadas experimentalmente en su rango de aplicación (e incluso aprovechadas, en lo que a adelantos tecnológicos respecta), la interpretación de estos conceptos es aún un tema de discusión por físicos y filósofos en todas partes del mundo. Esto es debido a lo poco naturales o intuitivos que nos resultan los conceptos en juego.

Espero haber podido introducir raudamente los conceptos fundamentales de esta nueva física, o al menos despertar inquietud entre los lectores para que se sumerjan en la bibliografía intentando responderse las muchísimas preguntas que seguramente surgieron al leer este artículo. En las próximas ediciones de la Revista Astronómica continuaremos este desarrollo histórico, explicando temas aún más actuales (y tal vez menos intuitivos), como la evolución de la física de partículas elementales a partir del desarrollo de la mecánica cuántica.

Por ejemplo, donde termina la línea temporal aquí expuesta, en 1927, aún no se había descubierto siquiera el neutrón, por no hablar de las otras muchísimas partículas elementales que aparecerían en años subsiguientes. También hablaremos sobre las implicaciones de la Teoría de la Relatividad de Einstein en esta área y daremos una breve introducción a las teorías de gran unificación, como la Teoría de Cuerdas.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer aquí a las autoridades de la Asociación y de la Revista Astronómica por darme este espacio y a todos los socios y no socios que revisaron las versiones preliminares de este artículo y aportaron atinadas críticas y comentarios.

BIBLIOGRAFÍA

*Eisberg, Robert M. Fundamentos de física moderna, Edición en español por Editorial Limusa, S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores, 1997.

*Chang, Raymond, Química, Edición en español por Ed. Mc Graw-Hill, 9ª ed., 2007.

*Ediciones RIALP, S.A., Gran Acta 20 00 – Física Atómica y Química, 1991.

*Tipler, A. y Mosca, P., Física 2c para la ciencia y la tecnología: Física Moderna, quinta edición en español, Editorial Reverté S.A., 2005.



Ezequiel Koile

A.A.A.A.

Magister en Cs. Físicas, Instituto Balseiro

SOLARIGRAFÍAS

FOTOGRAFIANDO LA ECLÍPTICA CON CÁMARAS ESTENOPEICAS

Así como no hay límites para la imaginación humana tampoco parece haberlos para el progreso de la fotografía astronómica... Si por "progreso" podemos entender -además de los fantásticos avances tecnológicos de los últimos años- la utilización cada vez más difundida de las cámaras estenopeicas para la toma de solarigrafías. Y encomillamos la palabra progreso por que los fundamentos ópticos en los que se sustenta el funcionamiento de esta cámara de nombre un tanto curioso ya se conocían 350 años A.C.

Pero vayamos por partes... ¿Qué es una solarigrafía? Básicamente se trata de una imagen que refleja el movimiento aparente del sol por la bóveda celeste durante un período que puede oscilar entre unas pocas semanas y varios meses. La "gráfica" resultante será un conjunto de arcos luminosos concéntricos captados sobre un papel o película fotosensible, cuya cantidad dependerá del tiempo de exposición.

La cámara estenopeica, por su parte, se construye en forma artesanal utilizando una lata de gaseosa o una pequeña caja de cualquier material, estanca a la luz. Si nuestra intención es construirla para tomar una solarigrafía hay que tener en cuenta que debe de estar preparada para soportar las posibles inclemencias de la naturaleza durante todo el tiempo en que permanezca a la intemperie.

Como señalamos al inicio de esta nota, la aplicación de esta técnica forma parte de la historia reciente de la fotografía astronómica ya que las primeras imágenes se realizaron en el año 2.000 como parte de un proyecto que más tarde se denominó Solaris, y que consistía en la toma simultánea de solarigrafías en diferentes ciudades del mundo con la participación de aficionados de todas las latitudes convocados por Internet. Y fueron precisamente los promotores del proyecto, Slawomir Decyk, Pawel Kula y Diego Lopez Calvin, quienes acuñaron la palabra solarigrafía.

Respecto del funcionamiento de la cámara estenopeica debemos señalar que los rayos lumínicos que impresionan la película ubicada en su interior no pasan a través de un objetivo o una lente como en las máquinas convencionales sino a través de un pequeñísimo orificio llamado

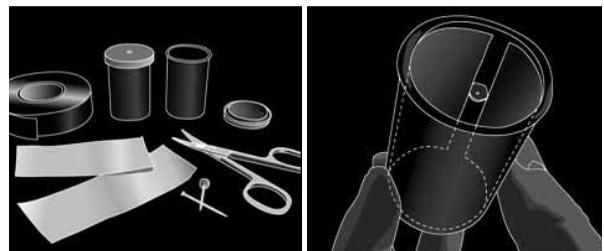
estenopo, el cual no focaliza la imagen como la lente sino que funciona como un filtro que limita la cantidad de luz que llega al material fotosensible (papel o film). Los rayos luminosos dan lugar a un cono de luz que crea no un punto sino un círculo luminoso que contiene la imagen proyectada. Para obtener imágenes nítidas el estenopo "ideal" debería permitir el paso de un único rayo lumínico procedente de cada punto del objeto.

Existen varias fórmulas para determinar el diámetro óptimo del estenopo; la mas utilizada es:

$$\text{Diámetro} = \sqrt{(0,0016 \times \text{Distancia Focal (en mm)})}$$

De la aplicación de esta fórmula resulta que el diámetro es extremadamente pequeño... La mayoría de las veces inferior a 0,5 mm.

El orificio del estenopo se realiza habitualmente sobre una pequeña y delgada lámina de aluminio fijada sobre el frente de la cámara, y como material fotosensible se suele utilizar papel fotográfico blanco y negro, aunque también se han logrado muy buenos resultados utilizando film. Una vez terminada, nuestra cámara estenopeica tendrá un aspecto similar al que muestra la imagen.



Cámara Estenopeica

Cámara construida con un tubo portarrollos. Su construcción es sencilla ya que el mismo tubo es hermético y no refleja la luz en su interior. El costo de construcción es casi insignificante ya que los estos tubos portarrollos se obtienen gratuitamente en las casas de fotografía. Esta cámara es similar a la realizada en el curso de fotografía astronómica por los alumnos para la realización de solarigrafías.

El estenopo fue construido sobre una pequeña lamina de aluminio y su diámetro es de 0,23 mm, su distancia focal de 30 mm lo que da como resultado un número f de 128

Se utiliza con papel fotográfico Blanco y Negro y, en condiciones normales de luz, se obtienen fotografías estenopeicas con 15 segundos de exposición.

Para realizar una solarigrafía la cámara estenopeica debe sujetarse firmemente a un caño o columna apropiados en lo alto de cualquier construcción, orientando el estenopo hacia la parte del cielo por donde habrá de “transitar” el sol, día a día, durante todo el tiempo de exposición. Los períodos ideales para obtener las mejores solarigrafías son aquellos comprendidos entre equinoccio y solsticio, es decir entre las siguientes fechas:

- Diciembre 21 o 22 - Marzo 20 o 21
- Marzo 20 o 21 - Junio 21
- Junio 21 - Septiembre 22 o 23
- Septiembre 22 o 23 - Diciembre 22

A diferencia de la fotografía tradicional, la imagen captada luego de tres meses de exposición no debe ser revelada ya que los químicos destruirían la toma. Una imagen con tanto tiempo de exposición se encuentra claramente sobre expuesta, pero la tecnología digital posibilita su obtención escaneando el papel que hemos utilizado como negativo. Una curiosidad acerca de las solarigrafías es que si bien el papel fotográfico utilizado es blanco y negro, la imagen resultante será en color.



Esta cámara, construida con una lata de gaseosa, está pintada en su interior de color negro para evitar el reflejo de la luz. El estenopo fue realizado sobre una pequeña lámina de aluminio.

La distancia focal es de 60mm; el estenopo mide 0,32mm lo que le da un número f de 184. Esta cámara se utiliza con papel fotográfico blanco y negro que permite realizar fotografías y solarigrafías. Una toma fotográfica estándar puede obtenerse con tan solo 30 segundos de exposición. Más información en www.estenopolis.com.ar.

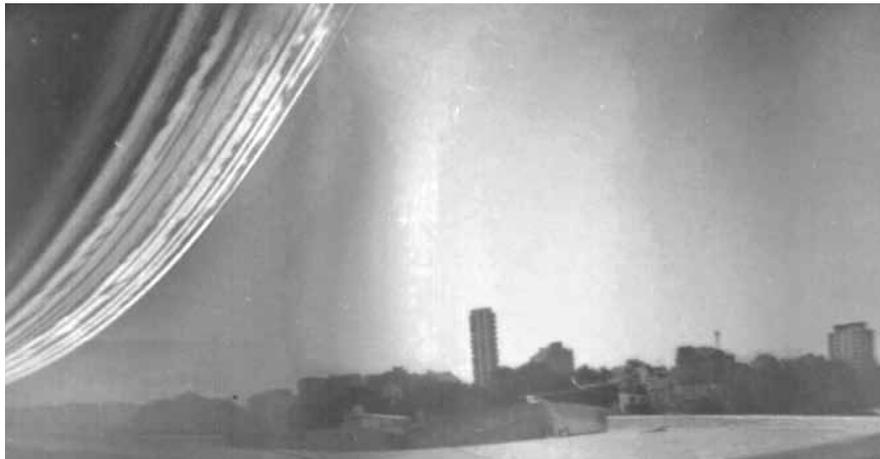
Debido a los prolongados tiempos de exposición que se necesitan, la fotografía deja de ser una imagen latente y la traza del sol captada por la cámara estenopeica puede verse a simple vista, bajo condiciones especiales de luz.

Estimados lectores, en muchas páginas de Internet se explica en detalle como construir una máquina estenopeica... ¿Se animan a intentarlo? 

Verónica Espino

A.A.A.A.

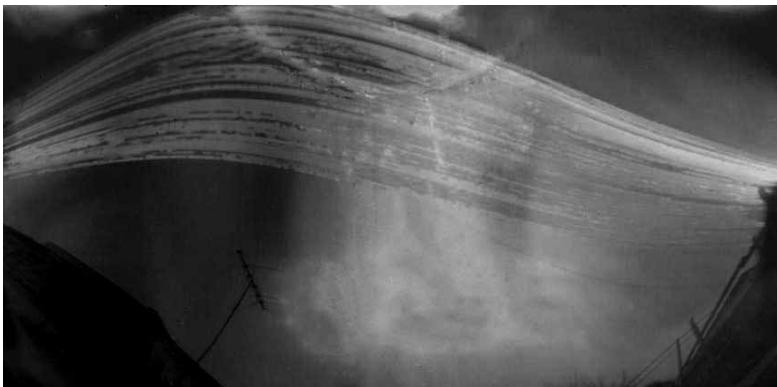
Profesora de Fotografía Astronómica



Solarigrafía - Verónica Espino

Izq.: Imagen realizada con una cámara estenopeica de construcción casera. La exposición se realizó desde el 21/09 al 21/12 de 2009 en el barrio de Villa Urquiza con vista al Este y formó parte del proyecto colectivo de documentación del movimiento aparente del sol denominado “Nuestras Eclípticas”.

Abajo: dos solarigrafías tomadas con una cámara estenopeica construida a partir de una lata de leche en polvo. La exposición se realizó desde el 21/09 al 21/12 de 2009 en Ezeiza, provincia de Buenos Aires.



Solarigrafía - Jorge Weselka



Solarigrafía - Jorge Weselka



Solarigrafía - Verónica Espino

Izquierda: Imagen realizada con una cámara estenopeica de construcción casera. La exposición se realizó desde el 21/09 al 21/12 de 2009 en el barrio de Almagro con vista al Este.

Abajo: imagen realizada con una cámara estenopeica construida en el curso de Fotografía Astronómica. Esta imagen muestra el paso del sol por el Barrio de Caballito en el mes de Septiembre de 2009.



Solarigrafía - Luis D'Amico y Laura Noemí Snaiderman



Fotografía: Fernando Benavente y Mónica Konishi, A.A.A.A.

Región de la Nebulosa Eta Carinae y NGC 3532

Las imágenes fueron capturadas y procesadas por alumnos del nuevo Curso de Fotografía Astronómica, hasta obtener el resultado que se publica, una imagen final de 20 minutos de exposición total. Se empleó una cámara Canon Rebel Xs, con un objetivo de 105mm de distancia focal, montada en forma piggy-back sobre un pequeño telescopio guía



80° Aniversario

Socios e invitados presentes en la fotografía tomada durante el festejo del 80 Aniversario de la Asociación, realizado el 31 de octubre del año 2009 en nuestra sede social; desde la izquierda:

Susana Boudemont
Erik Meinsel
Leonardo Cufaro
Jorge Weselka
Santiago Acha
Lucas Rosenberg
Alejandro Traverso
Pedro Saveff
Mónica Conci
Leandro Casiraghi
Gabriel Cicuttin
Evelyn Götz

Ariel Kachuka
Román Mykytyuk
Abel Blotto
Yasmin Olivera Cuello
Edgardo Perea
Enrique Dios
Natalia Carbonne
Jorge Saini
Gabriela Altilio
Nahuel Srnec
Marcela Dorfman
Clarisa Spatafora

Matilde Iannuzzi
Verónica Leyenda
Fernando Benavente
Ezequiel Koile
Héctor Villalva
Mónica Konishi
Sara Sarquise
Pablo Fizelew
Alberto Lucotti
Horacio Galacho
Alejandra Castex
Gloria Roitman

Matías Jones
Nelson Simoni
Laura Medina
Martin Monteverde
Gabriel Brichetto
Nora Ruiz
Mónica Willimann
Carlos Castiñeiras
Martin Raverta
Gustavo Rodriguez
Luis Manterola
Juan Manuel Seoane

Alexia Rotzajt
Adriana Volpe
Adolfo Breman
Alejandro Blain
Roberto Mackintosh
Carlos Pucci
Alejandro Galli
Paula Mastrodonardo
Gabriel Tomasi
Carlos Segovia
Facundo Nahuel Brill
Diego Arenas

Martin Brill
Jose Aiani
Eduardo Lajús
Claudio Pietrasanta
Ricardo Gil Hutton
José Carozza
Gustavo Palomero
Mario Gorelli
Gabriel Otero
Roberto Venero
Hernán Socolovsky



10º Aniversario

Concurrentes a la comida de camaradería efectuada el día 22 de abril de 1939, conmemorando el X Aniversario del comienzo de las actividades de la Asociación Argentina "Amigos de la Astronomía"; desde la izquierda:

Sr. Adolfo Naveira
 Dr. M. A. Galâm de Malta
 Sr. J. Eduardo Mackintosh
 Sr. Esteban F. Rondanina
 Sr. Alberto M. Naveira
 Sr. Carlos L. Segers
 Ing. Luis M. Ygartúa
 Dr. Ulises L. Bergara
 Sr. Pablo Tosto
 Dr. Bernhard H. Dawson
 Ing. Héctor Ottonello
 Ing. Edgar Vance Baldwin

Sr. Angel V. Corletta
 Sra. Rosa A. G. de Badino
 Ing. Ricardo E. Garbesi
 Dr. José H. Porto
 Srta. Graciela Silva
 Sr. Cosme Lázaro
 Sr. Adolfo Völsch
 Sra. Sylvia K. de Dawson
 Sr. Edgardo Hilaire
 Sra. Elvira F. B. de Naveira
 Sr. Oscar Buccino
 Sr. José Galli

Srta. Leonor Silva
 Sr. F. Gardiner Brown
 Sr. Laureano Silva
 Sr. Juan O. Mariotti
 Sr. Carlos Cardalda
 Sr. Luis Molina Gandolfo
 Sr. José Galli Aspes
 Sr. José R. Naveira
 Sr. Domingo A. Badino
 Sr. Angel Pegoraro
 Sr. José Naveira (hijo)



Nebulosa Helix

La nebulosa de la Hélice es una de las nebulosas planetarias más cercanas a la Tierra. Situada a unos 650 años luz de distancia, se extiende cerca de 3 años luz y se localiza en la constelación de Acuario. Estos singulares tipos de objetos son modelados por estrellas similares al Sol, que en las etapas finales de su evolución van expulsando sus capas más externas. El núcleo remanente de la estrella central, que se transformará en una enana blanca, emite suficiente energía como para que el gas previamente expulsado se torne fluorescente.

En la actualidad los investigadores estiman que varias propiedades de la estrella progenitora podrían influenciar la forma en la cual el polvo y el gas son eyectados cada vez que ella expulsa material. Algunas de estas propiedades serían: la velocidad de rotación sobre su eje y la orientación del mismo, la intensidad del campo magnético y la orientación de su eje, y la influencia de una compañera si la hubiera.

En el caso de Hélice, la estrella central es muy caliente, ya que alcanza los 120.000 °C, y emite intensamente radiación ultravioleta. Los colores que realzan la nebulosa son debido a los distintos gases que, bajo la acción de la radiación, emiten luz: el verde-azulado corresponde al oxígeno y el rojo al hidrógeno y el nitrógeno.

Como puede verse en la imagen principal, esta nebulosa, vista desde la Tierra, guarda cierto parecido con una rosquilla, delicia que muchas veces es tomada como referencia para describir su forma. Pero esta percepción que tenemos de la nebulosa, debida a la perspectiva que tenemos por nuestra posición relativa al objeto, puede resultar bastante errónea. La figura 1 representa, en cambio, un modelo de cómo observaríamos esta misma nebulosa, pero desde uno de sus costados. Su estructura (ver figura 2) está conformada por un Disco Interno y un Anillo Exterior (más precisamente un disco toroidal) orientados casi perpendicularmente el uno con respecto al otro. El origen de esta compleja estructura podría ser la presencia de una estrella compañera de la estrella central. Uno de los dos



Nebulosa de la Hélice NASA

componentes sería perpendicular al eje de rotación de la estrella central, mientras que el otro reposaría en el plano orbital del sistema. A partir de las velocidades de expansión que se han medido del disco y el anillo se puede establecer que el primero se originó hace unos 6.500 años y el segundo hace unos 12.000. La velocidad varía, según en el caso, entre los 145.000 km/h y los 115.000 km/h, respectivamente.

Los rasgos indicados en la figura 2 como Penachos Noroeste y Sudeste podrían ser la manifestación de jets altamente colimados, originados a partir de un anillo de acreción, y generados bajo la influencia de la estrella binaria compañera y del campo magnético. Ambas estructuras serían perpendiculares al disco interno y, además, en el caso del Penacho Noroeste podemos ver cómo interrumpe nitidamente al anillo exterior.

Los Penachos formarían parte de una estructura vertical bipolar, clásica en las nebulosas planetarias.

Además del sistema de anillos principal, compuesto por los citados Disco Interno y Anillo Exterior, existe un anillo aun más exterior (Anillo Más Exterior), probablemente originado en un tercer episodio de eyección de material. También es posible que este anillo y el Anillo Exterior formen parte de una misma estructura, siendo cada uno de ellos los límites externo e interno respectivamente. En la porción del Anillo Exterior designada como Arco Noroeste puede apreciarse cierto aplanamiento, producto de su colisión con el medio interestelar circundante, a medida que todo el sistema de la nebulosa se desplaza en él.

Mirando más en detalle la imagen de la nebulosa podrán verse unos filamentos radiales similares a cometas. Estas estructuras serían nódulos de gas y polvo que se habrían formado en o inmediatamente afuera del frente

de ionización, como resultado de inestabilidades en él. El frente de ionización se mueve hacia fuera a medida que la nebulosa se expande y va alcanzando una densidad promedio más baja, dejando los nódulos atrás. La posterior acción del viento estelar sobre estos nódulos esculpiría la forma cometaria que los caracteriza. Si bien parecen relativamente pequeños su tamaño aproximado es similar al de nuestro sistema solar.

Bibliografía Recomendada

Unraveling the helix nebula: its structure and knots. C. R. O'Dell, and Peter R. McCullough and Margaret Meixner. The Astronomical Journal, 128:2339–2356, 2004 November.

The tails in the Helix Nebula NGC 7293. J. E. Dyson I, J. M. Pittard, J. Meaburn, and S. A. E. G. Falle. Astronomy & Astrophysics 457, 561–567 (2006).

Créditos de la imagen e ilustraciones: NASA, ESA, C.R. O'Dell (Vanderbilt University), and M. Meixner, P. McCullough, and G. Bacon (STSI).

Edición: Roberto Mackintosh A.A.A.A.

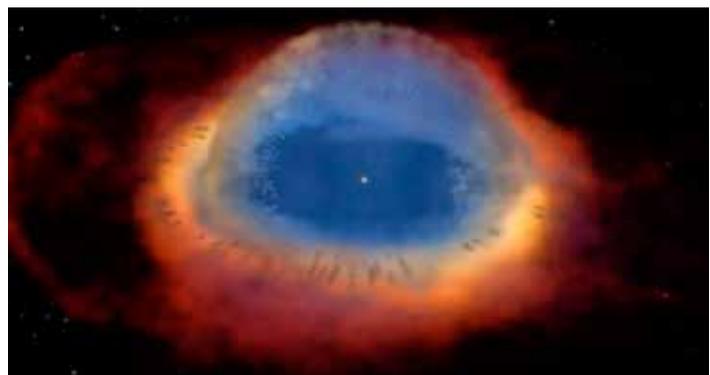


Fig. 1: Simulación de vista lateral de la nebulosa - NASA

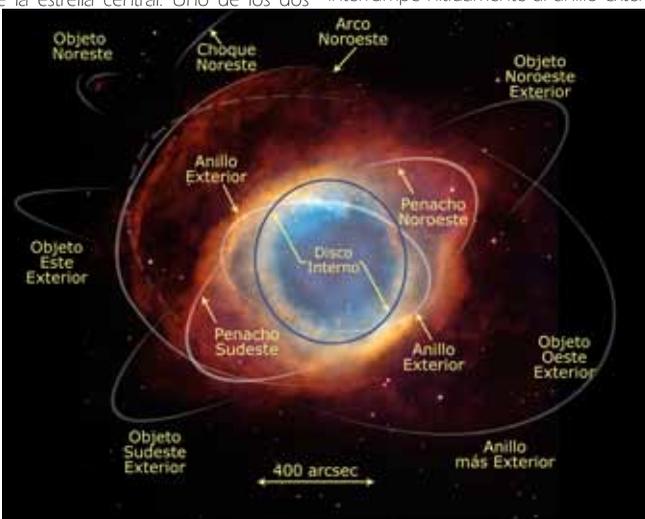


Fig. 2: Nebulosa de la Hélice - esquema de composición - NASA

EVOLUCIÓN ESTELAR

QUÉ LES SUCEDE A LAS ESTRELLAS UNA VEZ AGOTADO EL HIDRÓGENO EN SU NÚCLEO Y CUÁLES SON LOS “CAMINOS” QUE PODRÁN SEGUIR EN LOS PROCESOS EVOLUTIVOS, DE ACUERDO A SU MASA Y COMPOSICIÓN QUÍMICA.

En principio, es posible decir que para una estrella que ha agotado su fuente de energía termonuclear sólo le puede estar aguardando su final, a menos que disponga de otros medios que le suministren más energía para seguir “viviendo”. Una de esas posibles fuentes resulta ser, nada más y nada menos, que la que le ha dado origen, es decir, la propia gravedad.

ETAPA EVOLUTIVA DE LAS GIGANTES ROJAS

Una vez que, dentro del núcleo de una estrella, el 10% o 12% de la masa total de hidrógeno que la conforma se haya convertido en helio a causa de las reacciones termonucleares, estas comenzarán a cesar y, en consecuencia, no será posible generar más energía que compense la emisión de radiación que la estrella emite al espacio desde su superficie. Debido a ello, disminuirá la temperatura en su núcleo y con ella la presión. Finalmente, no habrá nada que impida una nueva contracción gravitatoria del núcleo de la estrella y una vez que el material de los alrededores se enfríe lo suficiente, también se contraerán.

Todo esto, desencadenará el colapso de las capas que forman parte del interior de la estrella. El hidrógeno pre-

sente en las capas inmediatamente por encima del núcleo inerte de helio, será comprimido contra este último por la presión de las capas aún más externas que también se contraen. De este modo aumentará su densidad y temperatura, a tal punto, que en ellas tendrán lugar nuevas reacciones de fusión termonuclear a partir del hidrógeno. Esto se conoce genéricamente como *fusión de hidrógeno en capas* (shell burning). El núcleo de la estrella, por el momento inerte, incrementará así su masa con el agregado del helio producido en esa capa que lo rodea y proseguirá de este modo hasta que la masa de helio en la parte central de la estrella supere el *límite de Schoenberg-Chandrasekhar*, lo que iniciará su contracción debido a su propio peso.

La energía producida mediante la fusión del hidrógeno en capas conjuntamente con el lento pero sostenible aumento de la temperatura del núcleo, consecuencia de la lenta contracción que experimenta, terminarán por calentar las capas intermedias de la estrella. Al ser menos densas, se expandirán lentamente, aumentando su volumen e incrementando así, gradualmente, el tamaño de la estrella. Es natural suponer que las capas más externas, al expandirse la estrella, disminuyan su densidad. Al disminuir la densidad, la radiación ya no siempre encontrará a su paso un átomo o molécula que la absorba y la emita nuevamente hacia el interior de la estrella y, en consecuencia, dicha radiación se escapará al espacio, y cada vez lo hará desde capas aún más profundas en el interior de la estrella. Dicha pérdida de radiación resultará en una disminución de la temperatura en las capas más externas de la estrella, lo que traerá aparejado la disminución de la temperatura en la superficie de la estrella, provocando que el pico máximo de emisión de dicha radiación se desplace hacia el color rojo del espectro.

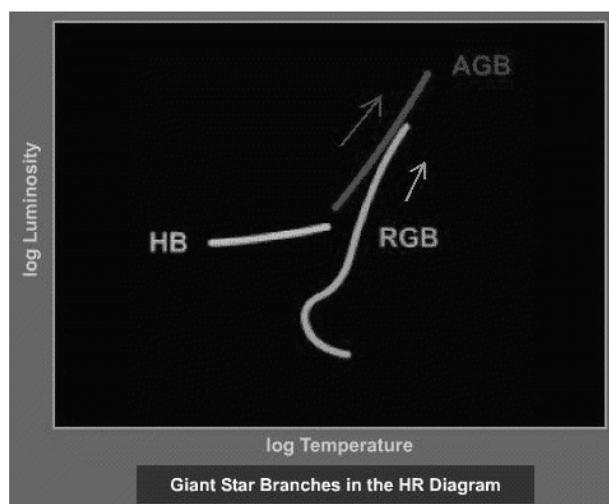


Figura 1. La gráfica representa los caminos a describir por una estrella que ha consumido todo su hidrógeno en el núcleo. Primero, ascenderá por la rama de las gigantes rojas (RGB). Cuando comience las reacciones a partir del helio en el núcleo se situará en la rama horizontal (RH o HB) y luego, cada vez que la estrella utilice la combustión de elementos más pesados en capas externas, ascenderá y descenderá por la rama asintótica de las gigantes (AGB); situándose temporalmente en la RH, una vez que se haya alcanzado el equilibrio en el núcleo por medio de reacciones nucleares.

Nos encontramos así, en presencia de una etapa en el proceso evolutivo de la estrella donde impera el desequilibrio total de su estructura, dicha etapa se conoce con el nombre de *Fase de Gigante Roja*. Las estrellas en esta etapa, sean tanto de la parte superior como de la inferior de la secuencia principal (Diagrama Hertzsprung-Russell), al aumentar su tamaño (luminosidad) y disminuir su temperatura superficial (cambio de su tipo espectral a otros más tardíos), comenzarán a apartarse de la secuencia principal, yendo hacia la derecha y hacia arriba en el diagrama H-R; siguiendo el camino en forma ascendente sobre la rama de las gigantes rojas (RGB) (figura 1).

Pero, como ha pasado hasta aquí, el modo en que se suceden los diferentes estadios correspondientes a los procesos que se llevan a cabo en esta nueva etapa también dependerá de la masa de la estrella. Por lo tanto, podremos seguir aplicando la división de las zonas superior e inferior en el diagrama H-R, con el objeto de describir los procesos en cada caso, tal y como lo hemos hecho hasta ahora.

PARTE INFERIOR DE LA SECUENCIA PRINCIPAL

En esta etapa evolutiva, las estrellas que corresponden a esta zona de la secuencia principal del diagrama H-R (estrellas con una masa igual o menor a 5 veces la masa del Sol), presentan una envoltura, próxima al pequeño núcleo de helio inerte en contracción. En esta región se producen reacciones termonucleares del hidrógeno, lo cual produce más helio que precipita sobre el núcleo, incrementándose así, incesantemente, su densidad. Como

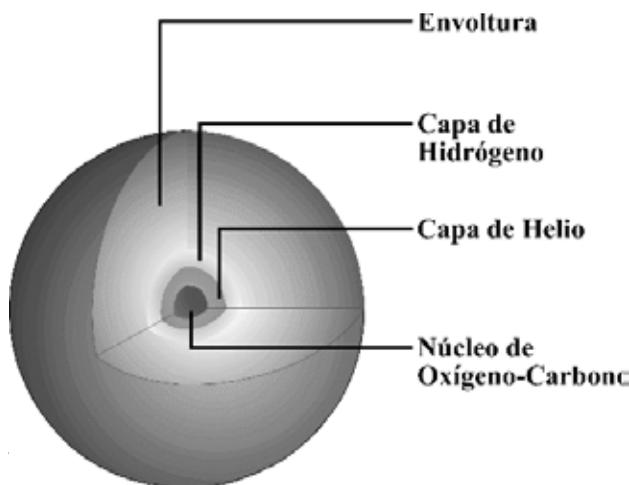


Figura 2. Estructura de una estrella que se encuentra en la Rama Asintótica de las Gigantes (AGB). La escala relativa de tamaño no es real: la envoltura es miles de veces mayor que el núcleo de carbono y oxígeno.

consecuencia, el helio presente en estas condiciones extremas de presión y temperatura, pasa a encontrarse bajo un estado de la materia, denominado *estado degenerado*¹. En este estado, la materia en el núcleo de la estrella, formada casi enteramente por núcleos de átomos de helio y electrones, está tan comprimida que todos los núcleos de los átomos se encuentran inmersos en un mar de electrones. Estos últimos se mueven libremente entre los núcleos de los átomos de hidrógeno y de helio pero no los orbitan, ya que en este estado los electrones no perciben la presencia de aquellos. Por ser la materia degenerada una muy buena conductora del calor, pronto todo el núcleo de la estrella se encuentra a una misma temperatura.

Sin embargo, las diferencias de las propiedades que presenta la materia en estado degenerado no terminan allí. En un gas, si la temperatura disminuye o se incrementa, el movimiento medio de las partículas que lo constituyen disminuirá o se incrementará también y junto con ello, lo hará en forma correspondiente la presión. Pero en un gas degenerado, como el que se asume aquí, un gas de electrones y de núcleos de átomos de helio, sus elementos componentes que se mueven libremente están tan comprimidos, tan cerca los unos de los otros, que no pueden permanecer en reposo por demasiado tiempo sin violar las reglas de la Mecánica Cuántica (el Principio de Exclusión de Paulí), dado que dichas partículas se encuentran permanentemente en movimiento con velocidades o direcciones diferentes, lo que les permite a su vez, y en cierto modo, separarse mínimamente las unas de las otras, resultando de ello una nueva forma de presión. Así pues, si el gas en estado degenerado disminuye o aumenta su temperatura, la presión de este gas no se verá afectada, pues depende de la densidad de los electrones y partículas alfa (número de partículas que se intentan alejar entre sí) y no de la temperatura.

Volviendo ahora sí a la descripción de los procesos internos en esta etapa de la evolución de las estrellas (con masa inferior a las 5 veces la masa del Sol), podrá decirse que existe entonces un pequeño núcleo formado por helio en estado degenerado, por fuera de esta parte central de la estrella existe una zona de helio en estado parcialmente degenerado, un poco más allá, una delgada capa de helio no degenerado y, aún más hacia fuera, una capa de hidrógeno, en donde se llevan a cabo reacciones ter-

¹ Es otro estado tal como lo son: sólido, líquido, gaseoso y plasma. Resulta de las investigaciones teóricas realizadas por un gran número de renombrados físicos, entre quienes se destacan Satyendra Nath Bose y Albert Einstein, sobre la mecánica cuántica y de diversos trabajos de laboratorio realizados en este último tiempo por Eric Comell y Carl Wieman.

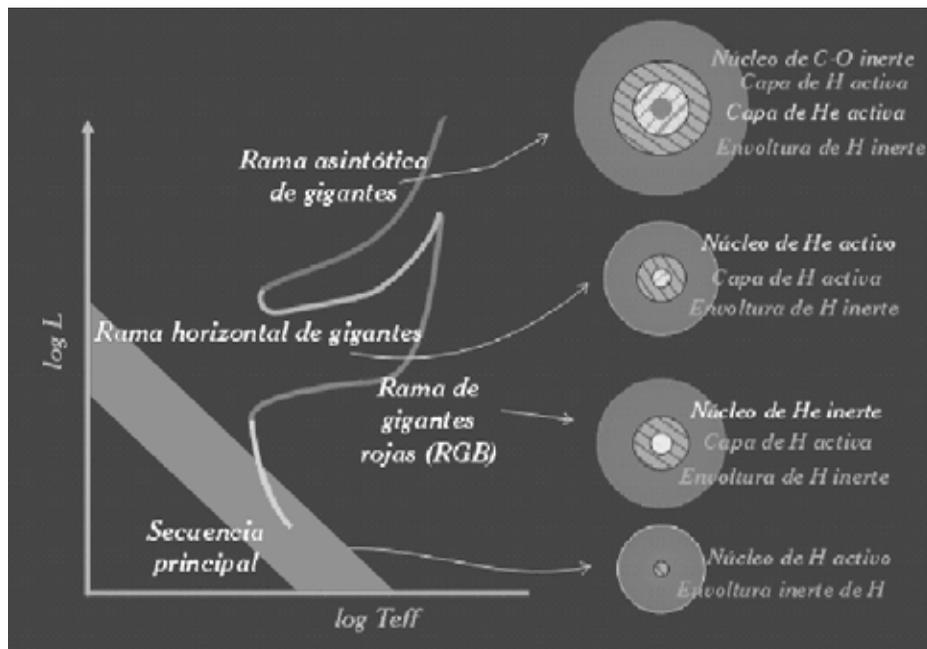


Figura 3. Ampliación de un sector del Diagrama de Hertzsprung-Russell. Secuencia evolutiva de una estrella que transita por las fases de Gigante Roja, Gigante Roja de la Rama Horizontal y Gigante Roja de la Rama Asintótica (el gráfico no está a escala para que se pueda apreciar mejor la mencionada secuencia evolutiva).

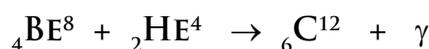
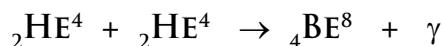
monucleares (P-P y CNO). Finalmente, se encuentra una inmensa sucesión de capas más tenues (poco densas) y extensas de hidrógeno, que forman la parte intermedia y la envoltura de la estrella (figuras 2 y 3).

En el interior de la estrella la situación es sumamente caótica, pues continuamente se está produciendo más y más helio en las capas que se encuentran inmediatamente por encima del núcleo de la estrella, el cual precipitará sobre este último, incrementando así cada vez más su masa y su densidad. Como ya se ha dicho, el aumento de la densidad de la materia en el núcleo de la estrella y las condiciones extremas fomentan el cambio de estado de la materia, pasando a estar degenerada. Una vez alcanzado dicho estado el núcleo deja de contraerse² y se limita únicamente a aumentar su temperatura de forma paulatina e incesante. El aumento de la temperatura del núcleo de la estrella y la inyección adicional de energía, producida por las reacciones termonucleares del hidrógeno en las capas que se encuentran justo por encima de éste, conducen al calentamiento del gas de las capas intermedias de estrella. Como resultado, estas capas terminan por dilatarse, expandiendo así a las capas más externas de la estrella.

Las capas más externas de la estrella se dilatan tanto que se enfrían lo suficiente como para desplazar su ubicación en el diagrama H-R, alejándose de la secuencia principal, en un principio hacia la derecha y luego hacia arriba, describiendo la rama de las gigantes rojas (ascenderán por la rama RGB de la figura 1 y de la figura 3).

Por otra parte, se tiene que el resultado de las reacciones termonucleares entre núcleos de helio es sustancialmente diferente de los resultados obtenidos a través de las reacciones del hidrógeno. Mientras que a partir de la fusión del hidrógeno se obtienen núcleos de deuterio, tritio o helio (relativamente estables), para el caso del helio el resultado inmediato es el núcleo de un isótopo del berilio (que es muy inestable y se desintegra rápidamente). Para que se formen núcleos estables³, se requiere una reacción de fusión “triple alfa”, la cual sólo puede tener lugar cuando el helio se encuentra en estado degenerado y a una temperatura de unos cien millones de grados (100.000.000 °K). De esta forma, el núcleo continúa incrementando su masa y temperatura hasta que se alcanzan las colosales condiciones que son necesarias para dar lugar a la fusión de núcleos de helio para obtener núcleos de carbono.

Demos una descripción rápida de la reacción triple alfa:



² Por la suerte de presión inducida a través del movimiento de las partículas que lo forman, al no poder violar el principio de exclusión de Pauli.

³ Que no se desintegren con tanta rapidez.

La primer parte de la reacción se da muy frecuentemente en las condiciones en que se encuentra el núcleo. En cambio, si la temperatura no es del orden del que se ha dicho anteriormente (la velocidad de los núcleos de helio no es la suficiente) los núcleos de berilio se estarán moviendo muy lentamente, por ende, durante el brevísimo instante de tiempo en que viven no tendrán oportunidad de encontrarse con otro núcleo de helio y, de este modo, completar la segunda parte de la reacción. Lo que sí sucede una vez alcanzada tan colosal temperatura.

En el momento en que el núcleo alcanza la temperatura necesaria, comienza a tener lugar el proceso triple alfa, lo que conlleva un aumento de la energía producida y ello hace subir aún más la temperatura. Pero como la materia se encuentra en estado degenerado, este calor no produce una expansión, sino más bien, sólo se limita a seguir aumentando la temperatura. Esto trae por consecuencia, que el ritmo de las colisiones de los núcleos de helio crezca, la situación se dispare y se vuelve completamente inestable, produciéndose en el núcleo de la estrella una súbita explosión de energía.

Este espectacular incremento de la energía hace alterar el estado del núcleo, volviéndolo inestable, y sólo puede terminar cuando el helio se haya agotado (proceso que describiremos más adelante) o cuando la temperatura sea lo suficientemente alta como para remover la degeneración y permitir un aumento de la presión seguido de una expansión y enfriamiento. El proceso de reacción termonuclear descrito más arriba, llamado por Härm y Schwarzschild (1961) *relámpago del helio*, se produce en forma extremadamente rápida, desarrollando tremendas cantidades de energía. Aunque hay que tener presente que, debido a la opacidad del material, ésta no sale al exterior y en ningún momento pone en riesgo la integridad total de la estrella.

En el caso particular que estábamos estudiando, la temperatura es suficiente como para que la materia deje de estar en estado degenerado y pase a ser nuevamente materia “ordinaria”, por cuanto sufrirá una expansión y luego se enfriará.

Las consecuencias que de este proceso se derivan resultan bastantes difíciles de calcular, ya que los modelos desarrollados por computadores son sumamente complejos. El resultado más relevante es que la estrella quemará helio en su núcleo produciendo carbón (mediante el proceso triple alfa) y luego oxígeno (cuando se fusiona un núcleo de un átomo de carbono y uno de helio), y que-

ma hidrógeno en una capa superior, obteniendo por supuesto más helio que se precipita sobre el núcleo activo. Aparecen, entonces, dos modos simultáneos y separados de obtención de energía. La estrella, tras el destello del helio, 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* (HB) de las Gigantes, tal y como se muestra en las figuras 1 y 2. La posición exacta depende de la masa y de la composición química de la estrella, siendo tanto más caliente (azul) y luminosa cuanto mayor sea la masa y menor sea la proporción de elementos pesados (los que se encuentren más allá del helio).

Ahora bien, la estrella en la rama horizontal se encuentra en una situación de equilibrio, semejante a la experimentada por la estrella en la secuencia principal, hasta que se agote el combustible del núcleo (en este caso el helio). Una vez agotado, el núcleo se encontrará formado principalmente de carbono y trazas de oxígeno, y se irá contrayendo por la escasez de energía⁴. Por otra parte, el helio que se encuentra en las capas inmediatamente por encima del núcleo de la estrella, comienza a contraerse y al ser “aplastado” por el peso de las capas externas, aumenta su densidad y temperaturas al punto que le es posible reanudar las reacciones del tipo triple alfa. Naturalmente, también se llevarán a cabo reacciones del tipo protón-protón o C.O.N, en capas aún más externas dentro de la estrella.

Todo esto producirá que la estrella vuelva a ser inestable y que sus capas más externas se calienten y expandan una vez más, aunque en esta oportunidad lo hará por el camino de la *Rama Asintótica de las Gigantes* (AGB). Todo este proceso (rápidamente descrito con anterioridad) puede repetirse una y otra vez (siempre y cuando se lo permita la masa de la estrella) produciendo sucesivamente diferentes elementos químicos aunque los modelos de esta naturaleza pueden ser muy complejos y difíciles de calcular con precisión.

PARTE SUPERIOR DE LA SECUENCIA PRINCIPAL

Existe un límite al peso del núcleo de helio cuando la estrella se encuentra en la fase de gigante roja: si su peso supera más de la décima parte del total de la estrella, el modelo, donde la estrella se encuentra equilibrada debido a la producción de energía mediante las reacciones

⁴ Recuerden que si no hay temperatura suficiente se pierde presión y la gravedad toma totalmente el control de la situación.

protón-protón en las capas inmediatamente por encima del núcleo de helio inerte, se vuelve inestable. Dicho límite recibe el nombre de *límite de Schoenberg-Chandrasekhar*.

Al principio, cuando la estrella de la parte superior de la secuencia principal comienza a quemar hidrógeno en una capa alrededor del núcleo, no se viola el límite ante dicho (por lo que la estrella seguirá en equilibrio). Pero, cuando se añade más helio al núcleo a partir de las reacciones p-p en capas, se alcanza una etapa en que se viola ese criterio. En ese instante, el núcleo comienza a contraerse rápidamente y la estrella se mueve igual de rápido hacia la derecha en el diagrama H-R.

La diferencia principal entre las estrellas de la parte superior e inferior de la secuencia principal procede de las condiciones distintas en sus centros. La estrella de la parte superior empieza con una temperatura central más alta y, como hemos visto, también con una densidad central más baja que una estrella de la parte inferior. Por tanto, la ignición del helio sucede antes de que la materia del núcleo se vuelva totalmente degenerada. El cambio de luminosidad en el diagrama H-R es limitado, al contrario de lo que sucede con las estrellas de la parte inferior. Ambos tipos de estrellas van a pasar a la región de las gigantes rojas: hay poca diferencia en la posición H-R de una estrella de 1 y de 3 masas solares cuando se acercan al punto de ignición del helio. No así para estrellas de masas iguales o superiores a las 15 masas solares.

Las reacciones posteriores a la de transformación del helio en carbono, dependerán de la densidad, temperatura y composición química del centro de la estrella. En una estrella no mezclada, las capas en dirección al centro son cada vez más deficientes en elementos ligeros, mientras que las capas más externas son ricas en hidrógeno, la siguiente lo será en helio (aunque no presente hidrógeno), la siguiente no posee ni hidrógeno ni helio, pero sí será rica de carbono, etc. En una estrella completamente mezclada, esta separación no existe, y el hidrógeno se quema completamente hasta desaparecer en toda la estrella, para luego dar paso al mismo proceso para el helio.

Así, el destino de los núcleos de helio no es sólo tomar parte de las reacciones triple alfa, sino que pueden fusionarse con núcleos de carbono y originar oxígeno. Si la temperatura alcanza los 160 millones de grados Kelvin ($^{\circ}\text{K}$), los núcleos de carbono pueden reaccionar entre sí originando más oxígeno, neón y magnesio junto con algo de sodio. También se producen flujos de partículas nucleares tales como protones y neutrones que reaccionan

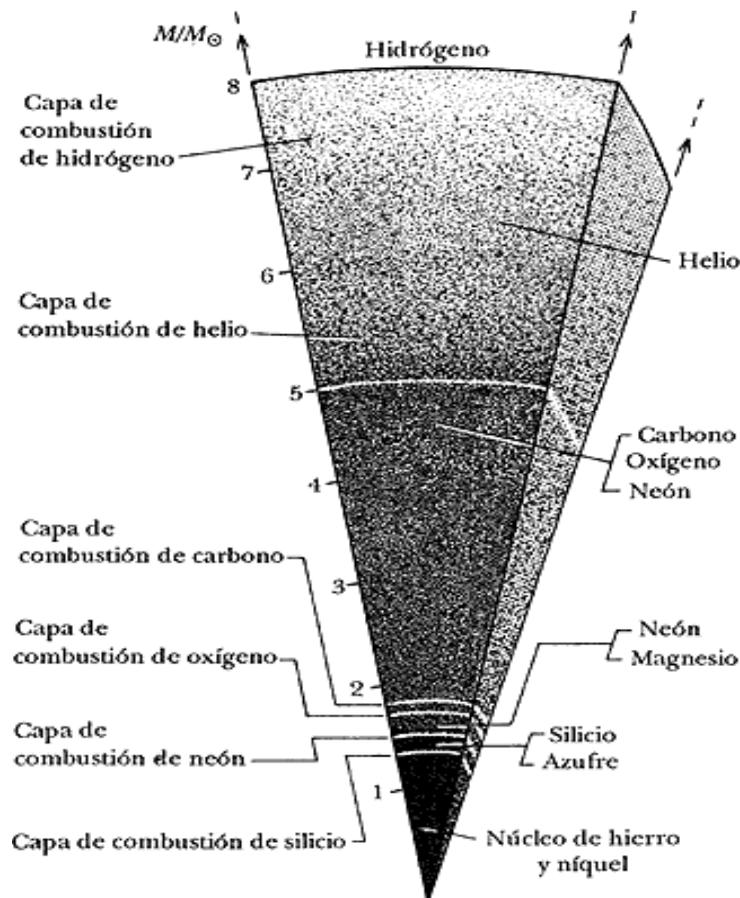


Figura 4. Estructura de una estrella de la parte superior de la Secuencia Principal que ha pasado por los diferentes procesos de obtención de energía, que han dado como resultado la fusión termonuclear en capas en su núcleo.

con los núcleos presentes induciendo nuevas reacciones por captura de estos. Conforme va creciendo la temperatura, se van originando nuevas reacciones nucleares entre elementos pesados para generar otros nuevos elementos como el silicio, azufre, fósforo (a los 1000 millones de grados) e incluso hierro (a los 3000 millones de grados). Todo este proceso que se lleva a cabo en el interior de las estrellas se denomina *nucleosíntesis de los elementos* (figura 4).

Llegado hasta aquí, se ha podido describir los diferentes procesos que experimentan las estrellas una vez que agotan su "combustible" nuclear en su interior y se apartan de la secuencia principal, con las fases de transición de las Gigantes Rojas y Gigantes Asintóticas, pasando por los estados de equilibrio descritos en la Rama Horizontal. Lo que les depara a partir de este punto a cada una de las estrellas son los correspondientes a los procesos que tendrán lugar en los diferentes estados finales, que como ha sido hasta aquí, dependerán enteramente de su masa y composición química y los cuales serán descritos en futuros artículos. 🏠

Adrián Bogao

A.A.A.A.

Profesor de Astronomía 1

Estudiante de Cs. Físicas FCEN

COMPLEJO ASTRONÓMICO EL LEONCITO



Fotografía: Matías Jones



Fotografía: Matías Jones



Fotografía: Matías Jones

CASLEO

Arriba: fotografía del Complejo Astronómico dependiente del CONICET y de las Universidades de La Plata, Córdoba y San Juan; ubicado en la provincia de San Juan a más de 2550 metros de altura sobre el nivel del mar.

Abajo a la izquierda: Matías Jones junto al telescopio Ritchey-Chretien "Jorge Sahade", en conmemoración al socio honorífico y ex presidente de la AAAA que ocupó, a su vez, la

presidencia de la UIA (Unión Internacional de Astronomía) y tuvo un rol destacado en el desarrollo de la ciencia en nuestro país.

Abajo a la derecha: El Telescopio Solar de Ondas Sub milimétricas (SST), su función principal es estudiar las fulguraciones o explosiones solares; es el único telescopio solar que trabaja en las altas frecuencias de 212 y 405 GHz.

El Complejo Astronómico el Leoncito (CASLEO) se encuentra ubicado dentro del Parque Nacional el Leoncito en la provincia de San Juan. Es uno de los observatorios astronómicos más importantes del país y cuenta con el telescopio óptico de mayor diámetro, un telescopio reflector de 215 cm de diámetro instalado a 2552 metros sobre el nivel del mar.

Fue creado formalmente en mayo de 1983 como un centro nacional de servicios para la comunidad astronómica e inaugurado el día 12 de Septiembre de 1986 con la presencia del Presidente de la República, el Dr. Raúl Alfonsín. Depende del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y de las Universidades de La Plata, Córdoba y San Juan.

El complejo cuenta con capacidad para albergar a más de 40 personas, que incluyen el personal técnico, administrativo, mantenimiento, cocina y limpieza, y a los investigadores que asisten a su turno de observación. Las instalaciones cuentan con habitaciones dobles con baño privado, comedor, sala de reuniones y una sala de recreación para el personal. También se dispone de internet, conexión telefónica y televisión.

El personal del CASLEO realiza sus arduas tareas en turnos de 8 días corridos, conviviendo con la altura y en horarios nocturnos para la operación de los telescopios y durante el día para el mantenimiento de los mismos con temperaturas que en invierno pueden llegar a los -10°C .

Las necesidades técnicas están cubiertas a través de talleres para mecánica de precisión, de metalurgia y para vehículos, laboratorios de electrónica, óptica, y computación, y otras dependencias necesarias para la actividad técnica y astronómica que se debe desarrollar. También cuenta con una usina propia a los efectos de continuar con el trabajo en el caso de cortes en el servicio eléctrico comercial. En esas circunstancias un sistema de energía continua mantiene en funcionamiento las computadoras y otros equipos sensibles hasta que los grupos electrógenos propios comienzan a generar energía.

TELESCOPIO "JORGE SAHADE"

Este telescopio es un reflector Ritchey-Chretien fabricado por la firma Boller & Chivens y posee una relación focal de 8,4. Se encuentra montado sobre una imponente montura de horquilla en modo ecuatorial. El sistema óptico cuenta con dos espejos: un espejo primario cóncavo hiperbólico de 215 cm de diámetro, con un peso de nada

menos que 1.315 kg y un espejo secundario convexo hiperbólico de 66 cm de diámetro y un peso de casi 72 kg.

En el mismo edificio se encuentra ubicada la campana de vacío para el realuminizado de sus ópticas, tarea que es ejecutada cada 18 meses aproximadamente.

Entre los varios instrumentos que se utilizan con este telescopio podemos destacar:

CCD directo: esta cámara es una Roper Scientific modelo Versarray 1300B fabricada por Princeton Instruments. Tiene una resolución de 1340×1300 pixeles con un tamaño de pixel de $20 \mu\text{m}$. El detector es un EEV CCD36-40, es un chip adelgazado, con recubrimiento Unichrome UV y es iluminado por detrás. Esto, sumado a que se refrigera con nitrógeno líquido a una temperatura de trabajo de -120°C , permite alcanzar una eficiencia cuántica superior al 90% entre los 500 nm y 700 nm de longitud de onda.

Espectrógrafo REOSC: es un espectrógrafo Echelle que pertenece al Institute d'Astrophysique de Liege en Bélgica. Es un instrumento capaz de trabajar desde 3500 Å hasta 7500 Å y en dos modos operativos: en modo de dispersión cruzada (DC) y en modo de dispersión simple (DS). El detector de este instrumento es un CCD TEK de 1024×1024 pixeles de $24 \mu\text{m}$. También es adelgazado e iluminado por detrás.

Fotopolarímetro CASPROF: este es un instrumento que puede utilizarse como fotómetro o polarímetro. El CASPROF fue diseñado y construido en el CASLEO con financiamiento provisto por el Programa de Fotometría y Espectroscopía Galáctica (PROFOEG), y su óptica completa fue donada por el Dr. G. Coyne del Observatorio Vaticano.

El telescopio Jorge Sahade es utilizado permanentemente por astrónomos en turnos coordinados con su debida anticipación para sus proyectos de investigación y en muchos casos para sus tesis doctorales.

Existen otros tres telescopios ubicados en el CASLEO, todos ellos están bajo convenio con distintas instituciones. Ellos son:

TELESCOPIO HELEN SAWYER HOGG

Este es un Telescopio reflector Cassegrain clásico de 60 cm de diámetro con una relación focal de 15 y fue fa-

bricado por Ealing Corporation. Se encuentra montado sobre una robusta montura tipo alemana fuera de eje. Cuenta con una cámara de la serie Alta de la marca Apogee. Es propiedad de la Universidad Nacional de Toronto, Canadá y se encuentra instalado en el cerro Burek bajo la operación del CASLEO.

TELESCOPIO SOLAR DE ONDAS SUBMILIMÉTRICAS (SST) Y LABORATORIO DE HELIOGEOFÍSICA

Fue construido por medio de una colaboración internacional entre el Centro de Radioastronomía y Astrofísica Meckenzie de Brasil y el CASLEO. El principal recurso del Laboratorio de Heliogeofísica es el SST, un radiotelescopio preparado para observar al Sol. Su función principal es estudiar las fulguraciones o explosiones solares, aunque también realiza investigaciones del llamado Sol calmo y quiescente. Su característica particular es trabajar en las altas frecuencias de 212 y 405 GHz convirtiéndolo en el único telescopio solar en esta banda del espectro. A estas frecuencias, las ondas tienen una longitud de 1,4 y 0,7 mm respectivamente, de allí la razón de ser submilimétrico.

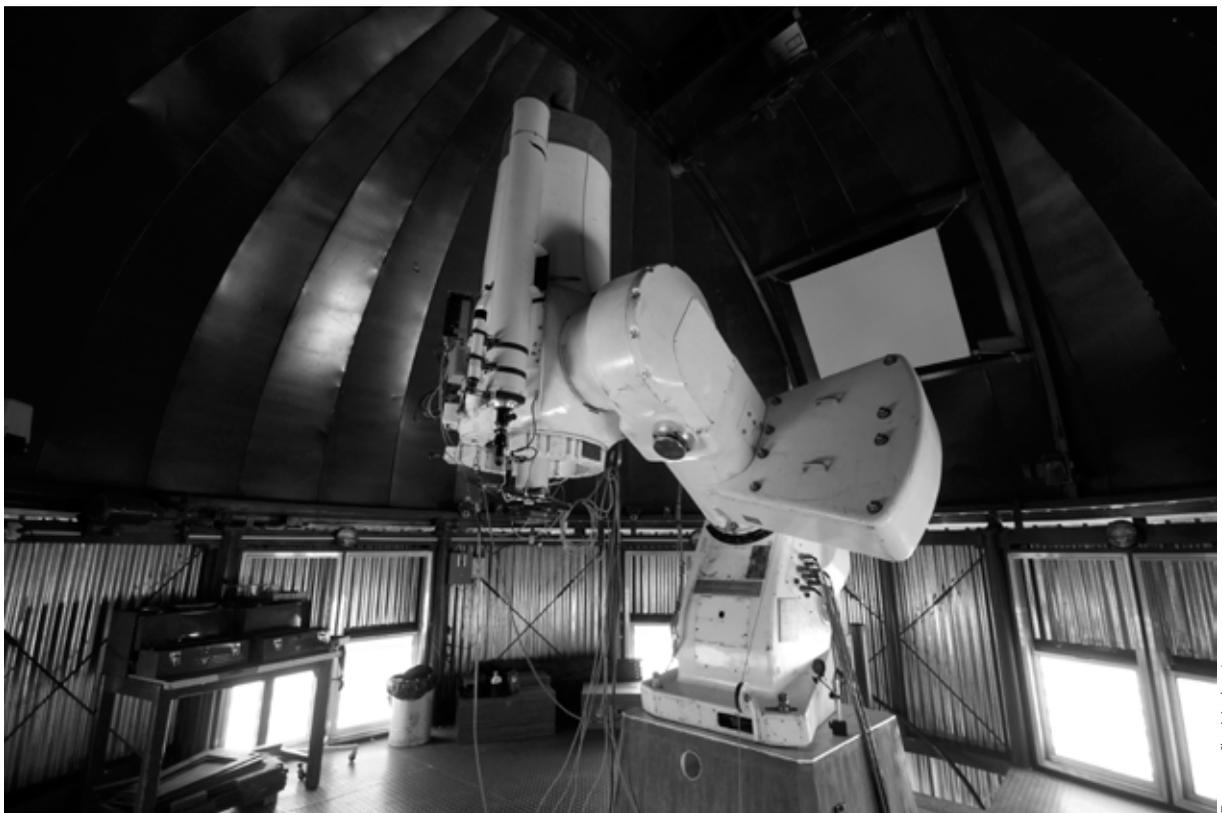
Junto a este conjunto de instrumentos fueron instaladas estaciones de rastreo de ondas VLF, medidores de rayos cósmicos solares y medidores de campo eléctrico, constituyendo un Laboratorio de Heliogeofísica

ASTRÓGRAFO PARA EL HEMISFERIO SUR

Este instrumento se encuentra instalado en el cerro Burek por un acuerdo entre el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA) y el CASLEO. Este telescopio es el sueño de cualquier astrofotógrafo aficionado... Es un Reflector de 45 cm de diámetro con una relación focal de 2,8 fabricado por AstroWorks Co, modelo Centurion C-18. Este telescopio es un ecuatorial de horquilla con un sistema óptico Newtoniano con un corrector de coma y aplanador de campo. Cuenta con una cámara CCD STL11000 de Santa Barbara Instrument Group con una resolución de 11 megapíxel que se ubica en foco directo.

Lo más destacado de este astrógrafo es que tanto el telescopio, la cámara CCD, 2 webcams para monitorización del recinto y la apertura y cierre del techo del recinto pueden ser controlados remotamente desde cualquier computadora con acceso a internet mediante VLC o Remote Administrator.

Además de los tres telescopios mencionados anteriormente se instaló recientemente un nuevo Telescopio en el cerro Burek donado por el Sr. López Álvarez y se encuentra en el proceso de puesta a punto, este telescopio es un Meade RCX400 de 40 cm de apertura con una cámara CCD Apogee Serie Alta.



Fotografía: Matías Jones

PARQUE NACIONAL EL LEONCITO

Por su ubicación entre el valle de Calingasta al este y la Sierra del Tontal al oeste, en la precordillera sanjuanina, las condiciones de aridez son extremas. Es por esto que el Leoncito posee uno de los mejores cielos del país y del mundo. Con más de 250 noches despejadas al año las condiciones para la observación astronómica son ideales.

Las condiciones de estos cielos motivó a que la provincia declarara, en el año 1990, como reserva astronómica donde hoy funcionan dos observatorios: el CASLEO y la Estación Astronómica Dr. Carlos U. Cesco, administrada por la Universidad de San Juan. En el año 1994 se transformó en Reserva Natural Estricta Nacional y en 2002 en Parque Nacional.

Posee un clima frío seco en la zona alta y subtropical seco en la baja, donde la temperatura media es de 26° C en verano, con máximas que llegan a los 35° C, y de 10° C en invierno, con mínimas de hasta -10° C. Posee gran amplitud térmica y las lluvias se calculan en 200 mm anuales concentradas en verano.

En el parque se pueden realizar diversas caminatas para apreciar la flora y fauna del lugar. Se puede realizar el recorrido llamado Paisaje de Agua que cuenta con senderos peatonales temáticos y autoguiados que llevan a la cascada El Rincón en el arroyo El Leoncito. También se puede hacer cumbre en el cerro El Leoncito con 2528 metros sobre el nivel del mar. Otro de los principales atractivos del parque es la formación geológica llamada Barreal Blanco, es una planicie seca de 14 km de largo por 5 km de ancho, remanente sedimentario de una cuenca lacustre. En esta gran planicie se practica el carovelismo, donde estos vehículos alcanzan velocidades de hasta 80 km/h gracias a los fuertes vientos.

VISITAS AL CASLEO

El CASLEO recibe visitantes durante todo el año. Se puede visitar las instalaciones en los horarios de 10 a 12 hs. y de 14 a 16:30 hs. (del 21/03 al 21/09) y 10 a 12 hs. y de 15 a 17 hs. (del 22/09 al 20/03). Las visitas guiadas tienen una duración de 30 a 40 minutos donde se visitan las instalaciones del observatorio y el telescopio Jorge Sade. En ciertas noches del año también se reciben visitantes nocturnos previa reserva. La visita se realiza desde las 17 hs. Se recorren las instalaciones en compañía de un guía especializado, la visita incluye la cena en el comedor del Observatorio, y si las condiciones meteorológicas lo



Fotografía: Matías Jones

permiten se realiza una observación de diversos objetos celestes (planetas, Luna, estrellas dobles, cúmulos estelares, galaxias, etc.) a través de un telescopio Meade LX200 de 35 cm de apertura al aire libre. Luego de la observación los visitantes pueden pernoctar en las instalaciones del observatorio (si así lo pactaron previamente) o pueden retirarse. En la localidad de Barreal, a unos 40 km, se encuentran cabañas, posadas u hoteles a precios accesibles.

Para mayor información o consulta sobre las actividades de divulgación y visitas pueden contactarse llamando a los teléfonos 0264-4213653 o 0264-4273653 o por mail a kdominguez@casleo.gov.ar.

CÓMO LLEGAR

El Leoncito queda a unos 1.328 km desde la ciudad de Buenos Aires, a 40 km de la ciudad de Barreal en el departamento de Calingasta. Accedemos desde la ciudad de San Juan por la ruta 40 hasta San José de Jachal (esto es porque la ruta 12 se encuentra cerrada) y desde allí por la ruta 412, pasando por Calingasta y Barreal. Los caminos se encuentran en buenas condiciones y son todos asfaltados, salvo los últimos 20 km antes de llegar al CASLEO.

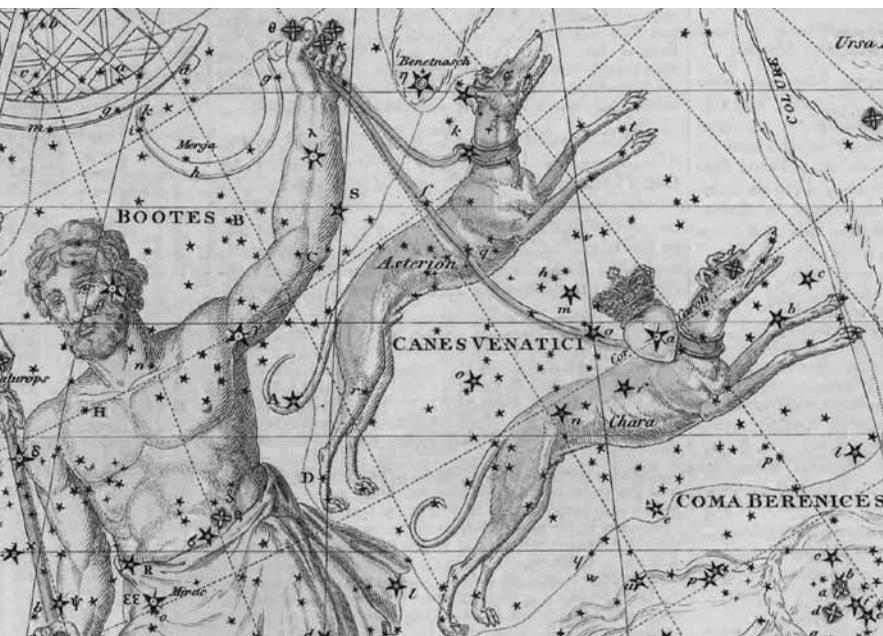
Quiero agradecer a todo el personal del CASLEO quienes me recibieron y me trataron de manera increíble en mi estadía. En especial a: Ricardo Gil-Houtton (Director), Claudia Álamo y Celina Brizuela (Operaciones), Carlos Ruiz (Jefe de Operaciones), Juan Pinto (JIT), Antonio de Franceschi (Operador), German Fernández (Electrónica), Armando Roca (Mecánica), Gladys Solivella (Astrónoma U. de la Plata), Roberto Mackintosh (Presidente AAAA), y a todo el personal de mantenimiento y cocina de CASLEO. 🏠

Matías Jones

A.A.A.A.

Profesor de Fotografía Astronómica

LOS PERRITOS DE LOS BORRACHOS



SIGUIENDO CON LA SECUENCIA PERRUNA INICIADA EN LOS DOS NÚMEROS ANTERIORES, EN ESTA OCASIÓN AGREGAMOS OTROS DOS EJEMPLARES A LA JAURÍA CANINA, AMBOS EN UNA MISMA CONSTELACIÓN: CANES VENATICI.

de las cuales estaban pegadas con cera. Icaro se entusiasmó y, pese a las advertencias de su padre, voló muy alto, “demasiado cerca del Sol” (eso dice el mito) y el calor del Sol derritió la cera. Así, perdió gran parte de las plumas, no pudo seguir volando y se mató cayendo a tierra en una región que, desde entonces, se conoce como Icaria.

Hechas estas aclaraciones, podemos volver a nuestra historia.

Al igual que nos había ocurrido con las dos constelaciones anteriores (Canis Major y Canis Minor), la que revisamos hoy no era inicialmente reconocida como constelación en los tiempos griegos y romanos, sino que se empezó por identificar a sus dos estrellas más brillantes como Asterión y Chara, dos perros de caza (macho y hembra), propiedad de un campesino ateniense llamado Icario, habitante del Atica (en Grecia) y con fama de muy buena persona.

El nombre de la constelación, Canes Venatici, en latín significa “los perros de caza”. Asterion, el perro macho de la parejita, significa “el que está lleno de estrellas” y se lo asociaba con la estrella más brillante del par. Chara era la perrita y su nombre significa “la querida”, debido al amor que por ella sentía Icario, su amo.

Antes de empezar con la historia de este par de perros, debemos hacer una aclaración respecto del nombre de Icario. Hay otro Icario famoso en la mitología griega. Ambos se llamaban Icario (en griego, Ικαριος = Icarios). El otro era un rey de Esparta, padre de Penélope y, por lo tanto, suegro de Odiseo (Ulises). El Icario de Canes Venatici era solo un humilde campesino.

Tampoco debemos confundir Icario con Icaro (ó Ικαροζ en griego). Este otro era hijo del arquitecto Dédalo, constructor del laberinto de Creta. Cuando ambos (Dédalo e Icaro) terminaron el laberinto, el rey Minos los encarceló para que no revelaran el secreto del laberinto. Pero ambos consiguieron escapar volando, con la ayuda de unas alas que construyó Dédalo con plumas, algunas

La historia mitológica empieza con nuestro Icario que se dedicaba al pastoreo de ovejas y a cuidar un pequeño viñedo, del que cosechaba unas excelentes uvas, con las que completaba la parte frutal de su dieta. Tal era la calidad de estas uvas que su fama llegó a oídos de los dioses del Olimpo... y ahí empezó el desastre.

El dios Dionisio (Baco para los romanos), enterado del asunto, decidió bajar a la Tierra para ver si las uvas eran como las pintaban. Visitó al buen Icario y éste le permitió inspeccionar su viñedo, muy orgulloso de su producto. Parece ser que las uvas eran realmente buenas, porque Dionisio quedó tan impresionado que le enseñó a Icario a exprimirlas, dejar fermentar el jugo en barriles de madera, esperar un tiempo y ¡bingo! ¡hízose el vino!.

Después de la lección, Dionisio se mandó a mudar, Icario probó el nuevo producto y quedó encantado. Tan contento quedó Icario con el nuevo elixir, que organizó una gran fiesta, invitando a sus amigos, parientes y vecinos a probar el nuevo producto. El evento fue un gran éxito. Imagínense a un montón de campesinos griegos antiguos, empujando el codo con vino por primera vez. Fue la primera gran borrachera colectiva de la mitología occidental. Terminaron todos ebrios y dormidos ahí donde estaban.

Luego de unas cuantas horas se despertaron y pensaron que el bueno de Icario los había tratado de envenenar. Así que se enojaron mucho, lo buscaron, lo encontraron todavía dormido, lo mataron y se deshicieron del cuerpo

del delito arrojándolo en un pozo. Un final no deseado para el primer lanzamiento al mercado del producto de una bodega.

Ah!!! Y ahora aparecen los perritos de nuestra historia. Muy apenados por la ausencia de su amo, se pusieron a ladrar y aullar. Los ladridos despertaron a la bella Erigone, hija de Icario, que también dormía a pata suelta por los efectos de la noche anterior. Erigone soltó a los pichichos y estos, que eran perros de caza, se pusieron a olfatear por todos lados hasta que dieron con el rastro de Icario, lo siguieron y encontraron el pozo con el cadáver. Erigone los siguió y, al encontrar a su padre muerto, se suicidó.

Y, para terminar como toda tragedia griega decente, los perros Asterión y Chara se arrojaron al pozo donde estaba Icario para morir con su amo. The end. Todos muertos.

A manera que fueron pasando los siglos, Canes Venatici fue apareciendo y desapareciendo sucesivamente de las listas de constelaciones. Por ejemplo, Ptolomeo no la identificó como constelación y dejó a sus estrellas formando parte de las $\alpha\mu\omicron\rho\theta\omega\tau\omicron\iota$ (amorfos, en griego, "las dispersas"), es decir, estrellas sueltas entre las constelaciones.

También fue cambiando de nombre, aunque sin perder su alma canina. Así, para Proctor, eran "los cachorritos". Pero, desde los tiempos del astrónomo polaco Johannes Hoevelke (más conocido por la forma latinizada de su apellido, Hevelius) tiene su forma, posición y nombre actual: Canis Venatici, los perros de caza.

CANIS VENATICI COMO CONSTELACION ACTUAL

En su configuración actual, luego del decreto de la asamblea de la Unión Astronómica Internacional de 1929, los pichichos de caza husmean los campos del Atica celestial, extendiéndose entre las 12h 07m y las 14h 04m en Ascensión Recta, y entre los $+27^{\circ} 30'$ y los $+52^{\circ} 20'$ de declinación. Así, cubre un área más o menos rectangular (aunque con los vértices algo escalonados), rodeada por Coma Berenice, Bootes y Ursa Major.

Por su posición en el cielo, no es una constelación muy buena para observar desde la latitud de Buenos Aires. En su culminación superior, su extremo norte apenas está 5° encima del horizonte norte y, su extremo sur apenas llega a los 30° de altura. Completa, encima del horizonte,

apenas la tenemos poco más de 3 horas al día. El mejor momento para verla es cuando la hora sidérea local vale alrededor de las 12h 45m. Para la medianoche de Hora Legal Argentina, esto ocurre a principios de Mayo.

Es una constelación muy pobre en estrellas brillantes: solo tiene una estrella más brillante que magnitud aparente 3. Con magnitud aparente entre 3 y 4 no tiene ninguna estrella. Con magnitud aparente entre 4 y 5, sólo encontramos seis estrellas y, todo el resto, es más débil que magnitud aparente 5.

En lo que se refiere a la denominación de Bayer (es decir, las estrellas identificadas con una letra griega, seguida del genitivo latino CANUM VENATICORUM, abreviado como CVn), encontramos sólo dos estrellas: α CVn (la más brillante) y β CVn (la segunda en brillo aparente). El resto carece de denominación de Bayer.

α CVn

La estrella más brillante de Canes Venatici nos recuerda al perro Asterión de la leyenda de Icario, pero ya no se la conoce por este nombre. Desde 1725 se la conoce como Cor Caroli, es decir, "el corazón de Carlos". Este nombre le fue dado por el famoso astrónomo inglés Edmund Halley, que, en esa época, era el Astrónomo Real (algo así como "ministro de astronomía" de la corte inglesa), por pedido de Sir Charles Scarborough (médico de cabecera del rey), para homenajear al rey Carlos II de Inglaterra. Según Sir Scarbourough, en la noche del 29 de Mayo de 1660, está estrellita se puso muy brillante, justo cuando se producía el regreso del rey Carlos II a Londres para hacerse cargo del trono que su familia había perdido a causa de la revolución de Oliver Cromwell.

No era esta la primera vez que Halley hacía algo para quedar bien con su muy graciosa majestad. Mucho antes, cuando solo era un estudiante, Halley propuso formar una nueva constelación, Robur Carolinum (el roble de Carlos), como homenaje al roble en que Carlos II se había tenido que esconder para salvar su vida después de ser derrotado por Cromwell en la Batalla de Worcester (1651). Gracias a esta propuesta, al joven estudiante Halley, le fue concedido el doctorado en 1678, por orden y decreto expreso de su muy halagada majestad Carlos II. Halley siempre pegó muy buena onda con los monarcas: son muy famosas las juergas que compartió con el zar de Rusia, Pedro el Grande, en su visita a Inglaterra, llevándolo a todas las tabernas y prostíbulos de Londres y alrededores. Después se haría famoso por el cometa Halley, pero eso ya es otra historia. La idea de la constelación Ro-

bur Carolinum no prosperó.

Cuando la vemos por telescopio, α CVn resulta ser una estrella doble aparente, es decir, dos estrellas aparentemente muy cercanas entre sí, pero sin ninguna relación física real entre sí. A la más brillante del par se la conoce como $\alpha 2$ CVn. No hay error: En este caso, el número 2 se le asigna a la más brillante y el número 1 a la más débil.

$\alpha 2$ CVn brilla en el cielo con magnitud aparente variable entre 2,82 y 2,90 con un período de 5,5 días (es una variable periódica). Pertenecen al tipo espectral A 0 III con peculiaridades en su espectro que hacen sospechar que se trata de una estrella binaria espectroscópica. Una explicación alternativa es que estemos ante una estrella de forma elipsoidal (lo cual es altamente probable, dado su tipo espectral), con diferente distribución de brillo en su fotosfera, lo cual, al rotar, produce las variaciones aparentes de brillo y las peculiaridades del espectro. Se encuentra a unos 110 años luz de distancia del sistema solar y su magnitud absoluta es de 0,23.

Separada unos 20" en el cielo, encontramos a $\alpha 1$ CVn. Apenas la vemos con magnitud aparente 5,61. Pertenecen al tipo espectral F 0 V y se encuentra a unos 81 años luz de distancia del sistema solar. No muestra indicios de variabilidad ni de multiplicidad y posee una magnitud absoluta de 3,63 (casi 3 veces más brillante que el Sol).

β CVn

A diferencia de Asterión, β CVn todavía conserva su nombre tradicional: Chara, la perra de Icario. Mucho menos brillante que el Corazón del Rey Carlos II, Chara es una estrella mucho más interesante. Aparece en el cielo con magnitud aparente de tan sólo 4,24. Sin embargo, en su aparente humildad se esconde una estrella muy parecida al Sol: posee magnitud aparente 4,63, tiene 1,14 veces

la luminosidad del Sol y pertenece al tipo espectral G 0 V (subenana amarilla, igual que el Sol). Y, además, la tenemos acá nomás, a solo 27,3 años luz de distancia del sistema solar.

Desde 1978 se sabe que es una estrella binaria espectroscópica, con un período de 2430 días (unos seis años y medio). Ese mismo año también se anunció que había podido resolverse la compañera por interferometría "speckle", con una separación aparente de 0,11", pero nadie más ha podido verificar la observación, así que la polémica aún continúa.

OBJETOS DE CIELO PROFUNDO EN CANES VENATICI

La pobreza de estrellas brillantes que habíamos hallado en Canes Venatici, se revierte cuando pasamos a los objetos de cielo profundo, varios de ellos muy fáciles de ver con instrumentos modestos. La desventaja de nuestra posición en latitud nos impide observarlos en todo su esplendor. Incluso si nos alejamos de la iluminación de la ciudad, yendo a lugares de cielo limpio y oscuro, su escasa altura sobre el horizonte nos impedirá apreciarlos más que como manchas diminutas y de poco brillo. Sin embargo, si podemos desplazarnos cerca del Ecuador terrestre (o, mejor, adentrándonos en el hemisferio norte terrestre), lo que podremos observar, incluso con binoculares, bien que valdrá la pena del esfuerzo.

En esta constelación relativamente pequeña, el catálogo NGC nos muestra 41 objetos que, en realidad, son 39 ya que hay 2 objetos duplicados. Son 34 galaxias, 1 cúmulo globular, 3 nebulosas (asociadas a una galaxia) y 1 estrella. No encontramos en Canes Venatici ningún cúmulo estelar abierto. Entre todos estos objetos, hay 5 que destacan especialmente por su facilidad de observación y que fueron catalogados por Charles Messier hace más de

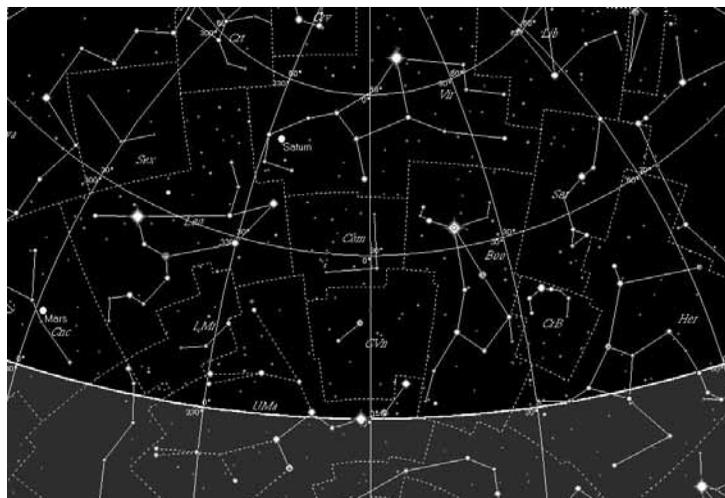


Figura 1: Vista general del cielo observado desde Buenos Aires, mirando hacia el Norte, a principios de Mayo, a la medianoche de Hora Legal Argentina..

Objeto	Tipo	AR	Dec	Mag	Tamaño
IC 3668	Nebulosa	12h 42m 04s	+41° 04' 13"	—	—
IC 3669	Nebulosa	12h 42m 07s	+41° 05' 00"	—	—
IC 4283	Galaxia	13h 06m 20s	+37° 33' 08"	11,1	4,8' x 4,1'
NGC 4111	Galaxia	12h 07m 36s	+43° 00' 37"	10,8	4,6' x 1,0'
NGC 4138	Galaxia	12h 10m 02s	+43° 37' 46"	11,3	2,6' x 1,7'
NGC 4143	Galaxia	12h 10m 09s	+42° 28' 41"	10,8	2,3' x 1,4'
NGC 4145	Galaxia	12h 10m 34s	+39° 49' 35"	10,8	5,9' x 4,1'
NGC 4151	Galaxia	12h 11m 05s	+39° 21' 01"	10,3	6,3' x 4,5'
NGC 4214 = NGC 4228	Galaxia	12h 16m 11s	+36° 16' 15"	9,6	8,0' x 6,6'
NGC 4217	Galaxia	12h 16m 23s	+47° 02' 03"	11,3	5,2' x 1,5'
NGC 4220	Galaxia	12h 16m 44s	+47° 49' 38"	11,3	3,9' x 1,5'
NGC 4242	Galaxia	12h 18m 02s	+45° 33' 48"	10,9	5,2' x 4,0'
NGC 4244	Galaxia	12h 18m 02s	+37° 45' 05"	10,0	16,6' x 1,9'
NGC 4258 = M 106	Galaxia	12h 19m 30s	+47° 15' 04"	8,3	18,6' x 7,2'
NGC 4346	Galaxia	12h 24m 00s	+46° 56' 17"	11,3	3,2' x 1,3'
NGC 4369	Galaxia	12h 25m 08s	+39° 19' 36"	11,4	2,1' x 2,0'
NGC 4395	Galaxia	12h 26m 21s	+33° 29' 24"	10,0	13,2' x 11,0'
NGC 4399 (*)	Nebulosa	12h 26m 15s	+33° 27' 36"	—	—
NGC 4400 (*)	Nebulosa	12h 26m 28s	+33° 27' 33"	—	—
NGC 4401 (*)	Nebulosa	12h 26m 30s	+33° 28' 14"	—	—
NGC 4449	Galaxia	12h 28m 43s	+44° 02' 21"	9,4	6,2' x 4,4'
NGC 4460	Galaxia	12h 29m 17s	+44° 48' 31"	11,4	4,2' x 1,3'
NGC 4490	Galaxia	12h 31m 08s	+41° 35' 13"	9,5	6,4' x 3,2'
NGC 4530	Estrella	12h 34m 19s	+41° 17' 53"	4,3	—
NGC 4618 = IC 3667	Galaxia	12h 42m 04s	+41° 05' 44"	10,6	4,2' x 3,4'
NGC 4631	Galaxia	12h 42m 39s	+32° 29' 08"	9,0	15,2' x 2,8'
NGC 4656	Galaxia	12h 44m 30s	+32° 06' 49"	10,1	15,3' x 2,4'
NGC 4657	Galaxia	12h 44m 39s	+32° 09' 02"	12,4	1,3' x 0,6'
NGC 4736 = M 94	Galaxia	12h 51m 24s	+41° 03' 59"	8,1	14,4' x 12,1'
NGC 4914	Galaxia	13h 01m 14s	+37° 15' 36"	11,5	3,5' x 2,1'
NGC 5005	Galaxia	13h 11m 26s	+37° 00' 17"	9,8	5,8' x 2,9'
NGC 5033	Galaxia	13h 13m 58s	+36° 32' 22"	10,0	10,7' x 5,0'
NGC 5055 = M 63	Galaxia	13h 16m 18s	+41° 58' 47"	8,5	12,6' x 7,2'
NGC 5194 = M 51	Galaxia	13h 30m 21s	+47° 08' 38"	8,1	11,2' x 6,9'
NGC 5195	Galaxia	13h 30m 27s	+47° 12' 57"	9,6	5,9' x 4,6'
NGC 5272 = M 3	Cúm. Glob.	13h 42m 42s	+28° 19' 28"	6,3	18'
NGC 5273	Galaxia	13h 42m 38s	+35° 36' 10"	11,5	2,8' x 2,5'
NGC 5353	Galaxia	13h 53m 55s	+40° 14' 01"	11,1	2,2' x 1,1'
NGC 5354	Galaxia	13h 53m 55s	+40° 15' 13"	11,5	1,4' x 1,3'
NGC 5371 = NGC 5390	Galaxia	13h 56m 08s	+40° 24' 47"	10,5	4,2' x 3,4'
NGC 5377	Galaxia	13h 56m 43s	+47° 11' 12"	11,3	4,7' x 2,4'
NGC 5383	Galaxia	13h 57m 33s	+41° 47' 49"	11,5	3,2' x 2,7'

TABLA 1 – PRINCIPALES OBJETOS DE CIELO PROFUNDO EN CANES VENATICI. (*) NGC 4399, NGC 4400 y NGC 4401 son nebulosas brillantes asociadas a la Galaxia NGC 4395.

dos siglos en su célebre catálogo. En la Tabla 1 detallamos el listado completo de estos objetos de cielo profundo, sus posiciones y principales datos y, a continuación, detallamos las principales características de los 5 objetos de Canes Venatici catalogados por Messier.

NGC 5272 (M 3)

Tal vez sea el objeto de cielo profundo en Canes Venatici más fácil (en realidad, menos difícil) de ver desde la

latitud de Buenos Aires. En su culminación superior, lo tenemos a casi 30° de altura sobre el horizonte norte. Se trata de un cúmulo globular de unos 18' de diámetro aparente, que vemos con una magnitud aparente de 6,3 y que se encuentra a unos 30.000 años luz de distancia. Para observarlo, necesitamos alejarnos de la ciudad, a algún lugar con cielo más o menos oscuro y con el horizonte norte más o menos limpio. En esas condiciones, podemos detectarlo con buenos binoculares, aunque luce mejor mejor con telescopios de 15 cm de diámetro para arriba. Se calcula que contiene unas 50.000 estrellas, incluyendo algunas variables del tipo RR Lyrae, lo cual permite calcular su distancia con bastante precisión. Es uno de los objetos de Messier realmente descubiertos por él y formaba parte de la primera versión del catálogo (qué solo llegaba hasta M 23).

NGC 5194 (M 51) y NGC 5195

Este par de galaxias espirales son una de las más hermosas visiones que uno puede tener por telescopio. Se trata de dos galaxias muy próximas entre sí, ubicadas a unos 15 millones de años luz de nosotros, formando un sistema que interactúa entre sí y que vemos “desde arriba”, en que la mayor (NGC 5194) es una galaxia espiral del tipo Sbc, que le roba material a la más chica (NGC 5195, una pequeña galaxia espiral barrada SB0-a).

La más grande, ocupa un espacio aparente de 7' x 11' y la vemos con un brillo aparente de magnitud 8,1. La más chica, separada unos 11' en el cielo, mide unos 6' x 4' y posee magnitud aparente 9,6.

Sólo la más grande fue identificada como “objeto difuso” por Messier y fue incluida en la versión 1780 de su catálogo (que llegaba hasta M 68) y publicada en el *Connaissance des Temps* de 1783. NGC 5195 recién sería identificada como objeto difuso por Herschel en su *General Catalogue*. Y, la estructura espiral de M 51 fue descubierta por Lord Rose en 1845, quien le dio el nombre de “nebulosa remolino” (whirlpool nebula) por el cuál se la conoce popularmente.

Los observadores del hemisferio norte la pueden observar con mucha facilidad, inclusive con binoculares. Lamentablemente, a nuestra latitud, apenas se eleva 10° sobre el horizonte norte en su culminación superior. Por ello debemos observarla desde lugares de cielo muy limpio, lejos de las ciudades y, así y todo, no tendremos una

buena imagen de ella. Debemos viajar lejos si queremos algo mejor.

NGC 5055 (M 63)

Esta galaxia, también incluida en la versión 1780 del catálogo de Messier, fue descubierta, en realidad, por Pierre Mechain (un ayudante de Messier) en 1779 y la encontramos en el cielo unos 6° al sudoeste de M 51. También se trata de una galaxia espiral (del tipo Sbc) ubicada a unos 14 millones de años luz de nosotros, pero que vemos más de costado que M 51. Ocupa en el cielo un espacio de 12,6' x 7,2' y la vemos con magnitud aparente de 8,5.

Al igual que los otros 4 objetos de Messier en Canes Venatici, es muy fácil de observar y luce muy hermosa en telescopios modestos... siempre y cuando el observador esté mucho más al Norte que Buenos Aires. Desde nuestra latitud apenas alcanza unos 15° sobre el horizonte norte en su culminación superior. En Estados Unidos se la conoce popularmente como la "galaxia girasol" (sunflower galaxy). Con cielo limpio y telescopios de 30 cm o más, se aprecia una hermosa estructura con muchos filamentos en sus brazos de espiral, rodeando un núcleo muy brillante, simulando un girasol con muchos pétalos curvados en sentido antihorario.

NGC 4736 (M 94)

Se trata de otra galaxia "de Messier" que fue descubierta por Mechain. La vemos en el cielo unos 3° al norte de Cor Caroli, ocupando un sector de cielo de 14,4' x 12,1'. Siendo tan extensa y con magnitud aparente 8,1 no resulta tan fácil de observar como las anteriores.

Se trata de una galaxia espiral del tipo Sap, que, al igual que M 51, vemos casi "desde arriba". En las fotografías obtenidas con grandes telescopios muestra una estructura muy compleja, de filamentos en sus brazos y varios halos circulares concéntricos. Con telescopios de 30 cm de diámetro, solo el más brillante de estos halos puede detectarse. Al igual que M 63, se encuentra a unos 14 millones de años luz de nosotros.

NGC 4258 (M 106)

Cerramos nuestra breve descripción de los objetos de Messier en Canes Venatici con M 106 que, en realidad, no formaba parte de los catálogos originales de Messier en ninguna de sus versiones.

La última de las versiones originales (publicada en el *Connaissance des Temps* de 1787) solo

llegaba hasta M 103. Sin embargo, con posterioridad, a manera que los historiadores han ido revisando los escritos de Messier, fueron agregando a esta última lista algunos objetos más observados por Messier (y, descubiertos por Mechain): 7 objetos más, hasta llegar a M110, configurando la versión reconocida actualmente del "Catalogue des Nébuleuses et des amas d'Etoiles, que l'on découvre parmi les Etoiles fixes, sur l'horizon de Paris".

M 106 fue agregada al catálogo por Helen Sawyer Hogg en 1947. Se trata de una galaxia espiral barrada (del tipo SBbc) que vemos medio de costado, ocupando en el cielo un sector de 18,6' x 7,2', con magnitud aparente 8,3.

Desde 1950, además, se la conoce como fuente intensa de ondas de radio, de 31' x 18' (cuatro veces más extensa en superficie que lo detectable visualmente). Se encuentra a unos 25 millones de años luz de nosotros.

Bibliografía

Quienes deseen profundizar sobre los temas tratados en esta sección, pueden consultar las siguientes obras:

* STAR NAMES: THEIR LORE AND MEANING / Hinckley Allen, Richard. New York: Dover, 1997. 563 p. (*)

* THE NEW PATTERNS IN THE SKY / Staal, Julius D. Virginia: The McDonald & Woodward Publishing Co., 1988. 300 p.

* NORTON'S 2000.0 STAR ATLAS / Ridpath, Ian (*)

* URANOMETRIA 2000.0: THE SOUTHERN HEMISPHERE TO +6° / Tirion, Wil; Rappaport, Barry; Lovi, George. New York: Willmann-Bell, 1987. 216-473 p. v. 2 (*)

* SKY CATALOGUE 2000.0: VOLUME 1 - STARS TO MAGNITUDE 8.0 / Hirshfeld, Alan; Sinnott, Roger W. [Edited by]. London; Cambridge University; Sky, 1982. 607 p. (*)

* SKY CATALOGUE 2000.0: VOLUME 2 - DOUBLE STARS, VARIABLE STARS AND NON STELLAR OBJECTS / Hirshfeld, Alan; Sinnott, Roger W. [Edited by]. London; Cambridge University; Sky, 1982. 385 p. (*)

* Revista HISTORIA, Número 63 / National Geographic Society. Alpert, Michael. Barcelona: National Geographic Society, 2009.

(*) Disponible en nuestra Biblioteca. 

Carlos Angueira Vázquez
A.A.A.A.
Profesor de Fenomenología Solar

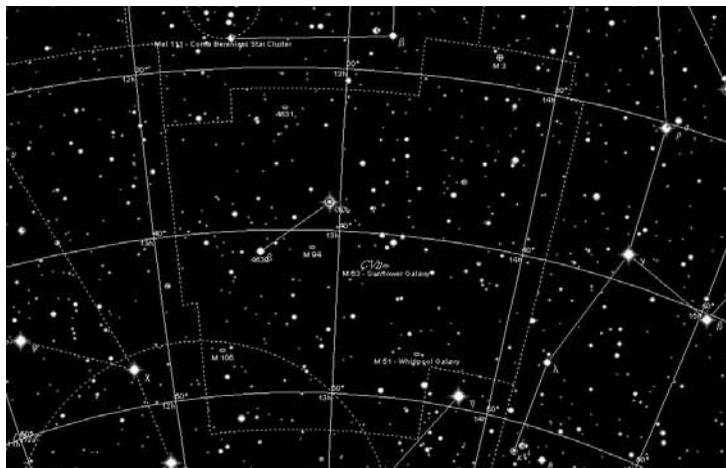


Figura 2: Carta elemental de Canes Venatici.



FOTOGRAFIA DE Nebulosas de Orion - M42 TOMADA CON UN TELESCOPIO HOKENN!
Gentileza de Matías Jones y A.A. Amigos de la Astronomía

H70700AZ2 REFLECTOR SCOPE

D: 70 MM / F: 700 MM
OCULARES: 1.25" SUPER 25, SUPER 10.
MONTURA: AZ2
LT2 TRIPODE DE ALUMINIO.
ESPEJO DIAGONAL STAR 90°
VISOR 6X24.
2X LENTE BARLOW.

H130900EQ2 REFLECTOR SCOPE

D: 130 MM / F: 900 MM.
MONTAJE EQUATORIAL. EQ2
ABRAZADERA: 2 AROS INDIVIDUALES
OCULARES 1.25": SUPER 20/ SUPER 10/
2X LENTE BARLOW 1.25".
VISOR 6X30 ACROMATICO
MOTOR DE SEGUIMIENTO OPCIONAL
FILTRO LUMAR 1.25"

ORBITAL Z / RUBY LENS

OR 7X50: CAMPO DE VISION: 123 M / 1000 M
OR 10X50: CAMPO DE VISION: 99 M / 1000 M
OR 10X50: CAMPO DE VISION: 99 M / 1000 M
OR 12X50: CAMPO DE VISION: 87 M / 1000 M
OR 16X50: CAMPO DE VISION: 73 M / 1000 M

LITEC

Lentes multitratadas en color verde.
LIT 10 X 50: CAMPO DE VISION: 94M / 1000M

H150750EQ3 REFLECTOR SCOPE

DISEÑO OPTICO PARABOLICO.
D: 150 MM / F: 750 MM.
ESPEJO PRIMARIO PARABOLICO
CON DIFRACCION LIMITADA.
OCULARES 1.25": SUPER 20, SUPER 10.
BUSCADOR 6X30 ACROMATICO.
MONTURA DE ALTA PRECISION EQ3.
FILTRO LUMAR 1.25"
MOTOR DE BUSQUEDA/ SEGUIMIENTO (OPCIONAL)

CAPTURE PLUS

CAPT 7 X 50: CAMPO DE VISION: 123M / 1000M
CAPT 10 X 50: CAMPO DE VISION: 114M / 1000M
CAPT 12 X 50: CAMPO DE VISION: 96M / 1000M

MAKSUTOVS - CASSEGRAIN

H901250 EQ1: D: 90 MM / F: 1250 MM
H1021300 EQ2: D: 102 MM / F: 1300 MM
H1271500 EQ3: D: 127 MM / F: 1500 MM
VISOR PUNTO ROJO.
90° DIAGONAL MIRROR 1.25"
OCULARES 1.25": SUPER 10 Y 20 MM.
EQ1, EQ2, EQ3 MONTAJE.
LT1 TRIPODE DE ALUMINIO.

BINOCULARES DE APROXIMACIÓN

Lentes Multitratadas. Componentes maquinados de alta precisión. Funcionamiento perfecto de por vida.
Oculares con sistema de giro hacia arriba para usar con o sin lentes*. Cobertura de goma, amortigua impactos y es cómoda al tacto.
Resistentes al agua. Incluyen correa y funda. (*) Excepto modelo ORBITAL Z

HOKENN[®]
HAY OTROS MUNDOS POR VER



VENTA EXCLUSIVA A COMERCIANTES: Warnes 766 (1414) Buenos Aires, ARGENTINA

Teléfonos: (011) 4575-9500/9501/9502/9503/9505 Fax: (011) 4575-9506 | Fax sin cargo: 0800-888-7527 | wald@wald.com.ar

www.wald.com.ar/ hokenn



Foto: Claudio Pietrasanta A.A.A.A. y Roberto Mackintosh A.A.A.A.

En la Revista anterior se anunció la realización de un renovado curso de Fotografía Astronómica y la incorporación de equipos tendientes a darle forma al nuevo laboratorio digital de la Asociación. Continuando en este sentido recientemente se adquirió una montura ecuatorial robotizada Skywatcher EO6 PRO, con el fin de contar con un astrográfico portátil. Con el trabajo de los socios Matías Jones, Claudio Pietrasanta y Roberto Mackintosh, se preparó el sistema de guiado automático del mismo, se efectuaron las pruebas preeliminaras y, cuando las condiciones meteorológicas lo permitieron, se realizó una salida en busca de cielos menos polucionados para obtener las primeras imágenes con todos los nuevos equipos de la Institución. La imagen de la Nebulosa M 16 que acompaña este texto es uno de estos primeros resultados. Para la ocasión, el socio Norberto Menéndez gentilmente prestó su OTA, un Newton de 0.20m.