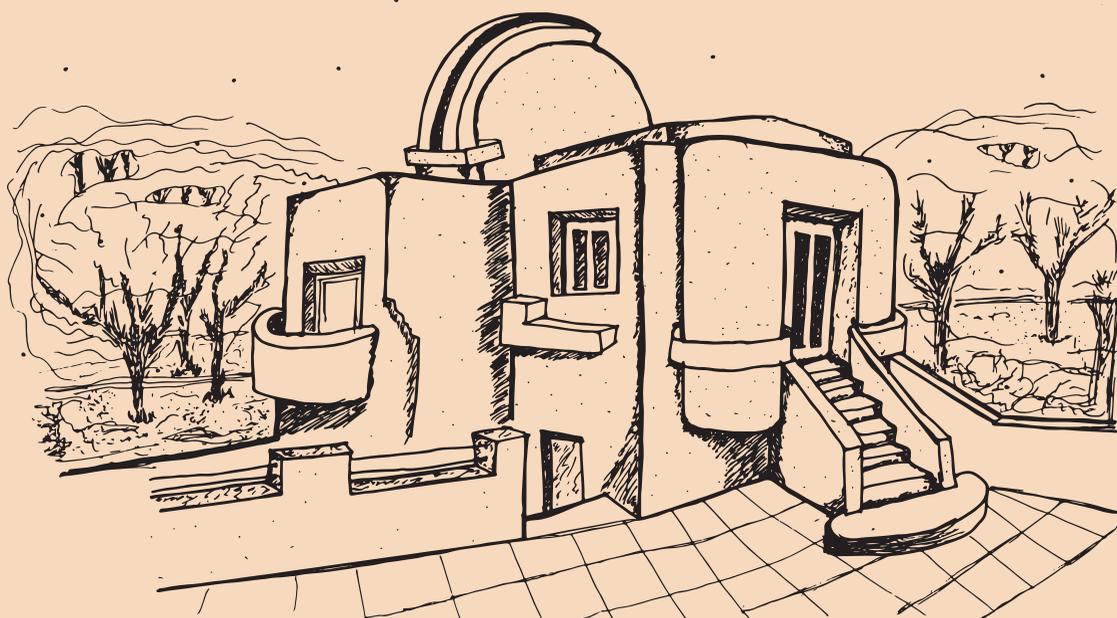


# REVISTA ASTRONÓMICA



ASOCIACIÓN ARGENTINA AMIGOS  
DE LA ASTRONOMÍA

ISSN: 0374-4272 \* Número: 283 \* Año: 88 \* Otoño 2017





*NGC 6523, Messier 8, Laguna.  
Fotografía de Claudio Pietrasanta*

## -SUMARIO-

<i>Orión en el Almagesto de Ptolomeo,</i> por Roberto Cassazza	Pág. 3
<i>Deriva polar y Star Trail,</i> por Artemio Luis Fava	6
<i>Un largo y variable camino,</i> por Carlos Magliano	13
<i>Evolución estelar en sistemas binarios,</i> por Omar Gustavo Benvenuto	15
<i>Micrometeoritos... regalos del cielo,</i> por Sebastian Castagna	24
<i>Descubrimiento de la radiación no térmica,</i> por Cintia Peri	26

*Fundador:* Carlos Cardalda  
*Directores:* Ernesto Godoy, Yasmin Olivera Cuello  
*Corrector de estilo:* Ignacio G. Llaver  
*Diseño:* Facundo Bos Armella  
*Ilustración de tapa:* Octavio Martín Peña  
*Contacto:* revistaastronomica@gmail.com

La Revista Astronómica es un órgano de la Asociación Argentina Amigos de la Astronomía, entidad sin fines de lucro fundada el 9 de enero de 1929, con personería jurídica por decreto C-1812, del 12 de mayo de 1937. Incluida en el registro 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 AAAA. Av. Patricias Argentinas 550 (C1405BWS), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

ISSN: 0044-9253

Registro Nacional de la Propiedad Intelectual: 79773

*Comisión Directiva AAAA:*

*Presidente:* Marcelo Frontalini

*Vicepresidente:* Claudio Lazar

*Secretaria:* Mónica Williman

*Prosecretaria:* Marcela Dorfman

*Tesorera:* Mónica Konishi

*Protesorero:* Enrique Rubinstein

*Vocales Titulares:* Pablo Gabriel Bricchetto, Jorge Weselka, Ignacio G. Llaver, Julio Patamia, Carlos Magliano

*Vocales Suplentes:* Carolina Folger, Martín Estigarribia, Ernesto Godoy

*Revisores de Cuentas:* Alejandro Blain, Eduardo Chamadoira, María Cristina Simms

## -EDITORIAL-

*-En el principio era la acción-  
Goethe, Fausto.*

Este año, la Comisión Directiva de la Asociación nos propuso la tarea de continuar con la edición de la Revista Astronómica. Retomamos la actividad teniendo en cuenta el presupuesto real necesario para la impresión de los ejemplares, por lo tanto la decisión final fue pasar a los medios digitales, combinando la difusión de los textos que figuran en las revistas y las redes sociales.

Este primer número bajo nuestra dirección consta en su mayoría de artículos pendientes. Agradecemos la paciencia de Roberto Casazza, Cintia Peri, Omar Benvenuto, Artemio Fava, Sebastián Castagna, y agradecemos el aporte para este número del socio Carlos Magliano y las fotos del socio Claudio Pietra-santa.

Por otro lado consideramos necesario cambiar la estética de la revista, retomando un estilo similar a los números de los años 40. Para esto contamos con la colaboración del diseñador Facundo Bos Armella, y del estudiante de arquitectura Octavio Martín Peña, a quienes agradecemos por su predisposición y buena voluntad para llevar a cabo desinteresadamente sus respectivos oficios.

Nuestra intención es, en principio, darle a la revista la mayor difusión posible teniendo en cuenta su carácter digital. En relación a los contenidos, creemos importante vincular las actividades que se realizan dentro de la Asociación con artículos de profesionales relacionados con la Astronomía, la Física, y otras ramas de la ciencia como ser Historia, Filosofía, Antropología, Biología, Literatura, entre otras.

Por último, creemos imprescindible la participación de todos los socios para que nuestra revista pueda seguir desarrollándose, y en conjunto poder construir un mejor canal de comunicación y difusión.

Los Editores.-

[www.amigosdelaastronomia.org](http://www.amigosdelaastronomia.org)

 **Twitter:** @amigosastro

 **Fb:** amigosdelaastronomia

 **Instagram:** asaramas



# ORIÓN EN EL ALMAGESTO DE PTOLOMEO

por Roberto Casazza

Docente de Historia de la Filosofía Medieval  
y del Renacimiento en la UNR y la UBA

---

El Almagesto de Ptolomeo (ca. 100-ca. 170 d.C.) es, además de un gran tratado de astronomía, un catálogo de más de mil estrellas agrupadas en constelaciones. Su título original era *Hè Megalè Sýntaxis o Mathematiké Sýntaxis o Megalè tès Astronomias Sýntaxis*, expresiones que significan Gran composición o Gran compilación matemática o Gran tratado de la Astronomía. La obra fue traducida del griego al árabe en el siglo IX en el círculo del califa Al-Ma'mun en Bagdad, con el nombre Al-Majisti, que significa *El más grande [tratado]*, y desde entonces se la conoce universalmente con el nombre árabe, aun cuando fue redactada originalmente en griego. Gerardo de Cremona (1114-1187) la tradujo del árabe por vez primera al latín en 1175, y desde entonces tuvo gran divulgación en los círculos científicos europeos.

Ofrecemos a continuación, a modo de ejemplo, la descripción ptolemaica de la constelación de Orión. Resulta de particular interés el análisis de ésta o de cualquier otra constelación, en tanto ilustra el proceso de identificación de las estrellas a ojo desnudo mediante un tejido de figuras arbitrarias que permiten a la comunidad de observadores un parcelamiento compartido de la esfera celeste. La primera columna registra el número de estrella según la edición del Almagesto realizada por Baily,<sup>1</sup> la segunda el número de Ptolomeo para la estrella dentro de la constelación descrita, la tercera recoge la versión latina (traducida de la versión griega) del filólogo bizantino Jorge de Trebizonda (1395-1484), publicada unas décadas más tarde en Venecia en 1528, la cuarta, su traducción al español (a la que hemos preparado ad hoc para esta breve reseña), y la quinta el nombre técnico (y tradicional) del astro.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Esta edición griega de Baily (que fue completada por Halley) fue publicada al final del tercero de los cuatro tomos editados por Hudson como *Geographiae veteris Scriptorum Graeci minores*, Oxford, 1698-1712.

<sup>2</sup> Ptolemy's Catalogue of Stars, A Revision of the Almagest, editado por Christian Heinrich Friedrich Peters & Edward Ball Knobel, Washington, The Carnegie Institution, 1915, p. 44, bajo la voz "ORION".

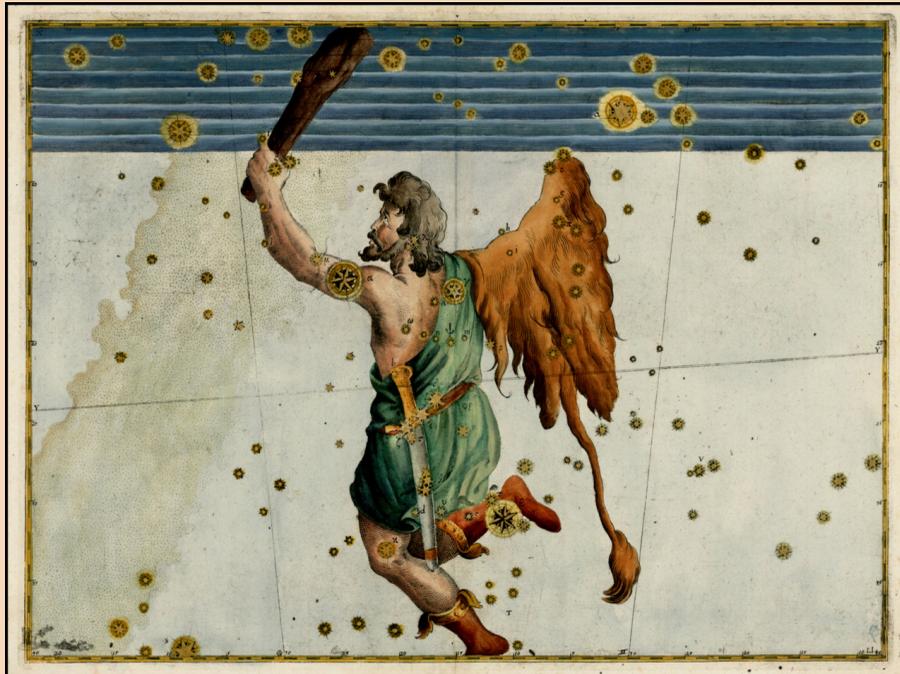


## ORIÓN EN EL ALMAGESTO DE PTOLOMEO

Número de orden del astro en el Almagesto de Ptolomeo (edición de Baily)	Número de orden del astro en la constelación según Ptolomeo	Caracterización del astro en la versión latina de Jorge de Trebizonda (Venecia, 1528)	Traducción al español	Nombre técnico en 1915 (nombre tradicional)
734	1	<i>Nebulosa quae in capite Orionis est</i>	<i>Nebulosa que se encuentra en la cabeza de Orión</i>	39 $\lambda$ dup ORI
735	2	<i>Splendida quae in humero dextro et est subrufa</i>	<i>La brillante que está en el hombro derecho y es rojiza</i>	58 $\alpha$ ORI (Betelgeuse)
736	3	<i>Quae in humero sinistro</i>	<i>La que está en hombro izquierdo</i>	24 $\gamma$ ORI (Bellatrix)
737	4	<i>Quae sub ista sequitur</i>	<i>La que está a continuación de ésta</i>	32 A ORI
738	5	<i>Quae est in cubito dextro</i>	<i>La que está en el codo derecho</i>	61 $\mu$ ORI
739	6	<i>Quae in brachio dextro</i>	<i>La que está en el brazo derecho</i>	74 k ORI
740	7	<i>Sequens et bina australis lateris figurae quadrilaterae quae est in extremitate manus dextrae</i>	<i>La que sigue y las dos del lado austral de la figura cuadrilátera que está en la extremidad de la mano derecha</i>	70 $\xi$ ORI
741	8	<i>Antecedens australis lateris</i>	<i>La que está antes del lado austral</i>	67 v ORI
742	9	<i>Sequens borealis lateris</i>	<i>La que sigue del lado boreal</i>	72 f 2 ORI
743	10	<i>Praecedens borealis lateris</i>	<i>La precedente del lado boreal</i>	69 f 1 ORI
744	11	<i>Praecedens de duabus quae sunt in collaro</i>	<i>La que precede a estas dos que están en la porra</i>	54 $\chi$ 1 ORI
745	12	<i>Sequens ipsarum</i>	<i>La que sigue a estas</i>	62 $\chi$ 2 ORI
746	13	<i>Sequens de quatuor quae sunt in scapula quasi ad rectam lineam</i>	<i>La que sigue a las cuatro que están en la espalda casi en línea recta</i>	47 $\omega$ ORI
747	14	<i>Praecedens istam</i>	<i>La que antecede a ésta</i>	37 n2 ORI
748	15	<i>Quae adhuc hanc praecedit</i>	<i>La que aún a esta otra precede</i>	55 n1 ORI
749	16	<i>Reliqua et antecedens de quatuor</i>	<i>La restante y que es la primera de cuatro</i>	30 $\psi$ 2 ORI
750	17	<i>Borealissima earum quae sunt in pelle manus sinistrae</i>	<i>La más boreal de las que están en la piel de la mano izquierda</i>	15 y2 ORI
751	18	<i>Secunda a borealissima</i>	<i>La segunda desde la más boreal</i>	11 y1 ORI
751	19	<i>Tertia a borealissima</i>	<i>La tercera desde la más boreal</i>	9 o2 ORI
753	20	<i>Quarta a borealissima</i>	<i>La cuarta desde la más boreal</i>	7 $\pi$ 1 ORI
754	21	<i>Quinta a borealissima</i>	<i>La quinta desde la más boreal</i>	2 $\pi$ 2 ORI
755	22	<i>Sexta a borealissima</i>	<i>La sexta desde la más boreal</i>	1 $\pi$ 3 ORI
756	23	<i>Septima a borealissima</i>	<i>La séptima desde la más boreal</i>	3 $\pi$ 4 ORI
757	24	<i>Octava a borealissima</i>	<i>La octava desde la más boreal</i>	8 $\pi$ 5 ORI
758	25	<i>Reliqua et australissima earum quae sunt in pelle</i>	<i>La que sigue y que es la más austral de las que están en la piel</i>	10 $\pi$ 6 ORI

## ORIÓN EN EL ALMAGESTO DE PTOLOMEO

759	26	<i>Antecedens de tribus quae sunt in cingulo</i>	<i>La que antecede de las tres que están en el cinturón</i>	34 $\delta$ ORI ( <i>Mintaka</i> )
760	27	<i>Media ipsarum</i>	<i>La que está en medio de estas</i>	46 $\epsilon$ ORI ( <i>Alnilam</i> )
761	28	<i>Sequens de tribus</i>	<i>La que sigue de las tres</i>	50 $\zeta$ dup ORI ( <i>Abnitak</i> )
762	29	<i>Quae in ensis capulo</i>	<i>La que está en la empuñadura de la espada</i>	28 $\eta$ ORI
763	30	<i>Borealis de tribus conjunctis quae sunt in ensis extremitate</i>	<i>La más boreal de las tres que están juntas en la punta de la espada</i>	{4245}c ORI
764	31	<i>Media ipsarum</i>	<i>La que está en medio de ellas</i>	{41014302}c $\theta$ ORI
765	32	<i>Australis de tribus</i>	<i>La más austral de las tres</i>	44 $\iota$ ORI
766	33	<i>Sequens de duabus quae sunt sub ensis extremitate</i>	<i>La que sigue de las dos que están bajo la punta de la espada</i>	49 $d$ ORI
767	34	<i>Praecedens ipsarum</i>	<i>La que entre ellas precede</i>	36 $u$ ORI
768	35	<i>Splendida quae est in extremitate pedis sinistri communis cum aqua</i>	<i>La brillante que está en la extremidad del pie derecho y es común con la extremidad del agua [del río de Eridano]</i>	19 $\beta$ ORI ( <i>Rigel</i> )
769	36	<i>Borealis ipsarum supra talum in tibia</i>	<i>La más boreal de estas y que está en el talón del pie</i>	20 $\tau$ ORI
770	37	<i>Exterior sub sinistro calcaneo</i>	<i>La exterior bajo el talón izquierdo</i>	29 $e$ ORI
771	38	<i>Quae sub dextro et sequenti genu</i>	<i>La que está bajo el talón derecho y en la siguiente rodilla</i>	53 $\kappa$ ORI ( <i>Saiph</i> )





# DERIVA POLAR Y STAR TRAIL

## *Métodos alternativos de puesta en estación para Astrofotografía*

*por Artemio Luis Fava*

*Ingeniero electrónico, socio de la AAAA, y docente de los cursos de puesta en estación y construcción de telescopios.*

---

Este artículo describe dos métodos de puesta en estación indicados para astrofotografía. Ambos forman parte de los diversos procedimientos de alineación polar que se enseñan en el curso de *Puesta en Estación de Telescopios* que brinda la *Asociación Argentina Amigos de la Astronomía*.

El primer método, *Deriva Polar*, consiste en observar la deriva de una estrella cualquiera cercana al polo celeste y en base a ella hacer los ajustes de altura y acimut necesarios para poner la montura en estación. Este método resulta igualmente preciso, pero más rápido, que el tradicional método *Bigourdan* (o método de la deriva como se lo conoce comúnmente), ya que observando una sola estrella se deducen ambos ajustes de altura y acimut simultáneamente; y por otra parte no requiere alinear la cámara en ninguna dirección específica.

El segundo método, *Star Trail*, también se basa en la observación de la región polar, pero es más rápido y más preciso aún. Permite cuantificar la magnitud del error de puesta en estación, no requiere esperar derivas y tampoco es necesario alinear la cámara en ninguna dirección en particular. Además, provee la información necesaria para corregir el Error de Cono, sobre el que nos referiremos más adelante.

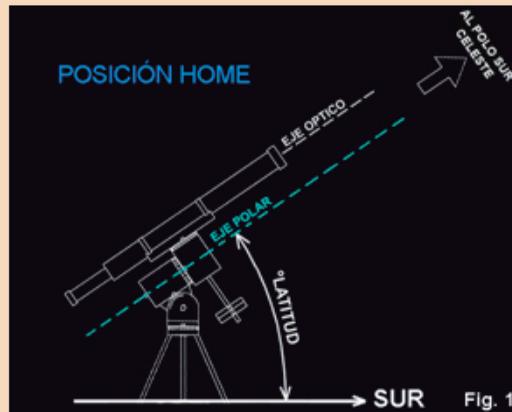
Para ambos métodos es conveniente contar con una retícula que se pueda superponer a las imágenes. A este efecto se recomienda emplear la aplicación gratuita *Mire de Collimation* que se puede obtener en el siguiente enlace:

<http://sweiller.free.fr/collimation/Collimation03.exe>

### *Deriva polar*

Al igual que cualquier otro método de puesta en estación, este también comienza con los procedimientos habituales de nivelado de la montura, balanceo del telescopio, puesta en foco de la cámara, alineación “a grosso modo” del eje polar hacia el polo celeste, activación de la montura en modo de seguimiento sidéreo y ajuste de ángulo horario y declinación a la *Posición Home* (Fig. 1).

---

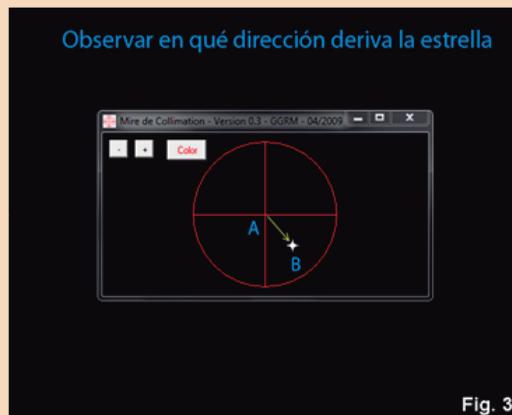


El método propiamente dicho consiste en tomar dos fotografías de un par de segundos de exposición cada una, separadas entre sí por uno o dos minutos. Comparando ambas imágenes se determina en qué dirección derivaron las estrellas. Y en base a dicha deriva se deducen los ajustes necesarios de altura y acimut como se describe a continuación.

Se toma la primera fotografía y se coloca el centro de la retícula sobre una estrella cualquiera de la imagen A (Fig. 2).

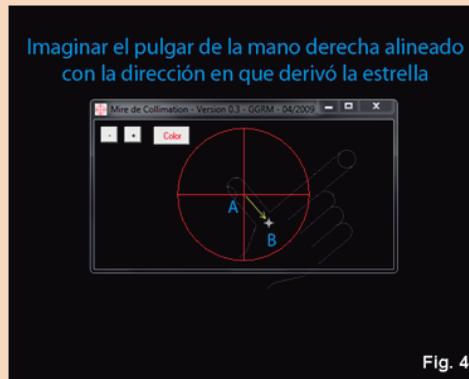


Luego de uno o dos minutos, sin mover la retícula ni la ventana de visualización de imágenes, se toma la segunda fotografía y se observa en qué dirección derivó la estrella B (Fig. 3).

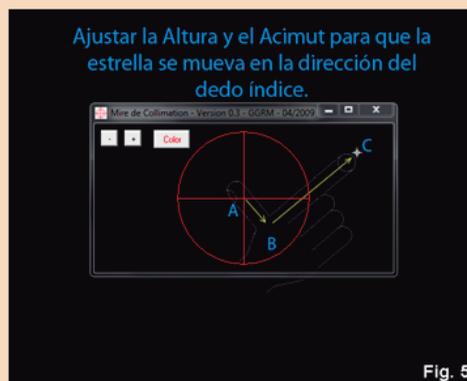


## DERIVA POLAR Y STAR TRAIL

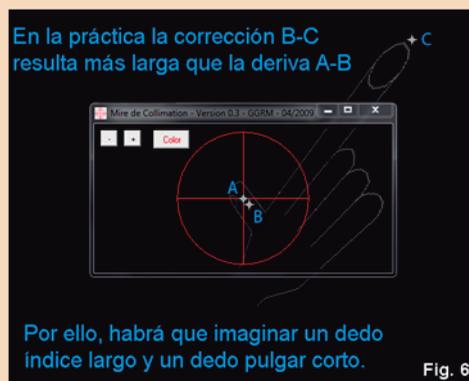
Para determinar los ajustes de altura y acimut necesarios para poner la montura en estación se aplica la regla de la mano derecha. Esta consiste en imaginar el dedo pulgar alineado con la dirección de la deriva A-B (Fig. 4).



Y luego hacer los ajustes de altura y acimut de manera tal que la estrella se desplace en la dirección B-C que señala el dedo índice, es decir, perpendicularmente a A-B (Fig. 5).



La magnitud de los ajustes dependerá de cuán fuera de estación esté la montura. Cuanto más desalineado esté el eje polar respecto del polo celeste mayor será la deriva A-B en un tiempo dado y por consiguiente la corrección B-C deberá ser mayor. En la práctica, la corrección B-C resulta mucho más larga que la deriva A-B. Por ello, habrá que imaginar un dedo pulgar muy corto y un dedo índice muy largo (Fig. 6).



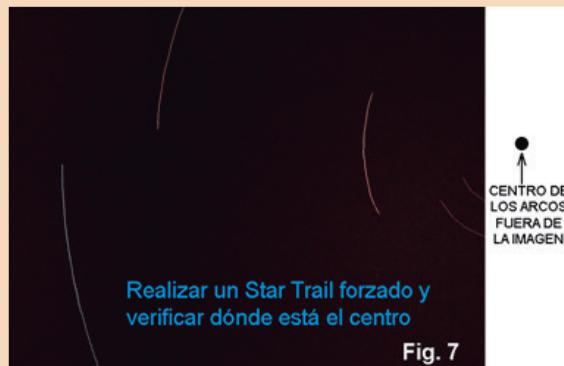
Al igual que el método *Bigourdan*, el método de la *Deriva Polar* es un procedimiento iterativo. Por ello, habrá que repetir los pasos de las figuras 1 a 6, tantas veces como sea necesario hasta que la deriva sea imperceptible durante un tiempo igual o mayor al tiempo de exposición que se tenga planeado emplear para cada toma de la sesión astrofotográfica.

Cabeseñalar que, a medida que nos vayamos acercando a la puesta en estación óptima, para notar la deriva los intervalos entre ambas fotografías deberán ser cada vez mayores y los ajustes de altura y acimut deberán ser cada vez menores.

### *Star Trail*

Este método también comienza con los procedimientos habituales de nivelado de la montura, balanceo del telescopio, puesta en foco de la cámara, alineación a grosso modo del eje polar hacia el polo celeste, activación de la montura en modo de seguimiento sidéreo y ajuste de ángulo horario y declinación a la *Posición Home* (Fig. 1).

A continuación se realiza un *Star Trail* “forzado”, el cual se obtiene tomando una fotografía de unos 15 segundos de exposición mientras se hace girar a alta velocidad el eje polar. El resultado será una imagen con trazos en forma de arcos de circunferencia. Puede suceder que el centro de los arcos se ubique fuera de la imagen (Fig. 7).



Si este fuera el caso, se debe a que el eje polar y el eje óptico no están suficientemente paralelos entre sí. Por ello, habrá que ajustar la declinación y repetir el *Star Trail* hasta lograr que el centro de los arcos se encuentre en algún lugar dentro de la imagen (Fig. 8). No es necesario que el centro de los trazos se ubique en el centro mismo de la imagen, pero sí es recomendable ubicarlo lo más cerca posible de este.



Una vez obtenido un *Star Trail* cuyo centro sea visible en la imagen, se posiciona la retícula *Mire de Collimation* en dicho centro (Fig. 9). La retícula así posicionada indicará el punto en el cielo hacia donde apunta el eje polar de la montura, es decir, el *Polo Sur del Telescopio* (PST). Cabe señalar que de aquí en más no se debe modificar la posición de la retícula, ni mover la ventana de visualización de las imágenes, ni tocar el control de declinación.



Luego, se toma una fotografía de un par de segundos de exposición y se identifica en la imagen la posición del *Polo Sur Celeste* (PSC). Para ello, debe reconocerse el asterismo triangular característico de la región polar. Cerca de la hipotenusa de dicho triángulo se encuentran dos estrellas de menor magnitud. La prolongación imaginaria de tres veces la distancia entre esas dos estrellas indica la posición del PSC (Fig. 10).



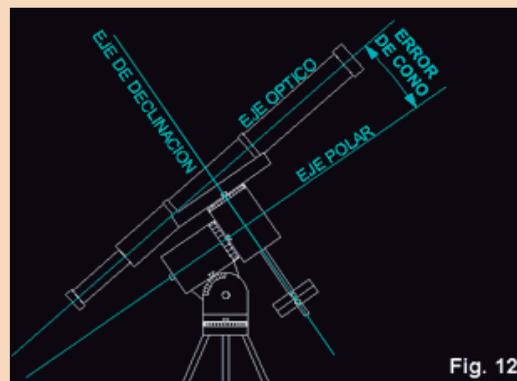
Finalmente, se ajustan altura y acimut para lograr que el PSC se desplace hasta el centro de la retícula. Para hacerlo, entre ajuste y ajuste, se van tomando fotografías de un par de segundos de exposición; de manera que se verá el desplazamiento del PSC que se consiguió con cada ajuste. La puesta en estación estará terminada cuando se haga coincidir el PSC sobre el PST (Fig. 11).



Cabe señalar que, si el método *Star Trail* se inicia con la montura muy fuera de estación, puede suceder que el PSC no aparezca en las imágenes. Si este fuera el caso, luego de realizar el *Star Trail* se pueden realizar un par de ajustes gruesos por el método de *Deriva Polar* hasta lograr que PSC aparezca en la imagen y a partir de allí retomar el método *Star Trail*.

### Error de cono

El *Error de Cono* se presenta cuando, por problemas de montaje mecánico, el eje óptico no es perpendicular al eje de declinación. Por lo tanto, no será posible poner el eje óptico paralelo al eje polar (Fig. 12). La corrección del *Error de Cono* consiste en el ajuste mecánico de las fijaciones del tubo del telescopio a la montura de manera que el eje óptico quede perpendicular al eje de declinación.



Al realizar el *Star Trail* es frecuente que no se pueda ubicar el centro de los arcos en el centro mismo de la imagen. Como dijimos antes, si el centro cae en cualquier lugar dentro de la imagen no hay problema ya que el *Error de Cono* es suficientemente pequeño como para poder llevar a cabo el método *Star Trail*. Pero si el *Error de Cono* es muy grande será imposible ubicar el centro de los arcos dentro de la imagen por más ajustes de declinación que se realicen. Y por consiguiente habrá partes del cielo cercanas a la región polar que nunca podrán ser observadas.

Los ajustes de declinación permiten desplazar el centro del *Star Trail* en una dirección, mientras que los desplazamientos del mismo en la dirección perpendicular a esta sólo se pueden lograr corrigiendo el *Error de Cono* (Fig. 13).



Para corregir el *Error de Cono* bastará entonces, por medio de *Star Trails* sucesivos, ajustar la declinación y la fijación mecánica del tubo a la montura, hasta conseguir que el centro de los arcos se ubique lo más cercano que sea posible al centro mismo de la imagen.-

# UN LARGO Y VARIABLE CAMINO

por *Carlos Magliano*

*Socio de la AAAA y artesano*

No recuerdo la fecha exacta, debió ser abril o mayo de 2014, cuando Alejandro Blain nos propuso a varios socios que empezáramos a usar el telescopio Meade 250 con la idea de hacer algo. El año anterior Mónica Konishi había dado un curso de Astrometría que incluía, además de las técnicas de medición, el aprendizaje para usar el Meade 250 y la cámara CCD ST9.

Un par de meses después, ese “hacer algo” se había transformado en la toma de imágenes para hacer Fotometría de Estrellas Variables. Pasaron meses para que puliéramos el uso del equipo y los programas. Desde enfriar la cámara y enfocar el telescopio, sincronizarlo o guardar las imágenes, hasta darle la exposición justa a cada variable o controlar que la imagen no se mueva demasiado. Como parte de la práctica, también acumulamos un abultado álbum fotográfico de objetos del espacio profundo.

A medida que se presentaban eventos astronómicos fuimos ampliando la gama de actividades. Ocultamientos de estrellas por asteroides, seguimiento de supernovas y de varios cometas, la fotometría exitosa de un exoplaneta, son interesantes alternativas para seguir explorando. Y no quiero olvidarme de las varias noches sin dormir por culpa de Plutón.

Pero la mayor apuesta sigue siendo la Fotometría de Variables, especialmente las binarias eclipsantes. Las imágenes y posterior análisis fotométrico de varias de estas binarias nos permitió participar este año de un trabajo realizado por profesionales de la Universidad Nacional de La Plata y que fue presentado a la comunidad astronómica. Este trabajo mismo presenta importantes posibilidades para desarrollar en 2017.





## UN LARGO Y VARIABLE CAMINO

---

Algunos objetivos:

Para seguir avanzando y dar un salto en cantidad y calidad deberíamos superar dos obstáculos. El primero es la existencia de solo un software específico de Fotometría. El segundo es que con un solo equipo de observación estamos limitados en la toma de imágenes.

Por eso, el acceso a nuevo software y la incorporación de instrumental de observación serían los próximos objetivos a cumplir para doblar la apuesta y pensar en proyectos nuevos.

Un tercer objetivo, más marginal pero no menos importante (casi diría que el más importante), también exigido por otras áreas de la Asociación, sería la llegada de la mesa de ping pong, elemento de alta importancia para obtener la concentración necesaria en la toma de imágenes y posterior análisis, así como el entrenamiento físico y coordinación, imprescindibles para maniobrar adecuadamente el instrumental.

Concretar estas metas no solo sería importante para este equipo, facilitaría también la posibilidad de que otros socios se acerquen a disfrutar de esta actividad como lo hacemos nosotros.-





# EVOLUCIÓN ESTELAR EN SISTEMAS BINARIOS Y LA SUPERNOVA SN 2011DH EN MESSIER 51

por Omar Gustavo Benvenuto

Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas  
Universidad Nacional de La Plata  
Paseo del Bosque S/N B1900FWA La Plata  
Instituto de Astrofísica de La Plata, CONICET  
[obenvenu@fcaglp.unlp.edu.ar](mailto:obenvenu@fcaglp.unlp.edu.ar); [omargbenvenuto@gmail.com](mailto:omargbenvenuto@gmail.com)

Una cuestión nada sencilla es definir qué es una estrella. Tal vez la forma más precisa sea referirse a ellas como reactores nucleares. Las estrellas son objetos en los que ocurre un número apreciable de procesos físicos que determinan sus propiedades. Tal vez, los procesos más importantes sean las reacciones nucleares.

## *¿Por qué brilla el Sol?*

A mediados del siglo XIX se consideraba que las estrellas brillaban como consecuencia de una contracción gravitatoria muy lenta. Esta contracción libera energía gravitatoria, la cual puede alimentar las pérdidas de energía que la estrella sufre a través de su fotosfera (superficie). Por entonces quedó demostrado que el Sol podría mantener la estructura que presenta actualmente por unos diez millones de años. Esta escala de tiempo no presentaba ningún conflicto con las evidencias por entonces conocidas, situación que se mantuvo hasta las primeras décadas del siglo pasado. Por entonces, Ernest Rutherford encontró evidencia concluyente de que en la corteza terrestre había elementos radioactivos que habían dejado residuos que tenían una edad muy superior. Hoy se encuentra establecido que el Sistema Solar tiene una edad de unos 4500 millones de años. Resulta inaceptable pensar que el Sol pueda tener una edad centenares de veces menor. Por lo tanto era de fundamental importancia comprender por qué el Sol puede brillar, tal como hoy lo observamos, por lo menos por unos 4500 millones de años.

En aquellos años de grandes descubrimientos Arthur Eddington planteó que las estrellas debían consumir hidrógeno convirtiéndolo en helio. Ya se había descubierto que el hidrógeno es el elemento más abundante en el Universo y que cuatro núcleos de hidrógeno son más pesados que el helio. Por lo tanto, convirtiendo cuatro hidrógenos en un helio podría liberarse la diferencia de masa como energía, tal como lo indica la célebre ecuación de Einstein  $E=mc^2$  ( $E$  es la energía liberada,  $m$  la diferencia de masa y  $c$  la velocidad de la luz). Hoy no tenemos duda de que esa idea es correcta. Pero Eddington fue más allá, también vislumbró que si eso era así la raza humana no debía estar lejos de dominar la energía nuclear, para su beneficio o su suicidio. Aún hoy no sabemos cómo será el futuro, aunque los comentarios de un verdadero visionario como Eddington no pueden dejar de resultar inquietantes.

Hace tiempo que las bases fundamentales de la ciencia de la evolución estelar se encuentran establecidas. La gran explosión conocida como Big Bang debe haber producido hidrógeno, helio, muy poco litio y casi nada más. Todo el resto de los elementos químicos, con sus respectivos isótopos (núcleos con el mismo número de protones pero diferente número de neutrones), tienen que haber sido formados en el interior de las estrellas. En otras palabras: en el interior de las estrellas ocurre una enorme diversidad de reacciones nucleares que dan lugar a la formación de todas estas especies. Dichas reacciones cambian la composición del interior estelar, modificando las condiciones de equilibrio hidrostático (las estrellas sufren movimientos de expansión y/o contracción muy lentos, por lo que se suele considerar que están en equilibrio hidrostático); además la estrella pierde energía por su fotosfera. Estas son las principales razones por las que las estrellas evolucionan.

### *El diagrama más importante...*

El diagrama más importante para los astrofísicos que nos dedicamos al estudio de las estrellas es el de Hertzsprung-Russell (DHR). Construir el DHR no es nada sencillo. Para que el diagrama refleje las propiedades intrínsecas de las estrellas es necesario medir el brillo, el color y la distancia a cada una de las mismas y también “restar” de las observaciones el efecto del polvo interestelar (procedimiento conocido como “desenrojecer”). En el caso de observaciones de cúmulos estelares, todas las estrellas se encuentran aproximadamente a la misma distancia, lo cual facilita enormemente estos procedimientos.

En el DHR la banda diagonal que cruza este plano de arriba a la izquierda (estrellas calientes y luminosas) a abajo a la derecha (estrellas frías y débiles) se conoce como Secuencia Principal, por la simple razón de que la gran mayoría de las estrellas se ubican en dicha región. Si incluimos estrellas aisladas, el DHR tiene una interpretación estadística: encontraremos más estrellas en las condiciones de brillo y temperatura en las que más tiempo se encuentran. Si estudiamos el DHR de un cúmulo, a partir de la distribución de las estrellas en ese plano es posible deducir la edad de estos objetos.

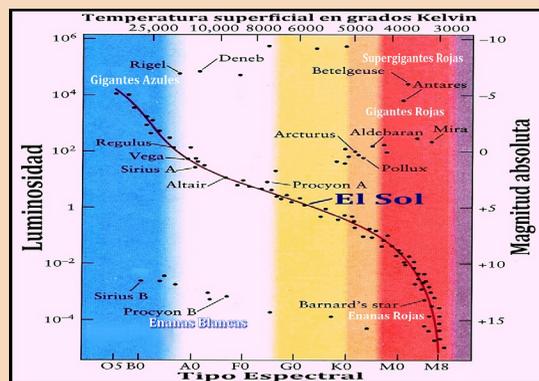
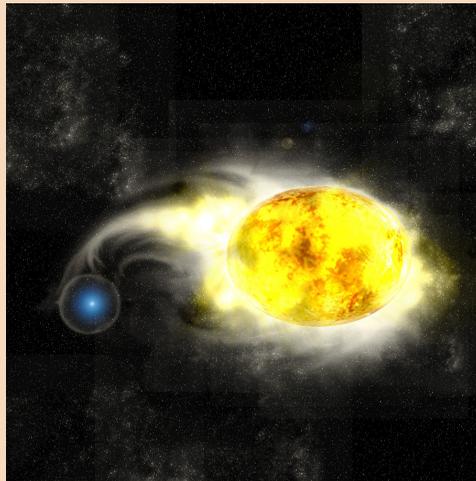


Diagrama de Hertzsprung y Russell

## *Pares de estrellas*

Si una estrella se encuentra aislada, su radio puede crecer tanto como sea necesario para responder a su evolución química interna. Sin embargo, muy por el contrario, en el caso de un sistema binario las estrellas pueden ocupar solamente un volumen limitado. Dicho volumen es el famoso Lóbulo de Roche. En el caso de dos estrellas normales, la que evoluciona más rápidamente es la más masiva (esto no es válido en el caso de que alguno de los objetos del par binario sea una estrella de neutrones). Si el período orbital circular del par es suficientemente corto, por ejemplo menor que un año, la estrella más masiva se verá obligada a perder masa ya que no puede ocupar un volumen mayor que el correspondiente al Lóbulo de Roche.

El material es recibido por la estrella compañera, la cual puede retenerlo parcial o totalmente. Desde ese momento ambas estrellas alcanzan estados evolutivos inaccesibles para las estrellas normales. Nótese que aquí estoy suponiendo que el par binario tiene una órbita circular. Este es el caso más relevante aunque no el único posible. Si las estrellas están suficientemente cerca sufren una fuerte influencia de las mareas (tal como las mareas que ocurren aquí en la Tierra). Estas mareas tienden a hacer que las órbitas tiendan a ser cada vez más circulares.



## *La evolución según la masa*

Al presente se encuentra establecido que las estrellas con una masa menor que unas 8 veces la masa solar terminan su vida como enanas blancas. Las enanas blancas soportan su estructura contra el colapso gravitatorio gracias a la presión de los electrones degenerados. Se les llama así ya que esta presión se debe al famoso principio de incertidumbre de Heisenberg. Cuanto más se localiza en el espacio a una partícula, su energía es cada vez más alta. Estos electrones hacen una presión enorme aún a temperaturas bajas. Si la enana blanca no sufre acreción de masa, su



## EVOLUCIÓN ESTELAR EN SISTEMAS BINARIOS...

---

evolución será cada vez más lenta apagándose poco a poco. Si sufre suficiente acreción de masa esta puede explotar y dar origen a las supernovas de tipo Ia. En el caso de las estrellas más masivas que unas 8 veces la masa solar, estas explotan como supernova luego de sufrir un colapso gravitatorio de su zona central. La estructura química de la estrella inmediatamente antes de explotar es de “cáscara de cebolla”. En el núcleo aparecen el hierro y otros elementos y sus diferentes isótopos; este a su vez está envuelto por cáscaras concéntricas de elementos cada vez más livianos como el silicio, neón, oxígeno, carbono, helio y finalmente hidrógeno. Estas cáscaras no contienen elementos puros sino que aparecen coexistiendo con otros pero en menores abundancias. Cuando el núcleo de hierro alcanza una masa del orden de la del Sol, la estrella ya no puede permanecer en equilibrio hidrostático y se derrumba.

En este momento comienza la formación de una estrella de neutrones, se libera una enorme cantidad de neutrinos (partículas casi sin masa que interactúan muy poco con la materia y casi siempre se pierden directamente del interior estelar al medio interestelar) y de alguna manera, aún no del todo entendida, el interior revierte el colapso en explosión y finalmente ocurre la supernova. Desde que la implosión se revierte en explosión el interior de la estrella es barrido por una onda de choque que viaja a velocidades del orden de los miles de kilómetros por segundo. Si observamos en radiación electromagnética (rayos gamma, X, visible, microondas u ondas de radio) esto es indetectable hasta el instante en el que la onda llega a la fotosfera de la estrella. En ese momento el objeto se vuelve mucho más brillante súbitamente. Si pudiéramos observar los neutrinos, estos darían una señal inconfundible en el momento en el que parte la onda de choque desde el interior profundo. Hasta ahora esto sólo pudo observarse en el caso de la famosa supernova SN 1987 A.

### *Una observación inesperada*

El 31 de mayo de 2011 llegó a la Tierra la señal luminosa de la explosión de una supernova que se registró como SN 2011dh. Dicha supernova ocurrió en la periferia de la galaxia “Remolino” (“Whirlpool”) Messier 51 y fue la supernova más brillante registrada dicho año (foto). Poco tiempo después, estando de visita en el Instituto para la Física y la Matemática del Universo (IPMU) de la Universidad de Tokio, el Profesor Ken'ichi Nomoto nos propuso a Melina (Bersten), Gastón (Folatelli) y a quien suscribe que estudiáramos este objeto. Melina y Gastón son dos destacados compatriotas colegas que han estado en el IPMU haciendo una estadía post-doctoral y recientemente han regresado a nuestro país para trabajar en nuestra Facultad como investigadores del CONICET. ¡Por suerte le hicimos caso al gran Ken!

El Telescopio Espacial Hubble (TEH) había registrado imágenes de esos campos previamente a la fecha de la explosión. Esto permitió identificar un candidato a ser el progenitor de la supernova. Esta era una estrella amarilla, lo cual era algo inespera-



## EVOLUCIÓN ESTELAR EN SISTEMAS BINARIOS...

---

do. Generalmente las supernovas son consecuencia de la explosión de estrellas gigantes rojas de radios más grandes y temperaturas más bajas que los valores correspondientes a este objeto amarillo. Cabe destacar que el mecanismo por el cual ocurre la explosión no está totalmente elucidado. Sin embargo, como ya dijimos, todo indica que el proceso se dispara en el interior profundo de la estrella. Las propiedades de esta zona de la estrella no dependen de las condiciones de las capas más externas, en particular son independientes de si la estrella está aislada o en un sistema binario.

Cuando explota una supernova una de las principales características de la explosión es la llamada curva de luz. Esta curva es la variación del brillo a través del tiempo. La curva de luz depende de la masa, el radio, la composición química de la estrella y además de la cantidad de material radioactivo sintetizado durante la explosión. Por este motivo, en principio es posible deducir la estructura del progenitor de supernova por medio del estudio de la curva de luz.

En el caso de SN 2011dh la curva de luz temprana indicaba un radio extendido para el progenitor. Esto indicaba que muy posiblemente este sería la estrella amarilla observada por el TEH tal como lo planteamos en Bersten y colaboradores (2012). Otros investigadores consideraban que el progenitor podría haber sido una estrella azul, caliente y compacta, de las llamadas de “Wolf-Rayet” y que aunque la estrella amarilla se encontraba en la dirección de la supernova no tenía vinculación física con la misma.

En el caso de que la estrella amarilla hubiera explotado, los cálculos de la curva de luz indicaban que esta tendría que haber tenido unas 4 veces la masa del Sol y haber retenido una cáscara de hidrógeno de muy poca masa. Es muy difícil que una estrella aislada pueda cumplir con estas propiedades mientras que además tenga el brillo y la temperatura fotosférica que observó el TEH, mientras que todo esto es natural en el contexto de la evolución de sistemas binarios masivos. Por tal motivo, aprovechando que contamos con nuestro código numérico capaz de simular la evolución de estrellas masivas en estos sistemas, propusimos en Benvenuto, Bersten y Nomoto (2013) que la SN 2011dh debió haber ocurrido en un sistema que inicialmente tenía objetos de 16 y 10 masas solares en una órbita circular de 125 días de período. En dicho cálculo encontramos que la estrella más masiva evolucionaba hasta alcanzar las 4 masas solares, teniendo la temperatura, brillo y abundancia de hidrógeno compatibles con las observaciones del TEH y los cálculos de curva de luz. Pero todo esto contenía una predicción: para que la estrella progenitora fuera la amarilla, el par binario tenía que tener una estrella azulada y brillante. De no ser así la estrella progenitora debería haber sido una supergigante roja y no amarilla. Esa estrella azul debería ser observable luego de que la supernova se debilitara lo suficiente.



### *Una larga espera que valió la pena*

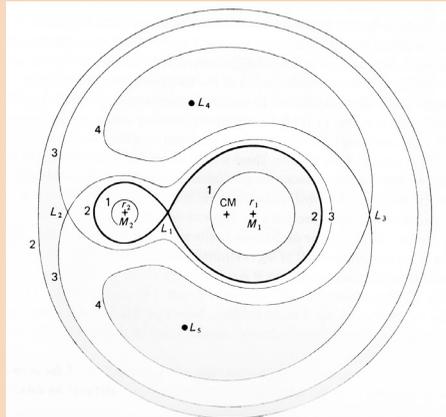
Unos 650 días después de la explosión, Van Dyk y colaboradores (2013) volvieron a observar el campo estelar donde ocurrió la explosión y descubrieron que la estrella amarilla ya no estaba: había explotado. Esa fue una gran noticia para nosotros ya que se confirmaba la predicción de que el progenitor había sido la estrella amarilla. Pero, para que se confirmara el modelo propuesto todavía debíamos observar a la estrella azul.

Para poder realizar esta observación era necesario esperar a que la supernova fuera suficientemente débil como para que la estrella azulada se distinguiera claramente. Necesitábamos que las observaciones se realizaran unos tres años después de la explosión. Este tiempo es posible estimarlo, ya que la curva de luz tardía de las supernovas se encuentra gobernado por el calor liberado por el decaimiento del isótopo 56 del Níquel (con una vida media de 6 días), en Cobalto 56 (vida media de 77 días).

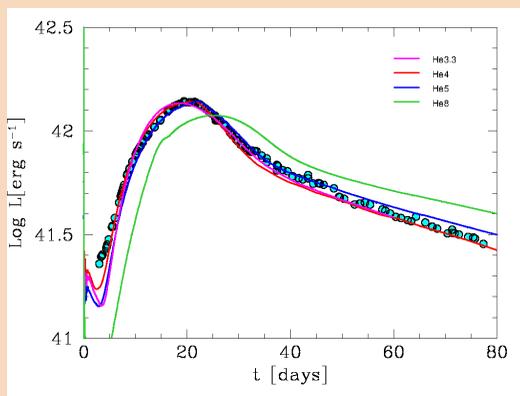
Quien suscribe tuvo la enorme fortuna de formar parte del grupo de investigadores que solicitó tiempo de observación en el TEH para verificar la existencia de la estrella compañera azul. El 23 de agosto pasado nos llegó la noticia de que el TEH había detectado una imagen compatible con nuestras predicciones. Luego de un análisis cuidadoso concluimos que el objeto azul realmente existe y que el modelo propuesto para interpretar la explosión de SN 2011dh es esencialmente correcto. Evidentemente la SN 2011dh ocurrió en un sistema binario tal como habíamos interpretado. Esta noticia se publicó en Folatelli y colaboradores (2014).

### *Hasta aquí lo estrictamente científico*

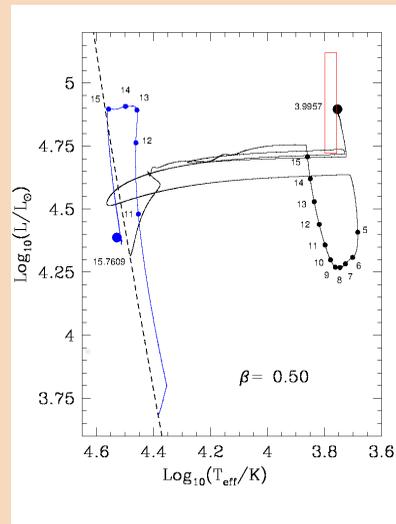
Quien suscribe hace muchos años pulió un espejo parabólico de 15cm y se construyó un telescopio Newtoniano en el taller de nuestra querida Asociación. Luego me pasaron muchas cosas, me puse a estudiar, me recibí, me puse a investigar, etc. Lo que les cuento en este artículo es algo así como “el sueño del pibe” hecho realidad. Créanme que la Astronomía es una ciencia maravillosa. En aquel tiempo (a mediados de la década de los '70) nunca imaginé que iba a poder hacer estas cosas. Si algo hice fue seguir mi sueño y no me arrepiento.-



Lóbulo de Roche



Curva de luz



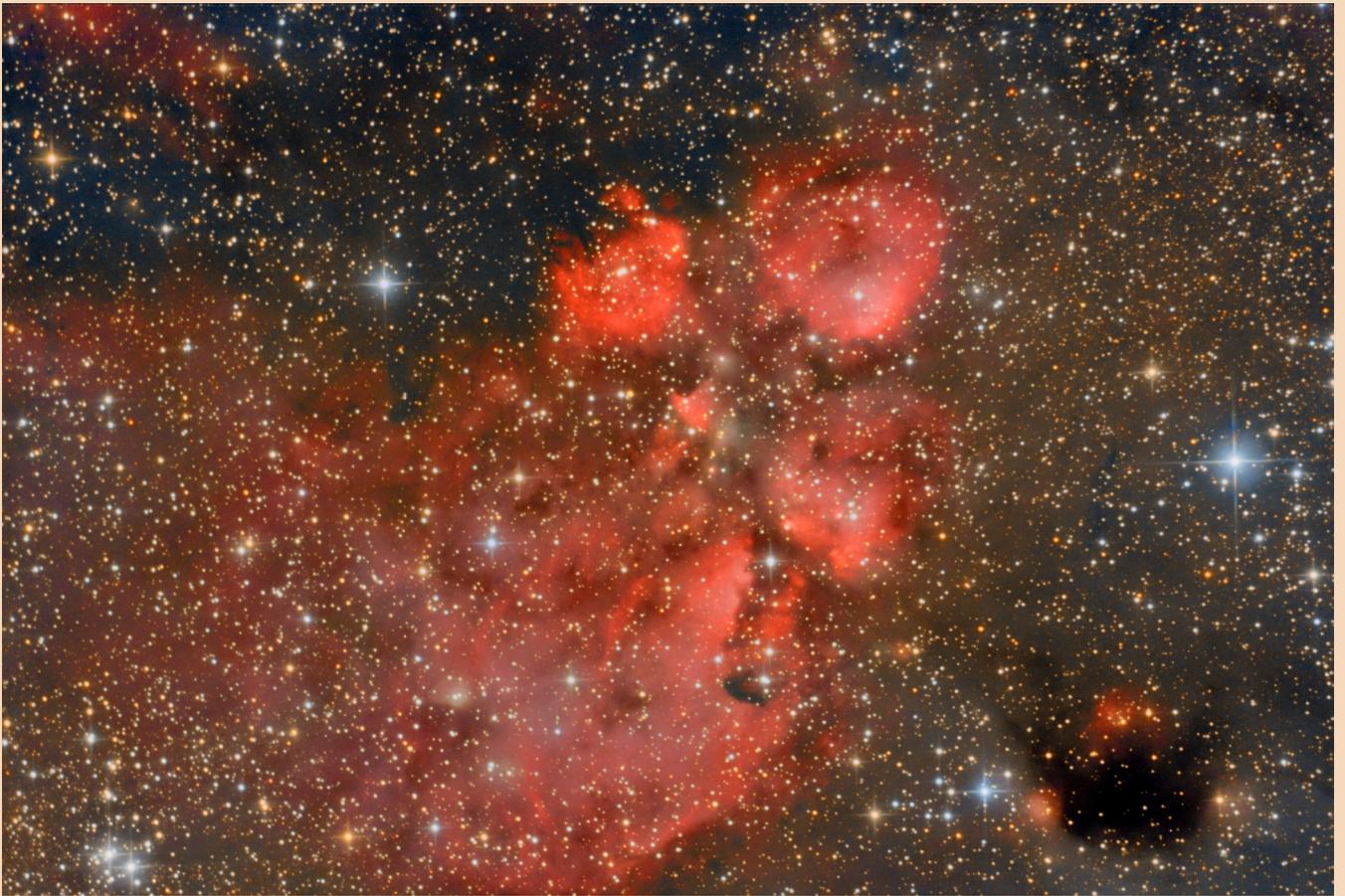
Supernova SN 2011dh

## Referencias:

- \* Benvenuto, O. G., Bersten, M. C., Nomoto, K. 2013. "A Binary Progenitor for the Type IIb Supernova 2011dh in M51". The Astrophysical Journal 762, 74.
- \* Bersten, M. C., Benvenuto, O. G., y 11 colegas 2012. "The Type IIb Supernova 2011dh from a Supergiant Progenitor". The Astrophysical Journal 757, 31.
- \* Folatelli, G., Bersten, M. C., Benvenuto, O. G., Van Dyk, S. D., Kuncarayakti, H., Maeda, K., Nozawa, T., Nomoto, K., Hamuy, M., Quimby, R. M. 2014. "A Blue Point Source at the Location of Supernova".
- \* Van Dyk, S. D., Zheng, W., Clubb, K. I., Filippenko, A. V., Cenko, S. B., Smith, N., Fox, O. D., Kelly, P. L., Shivvers, I., Ganeshalingam, M. 2013. "The Progenitor of Supernova 2011dh has Vanished". The Astrophysical Journal 772, L32.



*IC 4628, Nebulosa de la gamba.  
Fotografía de Claudio Pietrasanta*



*NGC 6188, Nebulosa Pata de gato.  
Fotografia de Claudio Pietrasanta*



# MICROMETEORITOS... REGALOS DEL CIELO

*por Sebastian Castagna*

*Miembro del Observatorio  
Astronómico de Quilmes*

---

El espacio exterior no es vacío como la mayoría de la gente piensa. En el espacio existen planetas, asteroides, meteoroides y polvo. Este polvo es absorbido por la Tierra a diario, a cada minuto, a cada segundo. Se estima que cada año caen sobre nuestro planeta unas 35.000 toneladas de material extraterrestre. Cuando las partículas son de mayor diámetro provocan el efecto visual mayormente conocido como estrella fugaz, y en partículas más grandes aún, los bólidos. En el caso de los micrometeoritos, por lo general estas partículas no se consumen en el ingreso en la atmósfera y las mismas se precipitan suavemente cayendo a la superficie con la lluvia y con el viento.

Existen muchas formas de poder encontrar partículas procedentes del espacio. Los micrometeoritos son la más fácil de todas, no hace falta, salir al desierto y tampoco a los campos helados de la Antártida. Desde tu casa con un experimento sencillo podrás conseguir tu propios meteoritos. Como ya dijimos antes, estas partículas llegan a la superficie a través de las lluvias y el viento. Para poder encontrarlas solo tenemos que recoger el polvo que se junta en las rejillas de las alcantarillas pluviales de la calle, preferentemente en zonas bajas. También podemos recoger el polvo que se acumula en el techo de cualquier estructura o de la canaleta de tu casa. Como otra alternativa, podemos extender en el suelo un mantel de plástico grande y dejar unos días para luego con un aspersor con agua y un papel filtro recoger las muestras obtenidas, filtrándolas. Dependiendo de cómo recolectemos las muestras, los materiales que necesitaremos son:

- 1° Imán.
- 2° Una lupa potente o cuentahilos.
- 3° Papel blanco.
- 4° Aguja.

El experimento es muy sencillo. Dado que la mayoría de la materia proveniente del espacio, sean meteoritos o micrometeoritos, tiene como uno de sus componentes al hierro, el cual nos sirve para separar el polvo normal de los micrometeoritos. Para ello, debemos envolver el imán en papel blanco, y a su vez colocar la muestra recolectada sobre otro papel blanco. Al pasar el imán, las partículas de hierro adhieren al mismo, de esta forma logramos separar lo metálico de lo que no lo es.

---



## MICROMETEORITOS... REGALOS DEL CIELO

---

Una vez realizado este procedimiento, con nuestras partículas adheridas al imán envuelto en papel lo desenvolvemos. De esta forma las partículas metálicas caerán en otra hoja de papel que hemos puesto debajo para no perderlas. Con las partículas metálicas en nuestra hoja blanca, debemos separar nuestros micrometeoritos de las partículas ordinarias. Para ello, necesitamos un cuentahilos, o una lupa potente, y una aguja.



Los micrometeoritos, lucen como pequeñas esferas oscuras, las cuales con ayuda de la aguja debemos recoger y colocar en un pequeño recipiente (como el de las muestras de perfumes, por ejemplo). Una vez separados los micrometeoritos del resto y recolectadas la mayor cantidad de esferitas, lograremos tener nuestra propia partícula del espacio exterior.

Actualmente, existen en exposición permanente en el Observatorio Astronómico de Quilmes, las muestras que hoy puedo compartir con ustedes, como así también del resultado de este experimento una pequeña pieza individual de menos de un gramo con un 100% de corteza de fusión, que podría llegar a concordar con una condrita Ordinaria tipo "L"; así como también otros meteoritos individuales y cortes pulidos, que han pertenecido a mi colección.-



# DESCUBRIMIENTO DE LA RADIACIÓN NO TÉRMICA

por Cintia Peri

Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata,  
Instituto Argentino de Radioastronomía  
CONICET, Buenos Aires, Argentina  
Grupo FRINGE <http://fringe.iar.unlp.edu.ar/>  
Casilla de correo 5, Villa Elisa (1894) +54-221-425-4909  
[cintia@iar.unlp.edu.ar](mailto:cintia@iar.unlp.edu.ar); [cintiaperi@gmail.com](mailto:cintiaperi@gmail.com)

## *El espectro electromagnético: un fantasma que se dejó ver*

El ser humano comenzó a explorar los astros que veía brillar en el cielo mucho antes de definir claramente en forma teórica lo que la luz es. En el siglo XIX, gracias a James C. Maxwell y su desarrollo de la teoría de la electrodinámica, se pudieron vincular fenómenos físicos que hasta ese momento se consideraban independientes: la electricidad, el magnetismo y los fenómenos luminosos. Se comprendió entonces que la luz es una onda electromagnética que se propaga en el vacío con una velocidad de aproximadamente 300.000 km/s.

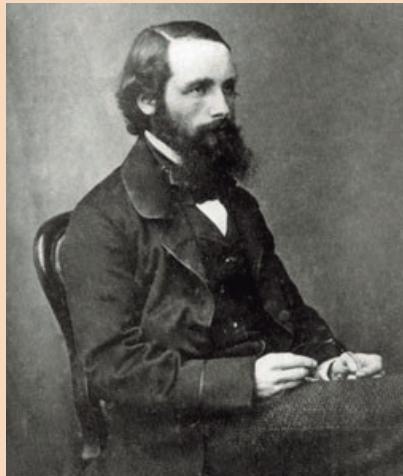


Figura 1: James C. Maxwell (1831-1879) desarrolló la teoría de la electrodinámica y dejó como legado uno de los más importantes descubrimientos de la física: la luz es una onda electromagnética.

Crédito: [http://www.memo.fr/en/article.aspx?ID=PER\\_CON\\_084](http://www.memo.fr/en/article.aspx?ID=PER_CON_084)

Además de poder ser interpretada como una onda, la luz posee la particularidad de ser identificada de una manera adicional: se la puede estudiar también como un conjunto de partículas llamadas fotones (individualmente, fotón). Tanto en el caso de ser interpretada como onda o en el caso de ser tenida en cuenta como fotones, se caracteriza a la luz por una longitud de onda determinada o equivalentemente frecuencia o energía.

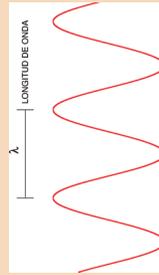


Figura 2: Onda caracterizada por su longitud de onda.  
Crédito: C. S. Peri.

La relación entre la energía y frecuencia de los fotones fue presentada por primera vez por Max Planck. Este físico alemán fue quien planteó que los fotones (o también llamados cuantos) de radiación poseen una energía  $E$  que está caracterizada por tomar ciertos valores específicos. Con esta idea, introdujo la constante de Planck  $h$ . Los fotones pueden tener solamente valores de energía  $E$  múltiplos de esta constante  $h$ . Este planteo y otros importantes avances de la física constituyeron el desarrollo, durante el siglo XX, de lo que se conoce como Mecánica Cuántica.

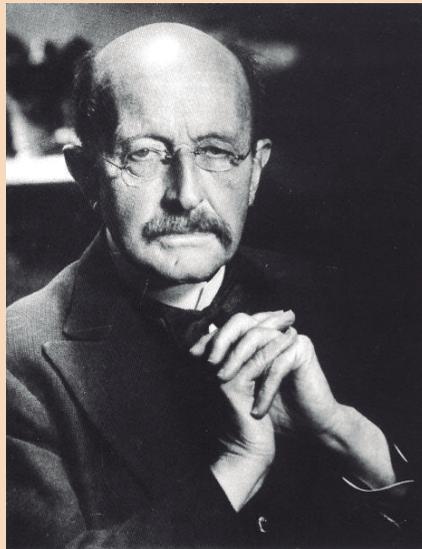


Figura 3: Max Planck (1858-1947) ganó el premio Nobel en 1918 (oficialmente entregado en 1919) en reconocimiento a los avances realizados en Física gracias al descubrimiento de la cuantización de la energía de los fotones.  
Crédito: <http://freethoughtalmanac.com/?p=2011>

El descubrimiento realizado por M. Planck es que la energía de los fotones es directamente proporcional a la frecuencia e inversamente proporcional a la longitud de onda. Las siguientes expresiones representan las relaciones entre energía, frecuencia y longitud de onda de los fotones, es decir, de la luz o radiación electromagnética.

## DESCUBRIMIENTO DE LA RADIACIÓN NO TÉRMICA

$$c = \lambda \nu$$

$$E = h \nu$$

$$E = h \frac{c}{\lambda}$$

$E$  : Energía  
 $\lambda$  : Longitud de onda  
 $\nu$  : Frecuencia  
 $c$  : Velocidad de la luz  
 $h$  : Constante de Planck

Figura 4: La primer expresión relaciona la velocidad de la luz con la frecuencia y longitud de onda de la luz. Luego, la segunda expresión fue la que expuso por primera vez Planck. Los fotones tienen energía en múltiplos de  $h$ , pues  $h$  es una constante fija, y el valor que puede variar en la frecuencia. Luego, se muestra la misma relación pero en función de la longitud de onda. Crédito: C. S. Peri.

Con los avances en el estudio de la luz y el desarrollo de la física sobre el tema, se pudo comprender y estudiar de manera completa lo que se conoce como espectro electromagnético. El espectro abarca todos los valores posibles de energía que la radiación electromagnética o luz puede tener. En la Figura 5 se puede observar que las longitudes de onda que abarca el espectro electromagnético se comparan con objetos conocidos. Además se muestra que en ciertos casos la radiación proveniente del espacio no atraviesa la atmósfera. Se puede ver que el intervalo de luz que el ser humano puede ver es en verdad una porción muy pequeña del total.

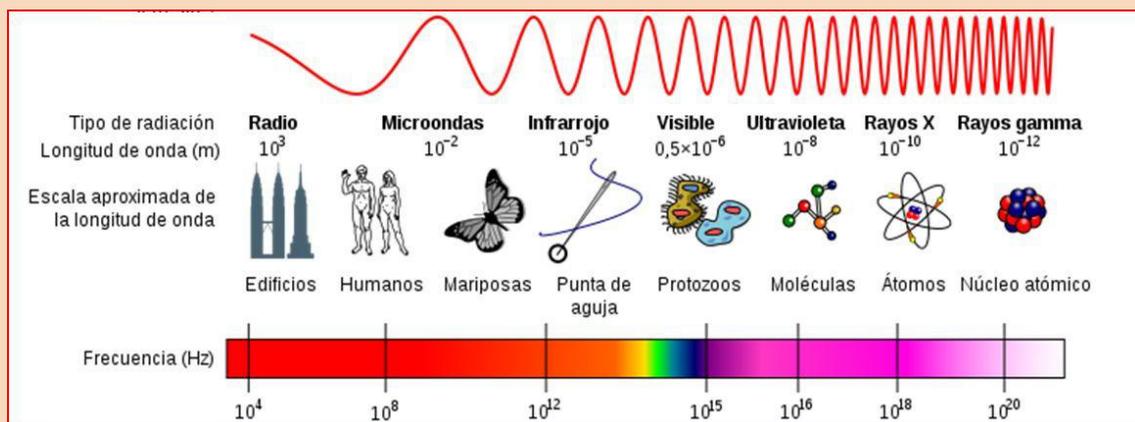


Figura 5: Gráfico del espectro electromagnético. Se muestra si la radiación penetra o no la atmósfera; las longitudes de onda, frecuencias y temperaturas, y los tamaños de objetos conocidos relacionados a escala con la longitud de onda de cada rango.

Crédito: [http://es.wikipedia.org/wiki/Espectro\\_electromagnético](http://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_electromagnético)

## DESCUBRIMIENTO DE LA RADIACIÓN NO TÉRMICA

Algunos ejemplos cotidianos de cuerpos que emiten radiación electromagnética son: los microondas, las antenas de televisión satelital (ondas de radio), las antenas proveedoras de telefonía celular (ondas de radio), emisores de rayos X que sirven para tomar radiografías, e incluso los humanos al igual que muchos animales emitimos ondas de bajas energías dada la temperatura que poseemos.

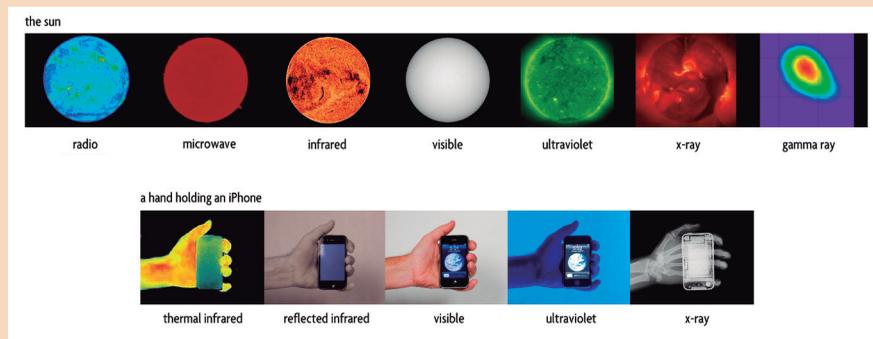


Figura 6: En la parte superior se muestra el Sol en diferentes longitudes de onda, desde la parte menos energética del espectro electromagnético (izquierda) hasta la más energética (derecha). En la parte inferior se puede apreciar lo mismo pero para el caso de una mano sosteniendo un teléfono celular. En ambos casos se pone en evidencia el hecho de que según en qué longitud de onda se observe un objeto mostrará diferentes imágenes.

Crédito: <http://www.flickr.com/photos/ideum/4052592541/>

Ahorabien, ¿cómo se genera la luz, es decir, la radiación electromagnética, en la naturaleza? O equivalentemente, ¿cómo se genera un fotón, o muchos fotones? Existen una gran cantidad de procesos físicos que producen fotones de diferentes energías. Estos procesos se dan en muchos objetos tanto en el cielo como en la Tierra. Los astrónomos y físicos estudian, entre otras cosas, la radiación que llega de diferentes sistemas astrofísicos del Universo. A través de estos estudios se deduce cuál es el tipo de objeto (o fuente) que origina la radiación y los procesos que la generan. La astronomía y la física están fuertemente vinculadas. De hecho, muchas teorías físicas fueron corroboradas gracias a observaciones astronómicas, ya que algunas condiciones que no se pueden reproducir en un laboratorio en la Tierra sí se dan más allá de la atmósfera.

### *¿Se observaba sin telescopios?*

Las observaciones astronómicas se realizan desde hace miles de años. Antiguamente, se confeccionaban registros a simple vista sin utilizar ningún tipo de detector más que el ojo humano. Ésto limitaba las observaciones al rango visual al no existir ningún otro tipo de detector en otras longitudes de onda. Existieron una serie de instrumentos que permitieron observar el cielo con más precisión, pero el mayor avance se dió en el siglo XVII con la creación del telescopio óptico.

## DESCUBRIMIENTO DE LA RADIACIÓN NO TÉRMICA

---

Si bien existían instrumentos similares al telescopio que se utilizaban con otras finalidades, Galileo Galilei fue quien adaptó la idea con el objetivo de poder ser aprovechado por la astronomía. Este deslumbrante científico, condenado por la Iglesia, realizó una gran cantidad de observaciones de objetos del Sistema Solar y obtuvo resultados asombrosos dada la época.

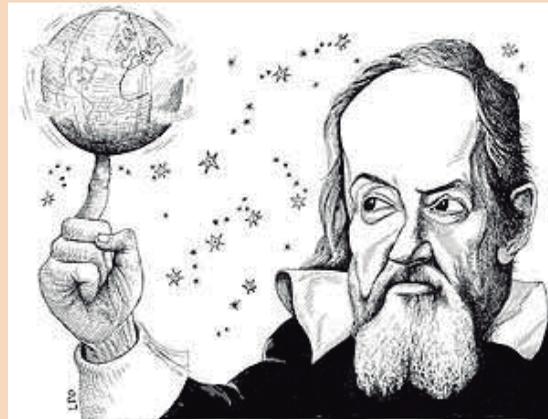


Figura 7: Dibujo de Galileo Galilei (1564-1642), revolucionó la astronomía observacional gracias a ser el pionero en la utilización del telescopio.

Crédito: <http://www.likeacheese.com.ar/eppur-si-muove>

La función más básica y elemental de un telescopio es la de aumentar los objetos celestes y de esa manera aparentan estar más cerca de lo que en realidad se encuentran. El telescopio colecta los fotones que los objetos luminosos emiten y luego estos fotones pasan por un tubo que contiene un juego de lentes. Las lentes forman la imagen aumentada en un punto que se conoce como foco. Otra manera de construir telescopios en el rango óptico es utilizando espejos. Los telescopios que utilizan espejos para recojer la radiación emitida por objeto celestes funcionan de forma similar a los telescopios que utilizan lentes.

Con estos instrumentos se pudieron ver fuentes de radiación hasta ese momento desconocidas. A medida que transcurrió el tiempo, se crearon técnicas que permitieron registrar las observaciones; por ejemplo, la astronomía fotográfica. Se tomaban imágenes en placas fotográficas que se podían archivar y luego estudiar las veces que fuese necesario, y de manera objetiva. En la actualidad, el registro de datos se realiza en forma digital y se archiva directamente en computadoras.

Si bien la invención del telescopio óptico sofisticó de manera considerable las observaciones y sucesivos estudios, el relevamiento de información seguía realizándose en el rango visual, con un pequeño rango en infrarrojo y ultravioleta. La investigación de la astrofísica en el rango óptico del espectro electromagnético fue hasta el siglo XIX la más estudiada y conocida. Existían una gran cantidad de trabajos que reunían vasta información sobre diferentes sistemas astrofísicos y modelos físicos asociados a su

---

estructura, origen, evolución y radiación. No se contaba con datos astronómicos de radiación en otras longitudes de onda del espectro electromagnético, bien porque la luz no atravesaba la atmósfera, o bien porque no existían instrumentos que captaran ondas en otros rangos de energía diferentes al visual.

Durante el siglo XX la astronomía comenzó a abrirse paso a través de todo el espectro electromagnético, sobre todo luego de la Segunda Guerra Mundial. El avance de la astronomía y de muchas áreas de la ciencia va de la mano con el avance tecnológico. Actualmente se realizan observaciones en casi todas las longitudes de onda y cada rango de energía en el cual se observa presenta diferentes desafíos, tanto teóricos como prácticos, que deben ser profundamente estudiados para poder obtener la mejor y mayor cantidad de información posible.

### *La radiación térmica, ¿quema?*

*Describiremos lo que se conoce como radiación de cuerpo negro, o radiación térmica.*

Un sistema de partículas, por ejemplo átomos que componen un gas, se encuentra en equilibrio termodinámico si todas sus partículas están aproximadamente a la misma temperatura. Si un sistema se encuentra en ese estado, se lo puede identificar con una temperatura característica y además genera (o emite) un tipo de radiación conocida como la de “cuerpo negro”. Este cuerpo negro emite fotones que pueden tener diferentes valores de energía y, para cada valor de energía, existe una cantidad diferente de fotones correspondientes. La emisión (o radiación) de cuerpo negro puede ser representada en forma gráfica con una función que depende de la frecuencia, para una temperatura fija. A continuación podemos ver una figura donde se grafica la curva para diferentes temperaturas. La curva se suele conocer como “planckiana” gracias a su descubridor M. Planck.

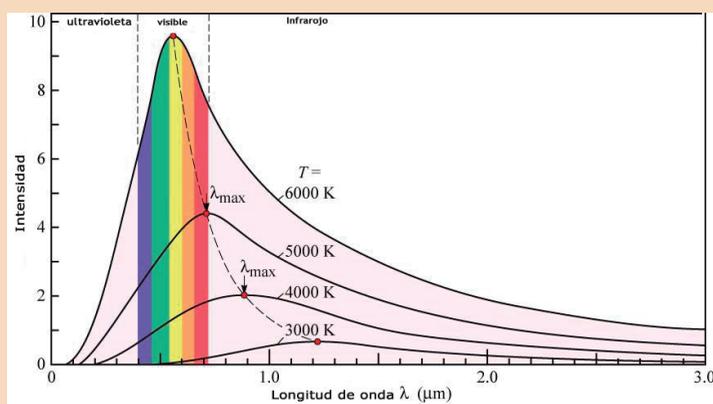


Figura 8: Gráfico de distintas curvas que representan la radiación de cuerpo negro, para sistemas en equilibrio termodinámico a diferentes temperaturas. La longitud de onda se encuentra en el eje horizontal (en micrómetros), y para cada valor de ella existe un valor dado de intensidad para la radiación sultante, o equivalentemente, una dada cantidad de fotones. Se puede realizar un gráfico equivalente pero con la frecuencia o energía en el eje horizontal, racias a las relaciones que existen entre ellas y hemos expuesto anteriormente.

Crédito: <http://www.jpereira.net/gestion-de-color/calibracion-del-monitor-tft-correccion-gamma-luminancia>

## DESCUBRIMIENTO DE LA RADIACIÓN NO TÉRMICA

¿Cómo se interpreta este gráfico? Supongamos que existe un sistema con una temperatura dada, fija. Si conocemos esa temperatura obtenemos la curva correspondiente. Luego, uno puede preguntarse cuál es la cantidad de fotones de una dada energía (o frecuencia, o longitud de onda). Pues bien, se busca esa frecuencia en el eje horizontal y se halla el valor buscado en el eje vertical. Este valor se puede estimar gráficamente o, si se busca mayor precisión, puede calcularse analíticamente.

¿Cómo se trabaja en la práctica? Se observa una fuente de radiación en una o varias frecuencias y se mide la cantidad de fotones en cada una de esas frecuencias. De esta manera se obtienen puntos en un gráfico como el que mostramos anteriormente. Luego, se estudia cuál es la mejor “planckiana” que aproxima esos puntos (se halla la temperatura correspondiente). En la Figura 9 podemos ver el caso del Sol. La línea irregular negra representa los datos medidos, y la línea verde es la curva de cuerpo negro que mejor se le aproxima, es la que tiene una temperatura de alrededor de 5777 grados Kelvin.

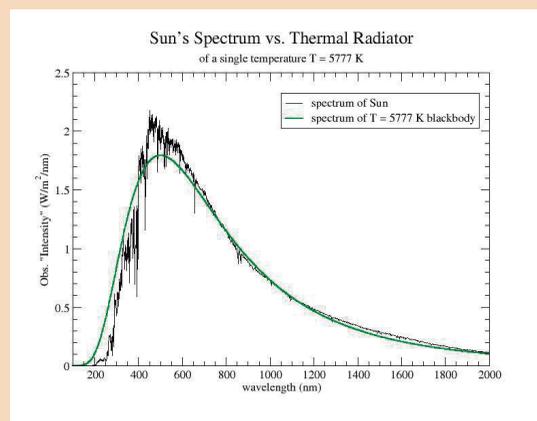


Figura 9: La emisión real del Sol se halla graficada en línea negra, y el espectro de un cuerpo negro a aproximadamente 5800 grados Kelvin se halla representado en color verde.

Crédito: [http://homepages.wmich.edu/~korista/sun-images/solar\\_specbb.jpg](http://homepages.wmich.edu/~korista/sun-images/solar_specbb.jpg)

Este tipo de radiación no es la única que existe, pero era la que mayormente se observaba durante la exploración del rango visual del espectro electromagnético. La mayoría de las fuentes que se observaban eran estrellas, sus atmósferas, y conjuntos de estrellas. Quedaban ocultas muchísimas fuentes de radiación que en la actualidad se observan y estudian. Otro ingrediente que influía en la ocultación de muchos objetos es el material interestelar. Este material no forma las estrellas sino que por el contrario está entre ellas, y en algunos casos, está concentrado en zonas más densas. Así es que una gran parte de la radiación se ocultaba detrás de este material e impedía revelar una gran cantidad de fuentes.

A continuación veremos cómo la radioastronomía tuvo influencia en el descubrimiento de otro tipo de fuentes y radiación.

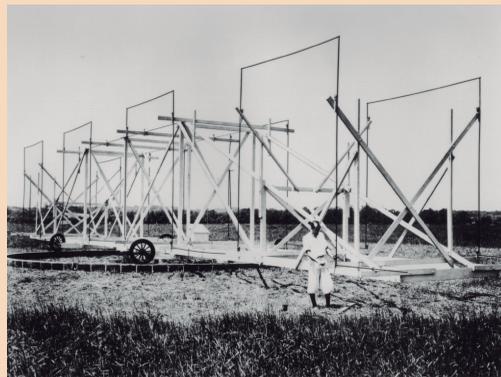
## Una reseña histórica de la radioastronomía

Las ondas de radio, de menor energía que las visuales, fueron predichas por medio de estudios teóricos mucho tiempo antes de ser detectadas. A diferencia del rango visual, se utilizan antenas para detectar este tipo de ondas. La gran ventaja que presentan las ondas de radio es que permiten ver a través del medio interestelar, complementando así en gran parte a las fuentes visibles sólo en el rango óptico.

Las ondas de radio son emitidas y recibidas en la mayoría de los dispositivos de telecomunicaciones que utilizamos diariamente. Ésto es así desde principios del siglo XX. En 1931, K. G. Jansky trabajaba en los laboratorios Bell de comunicaciones cuando se le encargó determinar los niveles de radiointerferencia en la longitud de onda de 14,6 metros. Jansky detectó por primera vez ondas de radio provenientes del espacio exterior y lo hizo en un contexto alejado de la astrofísica.



FIG. 1—Karl Guthe Jansky, about 1933.



*Figura 10: Karl Guthe Jansky (1905 – 1950), físico e ingeniero estadounidense. Fue el primero en detectar ondas de radio provenientes del cielo, en el año 1931. Realizó las mediciones en el contexto de las telecomunicaciones, trabajando para los laboratorios Bell, totalmente alejado de la astronomía. En la foto de la derecha se muestra la antena con la que trabajaba.*

*Crédito: [http://www.nrao.edu/whatisra/hist\\_jansky-s.shtml](http://www.nrao.edu/whatisra/hist_jansky-s.shtml)*

En la misma década, unos años más tarde, G. Reber construyó una radioantena en su patio con la cual observó el cielo. Realizó mediciones a frecuencias más bajas (del orden de cm) que Jansky, las cuales finalizó en 1937. En 1940 sus resultados fueron publicados en la revista científica *The Astrophysical Journal*. Otro artículo de Reber donde se mostraban mapas de todo el cielo en radio fue publicado en 1944 por la misma revista. A pesar de las duras condiciones que atravesaban los científicos en ese momento debido a la Segunda Guerra Mundial, astrónomos alemanes como J. Oort y H. van de Hulst pudieron realizar más investigaciones en radio. Inspirados por los grandes descubrimientos de Jansky y Reber descubrieron líneas espectrales (un tipo especial de radia-

## DESCUBRIMIENTO DE LA RADIACIÓN NO TÉRMICA

ción) en la banda de radio. Pudieron vincular este descubrimiento al movimiento del material presente en la Galaxia. Paralelamente en la Unión Soviética (Shklovsky, 1949) también se estudiaban líneas espectrales. Se publicaron trabajos aún más innovadores que los realizados hasta el momento.

Se realizaban además, en ese momento, observaciones del Sol en radio. Reber fue el primero en publicar datos del Sol en 1944, pero fue en 1942 en los laboratorios Bell que Southworth detectó radiación térmica proveniente del Sol, lo cual fue publicado luego de la guerra en 1945. Al mismo tiempo Heyen Inglaterra descubrió que ciertas fuentes de radiación que se creía eran 'el enemigo', eran en verdad manchas solares. Al igual que el trabajo de Reber, esta investigación no fue publicada hasta 1945. Hey declaró que la emisión no parecía tener origen térmico. Luego de la Segunda Guerra Mundial la radioastronomía comenzó a desarrollarse abiertamente y en forma vigorosa en la comunidad científica.

### *¡Eureka! ¡Radiación no térmica! ¡*

Luego de estos trabajos, dos grupos comenzaron a estudiar de cerca al Sol, en Sydney y Cambridge. En esos tiempos se desarrolló lo que se conoce como radiointerferometría: se utilizaba más extragalácticas (fuera de la Vía Láctea, la galaxia que nos aloja), y cada vez más lejanas. Una vez más, parecían detectarse fuentes que no se podían explicar por medio de la radiación térmica o de cuerpo negro. Por ejemplo, entre las fuentes que se observaron, las más brillantes resultaron ser un remanente de supernova llamado Cassiopeia A, y una galaxia llamada Cygnus A. Un remanente de supernova es una estrella de mucha masa, muy evolucionada, que explota violentamente; y, una galaxia, es un conjunto de millones de estrellas.

Todo esto sembró dudas sobre la radiación que se conocía hasta el momento. Se había detectado un tipo de emisión que no era térmica pero no se comprendía del todo qué era.

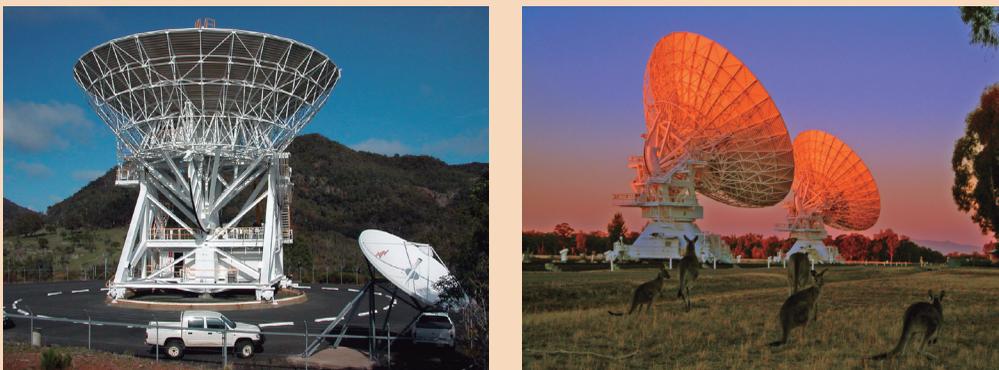


Figura 11: A la izquierda una foto de un radiotelescopio compuesto por una sola antena (MOPRA), que se suele llamar de 'disco simple'. A la derecha imagen de un radiointerferómetro (ATCA), compuesto por más de una antena. Ambos pertenecen al conjunto de observatorios australianos llamado ATNF (Australia Telescope National Facility).

Crédito: <http://www.mdahlem.net/astro/obs/radio/mopra.php> y

<http://www.flickr.com/photos/angelrls/375809875/in/set-72157594510409158>

## DESCUBRIMIENTO DE LA RADIACIÓN NO TÉRMICA

En líneas generales, aparecían dos tipos de fuentes: un grupo de fuentes donde la emisión (o radiación) de fotones crecía con la frecuencia y otro grupo donde decrecía. Las del primer tipo, es decir, las fuentes que incrementan su emisión con la frecuencia, podían ser identificadas con fuentes conocidas en el rango visual; por ejemplo, la Luna. A estas fuentes que ya habían sido estudiadas en el rango visual, se las podía ajustar en muy buena aproximación al modelo de cuerpo negro y por ende se las llamó 'térmicas'. Al resto de las fuentes se las llamó 'no térmicas'.

Para poder comprender en mayor profundidad los procesos físicos que daban origen a los fotones en radioondas, se comenzaron a vincular diferentes teorías y modelos físicos ya desarrollados. Luego de algunos años de controversia y dudas, se llegó a la conclusión de que los procesos físicos que generan la mayoría de la emisión en radio están vinculados a electrones libres (una de las partículas elementales que forma parte de los átomos. Se caracteriza por tener carga negativa) interactuando con algún otro componente. Existen dos tipos de procesos que dominan la emisión que se observa en el rango de radio: Bremsstrahlung (o emisión libre-libre) y sincrotrón (al principio conocida como Bremsstrahlung magnético).

Al estudiar un electrón acelerado (y luego varios), en interacción con iones (partícula que posee carga positiva) se pudo comprender que el proceso conocido como Bremsstrahlung explica la radiación a bajas energías en el rango de radio. Ahora bien, no se podía entender del todo cuál era el origen de la radiación de más alta energía en radio, la no térmica. El proceso conocido como sincrotrón es el que explica este tipo de fotones de mayor energía. En este caso, los electrones poseen velocidades mucho mayores que en el caso anterior e interactúan con campos magnéticos pero no con iones. Las velocidades que los electrones poseen son cercanas a la velocidad de la luz. Es importante remarcar que ninguna partícula puede poseer una velocidad mayor a la de la luz, lo cual se desprende de la Teoría de la Relatividad desarrollada por Albert Einstein. Es así que si una partícula posee una velocidad cercana a la de la luz, podemos decir que ¡es muy veloz!

En conclusión, se pudo asociar el proceso Bremsstrahlung a la emisión térmica, y el sincrotrón a la no térmica, en el rango de radioondas.

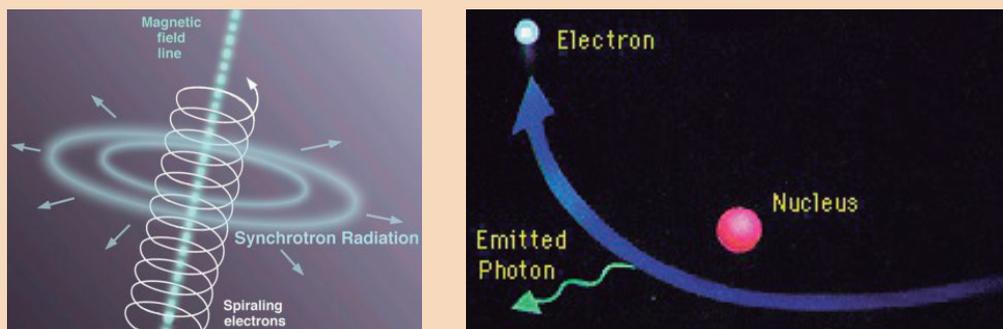


Figura 12: Izquierda: esquema ilustrativo del proceso sincrotrón. La línea punteada representa el campo magnético y la hélice la trayectoria de los electrones. Las flechas externas indican que se han producido fotones, es decir, radiación. Derecha: esquema del proceso Bremsstrahlung. El núcleo pertenece a algún tomo de materia y el electrón libre pasa cerca del átomo con cierta velocidad y es así como se producen fotones.

Crédito: <http://astronomyonline.org/Stars/SupernovaRemnant.asp> y [http://imagine.gsfc.nasa.gov/docs/science/how\\_12/xray\\_generation\\_el.html](http://imagine.gsfc.nasa.gov/docs/science/how_12/xray_generation_el.html)



## DESCUBRIMIENTO DE LA RADIACIÓN NO TÉRMICA

---

Hacia el año 1954, la radioastronomía constituía una nueva y consolidada rama de la astrofísica. Se planeaban grandes proyectos y ambiciosos instrumentos, se observaban gran cantidad de fuentes y así comenzó la copiosa exploración de una porción del espectro electromagnético hasta ese momento apenas conocida.

### *Flamantes descubrimientos que sembraron nuevos interrogantes*

Si bien la radiación sincrotrón permitió explicar la existencia de los fotones más energéticos en el rango de radio, existían fuentes que poseían energías aún más altas, superando las dadas en radio y óptico.

La radiación térmica explica la generación de fotones en un sistema en equilibrio termodinámico que se puede caracterizar por una dada temperatura. Pero, ¿que valores de temperatura podemos encontrar en el Universo que conocemos?, y además, ¿cuál es el valor máximo que puede tener un fotón generado por un sistema de tipo cuerpo negro en el Universo? Tomemos un ejemplo concreto. Supongamos que observamos un fotón que posee una energía muy alta, con lo cual entra en el rango de altas energías, llamado también gamma. Si a este fotón lo interpretamos como de origen térmico, por medio de la ley de Planck llegamos a la conclusión de que debe provenir de un sistema cuya temperatura en equilibrio debe rondar los  $10^{13}$  grados Kelvin, o sea, 10.000.000.000.000 de grados. Este valor no es típico de objetos astrofísicos en equilibrio termodinámico y esa temperatura se daría solamente durante breves lapsos de tiempo, por ejemplo durante el Big Bang.

¿Cómo se explicaban entonces estos fotones de altas energías? No podían ser explicados por la radiación térmica, ni por la no térmica, a pesar de ser la respuesta a otros problemas.

Otra pregunta que había surgido era cómo se aceleraban partículas hasta velocidades relativistas, dado que son las velocidades más grandes que las partículas que componen la materia pueden tener. Por ejemplo, la radiación generada en el proceso sincrotrón se produce en la interacción de electrones relativistas con campos magnéticos. Pero, ¿cómo llegan los electrones a tener esas velocidades?, ¿qué los acelera? Estos interrogantes hicieron que la astrofísica de altas energías pudiese comenzar a ser explorada mediante el estudio de objetos que emiten radioondas. Ésto generó un avance considerable en relación a fuentes observables que podían ser origen de muchos fotones de altas energías.

### *Astronomía de altas energías, una historia en paralelo*

Aunque la radioastronomía tuvo gran influencia en el avance de la astrofísica relativista (o de altas energías), ésta tuvo en sus principios un desarrollo independiente. La astronomía de altas energías es la que estudia los fotones más energéticos del espectro electromagnético (gamma) y los procesos físicos y objetos que los generan.

---



## DESCUBRIMIENTO DE LA RADIACIÓN NO TÉRMICA

---

En el año 1900, Villard asoció los rayos gamma con un tipo de radiación que no se veía afectada por campos magnéticos. Luego de 14 años se pudo dilucidar cuál era la longitud de onda de esa radiación: Rutherford y Andrade pudieron medir su valor por medio de experimentos en el laboratorio. Millikan fue el que sugirió por primera vez que los rayos gamma se podían identificar con los rayos cósmicos, que es otro tipo de radiación que en ese momento no se comprendía del todo. Esta idea fue luego descartada.

En el año 1949 se descubrió una partícula llamada pión neutro, y en el año 1952 Hayakawa predijo que la interacción de rayos cósmicos con el medio interestelar debería producir piones neutros y luego éstos generar rayos gamma. En el mismo año, Hutchinson estimó la emisión de fotones gamma esperada que produciría el material de la galaxia por medio del proceso Bremsstrahlung. Fue entonces que resurgió el interés por la posible existencia de fuentes de fotones gamma galácticas. El trabajo definitivo en este sentido fue el realizado por Morrison en 1958, donde calculaba la emisión gamma esperada de una cierta cantidad de sistemas astrofísicos. A pesar de que existían esperanzas, la tecnología desarrollada no era suficiente. A diferencia de la astronomía gamma, la astronomía de rayos X (fotones menos energéticos que los gamma) pudo comenzar su desarrollo en los '60.

¿Cuáles eran los problemas para detectar fotones gamma? Recordemos de la Figura 5 donde se expone el espectro electromagnético, que los fotones gamma son generados a nivel atómico, es decir, los procesos físicos que los producen están relacionados a interacciones entre partículas (elementales o compuestas, pero de cualquier manera, en dimensiones muy pequeñas). Así es que las longitudes de onda de estos fotones son del orden de los átomos o aún menores. Pero, ¿estos fotones atraviesan la atmósfera? No. Peor aún, ¡pueden interactuar con ella!

Los fotones gamma no sólo pueden interactuar con las partículas de la atmósfera, sino que también pueden hacerlo con el material de los detectores desarrollados con el fin de registrarlos. De esta manera, los fotones gamma que provienen de fuentes en el cielo pueden producir fotones gamma nuevos, entonces... ¿cómo se hace para detectarlos?

Pero hay más problemas aún. La existencia de los rayos cósmicos (partículas que provienen del cielo, aún hoy día muy estudiadas) provoca algo similar a lo que producen los rayos gamma: interacciones con el material de la atmósfera o de los detectores. Pero, ¿otra vez lo mismo? ¿más fotones gamma nuevos? Así es.

La separación de estas contribuciones secundarias respecto de las objetos celestes que producen rayos gamma fue y es uno de los grandes desafíos de la astrofísica de altas energías.

Remontémonos a los '50 o '60, ¿cómo se hizo? La detección de estos escapadizos fotones hizo necesaria la utilización de satélites que superaran la altura de la atmósfera o alguna otra manera de detectarlos. Mientras se avanzaba en este sentido y la tecnolo-

## DESCUBRIMIENTO DE LA RADIACIÓN NO TÉRMICA

gía continuaba su desarrollo, se seguían desarrollando modelos y trabajos sobre la astronomía gamma.

En los '50 se realizaban detecciones desde globos, pero las contribuciones atmosféricas predominaban en las observaciones y ocultaban las fuentes cósmicas de rayos gamma. En 1965 un detector a bordo del satélite Explorer 11 detectó fotones gamma del cielo por primera vez comprobando que los de la atmósfera los superaban en un factor 10. La segunda gran detección se realizó en 1967 y la mayor parte de la emisión provenía del centro de la Vía Láctea.

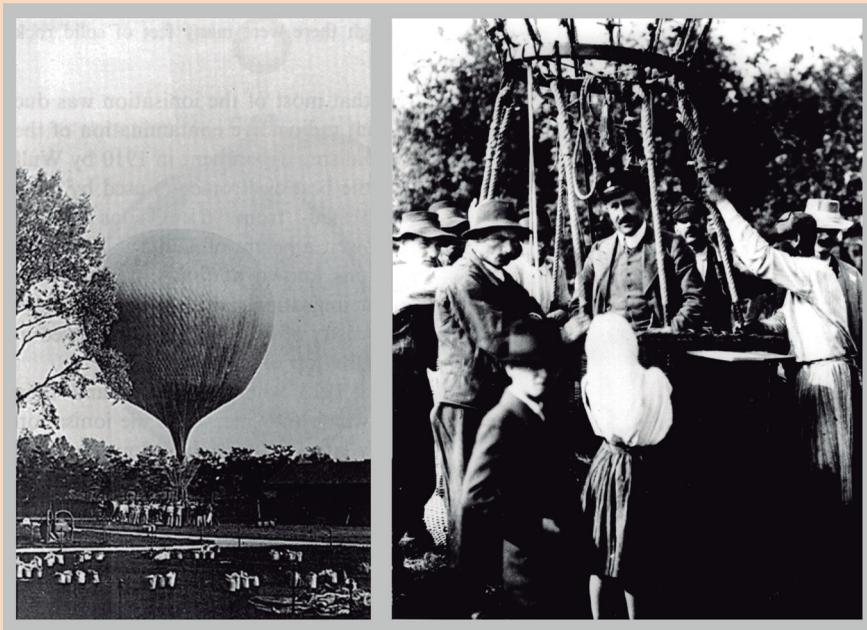


Figura 13: Victor Hess (1883-1964), a bordo de unos de los globos desde los cuales realizaba mediciones. Ganó el premio Nobel en 1936 por las contribuciones realizadas en el área de radiación cósmica. Investigó una gran variedad de temas, pero siempre orientado a la astrofísica de altas energías.

Crédito: [http://lphess.in2p3.fr/HESS/sections/public\\_section/astromie\\_gamma/pictures/victor-hess](http://lphess.in2p3.fr/HESS/sections/public_section/astromie_gamma/pictures/victor-hess)

En los '70 un conjunto de satélites militares llamados Vela monitoreaban 'explosiones' de rayos gamma y fue así como de forma casual se descubrió un tipo de fuente astrofísica eruptiva de rayos gamma. Actualmente se conocen estas fuentes como gamma-ray burst (GRB) por su nombre en el inglés, y son ampliamente estudiadas y monitoreadas.

Al mismo tiempo se crearon las 'cámaras de chispas', detectores que se utilizaban a bordo de satélites también. Este tipo de detectores significaron un paso hacia adelante en la astronomía de rayos gamma. No entraremos en detalle sobre el diseño y funcionamiento, sólo diremos que poseen gases como argón o neón los cuales al recibir un fotón gamma producen nuevas partículas. Luego, esas partículas son estudiadas y así de manera indirecta se analizan los fotones que arribaron inicialmente.

Los instrumentos más importantes que utilizaron este tipo de tecnología fueron:



## DESCUBRIMIENTO DE LA RADIACIÓN NO TÉRMICA

---

·SAS-II funcionó en los '70 y detectó alrededor de 8.000 fotones gamma, una gran cantidad para el momento. No sólo halló emisión hacia la Vía Láctea, sino que observó dos pulsars ('sobrantes' de explosiones de supernovas) que tienen su contraparte en radio, es decir, emiten fotones en radio.

·COS-B funcionó en los '70 y '80 y detectó alrededor de 200.000 fotones gamma. Se publicaron mapas de todo el cielo, y unas 25 fuentes gamma fueron observadas. De estas 25, unas 20 no podían ser identificadas con otras fuentes conocidas en ese momento.

·EGRET se encontraba a bordo del Observatorio de rayos gamma Compton, el cual acarrea más instrumentos. Compton fue el instrumento más pesado jamás lanzado al espacio hasta ese momento. Funcionó en los '90 y fue el primero en realizar un relevamiento en gamma completo de todo el cielo. Detectó, oficialmente publicadas, unas 271 fuentes de rayos gamma.



Figura 14: Imagen real del Observatorio Compton, lanzado por NASA. Contenia varios detectores de altas energías que estudiaban diferentes tipos de fotones.

Crédito: <http://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/cgro/>

El conjunto de instrumentos que viajaban en el observatorio Compton, incluido EGRET, develó una gran variedad de fuentes gamma. Este observatorio significó un espectacular avance en la astronomía gamma a la vez que sembró nuevos interrogantes. Por ejemplo, más de la mitad de las 271 fuentes EGRET publicadas oficialmente en su tercer catálogo de 1999 no han sido identificadas, es decir, no se las ha podido relacionar a sistemas astrofísicos conocidos y detectados por otros instrumentos en otras longitudes de onda.

Actualmente uno de los instrumentos más importantes en funcionamiento es el 'Large Area Telescope' (LAT) que se encuentra a bordo de un satélite de rayos gamma llamado Fermi en honor al físico ganador del premio Nobel que llevaba ese apellido, Enrico Fermi (1901-1954). Originalmente el nombre del telescopio espacial era GLAST

## DESCUBRIMIENTO DE LA RADIACIÓN NO TÉRMICA

(Gamma-Ray Large Area Space Telescope) pero luego fue cambiado. Fue lanzado por la NASA al espacio en el 2008, y pertenece a una colaboración internacional de varios países. El catálogo más actual publicado por la colaboración cuenta con el asombroso número de más de 1800 fuentes de rayos gamma detectadas. Además de la observación desde satélites se desarrollaron técnicas para poder observar fotones gamma desde la Tierra, lo cual es posible solamente para los fotones más energéticos. Este subárea de la astronomía de altas energías se conoce como 'VHE astronomy' (very high energy: de muy alta energía). Cuando uno de estos fotones llega a la atmósfera e interactúa con ella, produce nuevas partículas y éstas a su vez generan lo que se conoce como radiación Cherenkov, la cual puede llegar hasta el suelo. Observando esta radiación se puede entonces inferir que un fotón gamma muy energético ha llegado a nosotros desde alguna fuente celeste. Los telescopios Cherenkov cuentan con dispositivos que multiplican la intensidad de la radiación incidente ya que ésta puede ser muy débil.

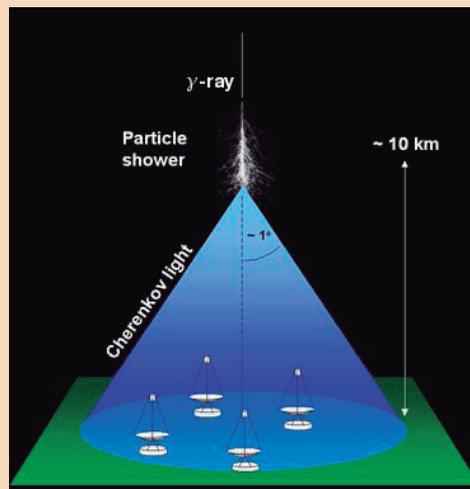


Figura 15: Un esquema de la radiación Cherenkov producida por un rayo gamma que arriba a la Tierra. Se pueden ver las escalas de distancias en las que se producen los procesos físicos involucrados.

Crédito: <http://www.dur.ac.uk/~dph0www4/ground.php>

El primer descubrimiento relevante realizado con un instrumento de este tipo se llevó a cabo en 1989 con el telescopio Whipple, actualmente reemplazado por VERITAS. Además existen HESS, CANGAROO II y MAGIC. Actualmente se encuentran en desarrollo telescopios de tipo Cherenkov aún más sofisticados y que permitirán mejorar las condiciones de observación. Uno de ellos es el CTA (Cherenkov Telescope Array), un arreglo de 100 telescopios, sin precedentes hasta el momento.

La astronomía de rayos gamma, desde los '50 en adelante, no sólo ha superado los problemas técnicos que la frenaban, sino que ha avanzado un gran trecho en lo que concierne al desarrollo de modelos teóricos y descubrimiento de gran cantidad de fuentes de fotones de altas energías. Existen actualmente extensos catálogos de fuentes gamma, entre las cuales se hallan galaxias de varios tipos, estrellas evolucionadas conoci-



## DESCUBRIMIENTO DE LA RADIACIÓN NO TÉRMICA

---

das como pulsars, candidatos a agujeros negros galácticos, candidatos a agujeros negros supermasivos extragalácticos, remanentes de supernova y estrellas con choque de vientos, 'bow shocks' estelares (producidos por estrellas de alta velocidad), entre otros. Se han desarrollado ampliamente muchos temas, pero lo que respecta a procesos que generan radiación (conocidos como radiativos) es lo que nos interesa abordar.

Recordemos que para el caso de objetos que emiten radioondas hemos mencionado *Bremstrahlung* y sincrotrón como los principales procesos físicos que generan fotones en esas longitudes de onda. En el caso de la astronomía de altas energías hemos visto que los fotones son no térmicos, pero, ¿qué procesos los generan? Se los suele conocer como 'procesos radiativos no térmicos' y lejos de ser solamente dos, como los más importantes en el rango de radio, son muchos más.

Todos estos procesos tienen algo en común: partículas relativistas en interacción con alguna componente extra. Esta segunda componente puede ser: campos magnéticos, materia o un campo de fotones. Los diferentes procesos radiativos dependen de distintos parámetros. Por ejemplo, para el proceso sincrotrón, la cantidad de fotones que se genere a diferentes valores de energía depende principalmente del campo magnético. En el caso de algún proceso donde esté involucrado el material interestelar, los fotones resultantes dependerán de la densidad de la materia; así, en cada proceso, tendremos un parámetro determinante (o más de uno) que afectará directamente en la emisión esperada.

Este tipo de estudio es muy común actualmente en la astronomía gamma, y una de las aristas más interesantes de las fuentes de altas energías es la presencia de partículas relativistas, que poseen velocidades cercanas a la de la luz. Estas partículas no solamente generan fotones de los más energéticos que existen en el Universo sino que están ligadas a algo más: algo que las aceleró. Estos 'motores' de aceleración son una de las componentes más llamativas que posee esta rama de la astronomía. ¿Qué es lo que acelera estas partículas? Se han desarrollado modelos para poder explicar el origen de las altas velocidades, y en muchos casos las observaciones están casi en completa concordancia con los modelos, pero en muchos otros no está tan claro. Aún queda un gran camino por recorrer.

### *Bajas y altas energías: lejos pero cerca*

La radioastronomía estudia la porción menos energética del espectro electromagnético, y, por otro lado, la astronomía gamma tiene bien merecido su nombre de astronomía de altas energías ya que se ocupa de los fotones de mayor energía del espectro. Pero, concretamente, ¿cómo se relacionan los fotones de bajas y altas energías?

Se utiliza un argumento muy sencillo para vincularlas. Tendremos en cuenta las ideas más básicas dejando de lado algunos detalles para evitar complejidad en el texto. Supongamos que se observa una fuente de emisión en radio y se llega a la conclusión de que su radiación es no térmica. Como hemos visto, el proceso sincrotrón es el que explica este tipo de emisión en radio. Los fotones no térmicos generados se producen en la interac-



## DESCUBRIMIENTO DE LA RADIACIÓN NO TÉRMICA

---

ción entre electrones relativistas y un campo magnético. Por lo tanto, podemos decir que si observamos emisión sincrotrón en radio, encontramos una evidencia de la presencia de partículas relativistas, es el caso de radio electrones, pero si se aceleraron electrones, puede haber otras partículas como protones, entre otras. Con estas hipótesis, más el conocimiento de los parámetros que necesitamos, que obtenemos por medio de las observaciones, podemos estimar la emisión esperada que producen los diferentes procesos radiativos no térmicos que producen fotones de altas energías (en el caso de sincrotrón también de bajas energías). El Grupo de Astrofísica Relativista y Radioastronomía (GARRA), del cual formo parte, se encarga de estudiar este aspecto de muchas fuentes astrofísicas, entre muchos otros temas (<http://www.iar.unlp.edu.ar/garra/>).

### *¿Conclusiones?*

La radiación térmica es la que se conoce como radiación de cuerpo negro (Planck). Es generada por un sistema en equilibrio termodinámico caracterizado por una temperatura dada, y puede generar fotones con energías que llegan sólo hasta el rango de los rayos X. La radiación no térmica es generada por sistemas fuera de equilibrio termodinámico, y que tienen por lo menos dos componentes: partículas relativistas más algún campo magnético, de fotones, o materia. Los fotones no térmicos, generados por una gran variedad de procesos, abarcan todo el espectro electromagnético, desde radio hasta gamma.

Las fuentes que emiten fotones de altas energías no sólo pueden explicar los procesos no térmicos y los fotones de mayor energía, sino que también sirven para testear teorías físicas que en otro tipo de fuentes no se podrían testear, así como tampoco en laboratorios terrestres. Estos sistemas poseen condiciones extremas que crean el ambiente necesario para que todo los estudios sean llevados a cabo con éxito.

Las fuentes de rayos gamma, además, poseen aceleradores de partículas de los más eficientes que existen en el Universo, impulsando partículas que alcanzan velocidades cercanas a la de la luz y luego generan fotones de los más energéticos que se hayan observado.

En este texto hemos realizado un engañoso 'breve' repaso por los inicios de la historia de la astronomía de bajas y altas energías, radio y gamma respectivamente. Además, hemos visto cómo se relacionan estas dos ramas, extremas en lo que respecta a las energías del espectro electromagnético. Más allá de los conceptos físicos, nuevos para algunos y conocidos para otros, quisiera remarcar el hecho de que la historia de la Astronomía se está desarrollando en este momento, día a día.

No nos es necesario viajar en el tiempo 5000 años hacia atrás (si es posible o no, consultarlo con los expertos, por ejemplo, el Dr. G. E. Romero) para poder apreciar grandes avances en la ciencia: se están dando ahora.

En general tendemos al pensamiento de que está todo hecho, de que todo ha sido descu-

---



## DESCUBRIMIENTO DE LA RADIACIÓN NO TÉRMICA

---

bierto, pero la realidad es que estamos lejos de ello. Se puede llegar a esta idea con abordar apenas una pequeña parte de la inmensidad de áreas que abarca la Astronomía. Sin ir más lejos, lo hemos hecho en este artículo. Imaginemos qué pasaría si exploramos otras áreas: los interrogantes se seguirían acumulando en un sin fin de preguntas sin respuestas. Y más aún si nos aventuramos a otras áreas de la ciencia.

El método científico es la respuesta a muchos cuestionamientos, pero a la vez que sacia nuestras dudas nos permite seguir alimentando nuestra curiosidad y búsqueda de nuevas respuestas, que una vez más, generarán nuevos interrogantes. Es una 'historia sin fin'.

Espero hayan disfrutado de la lectura, no haberlos aburrido, y que se haya comprendido el texto.

### Bibliografía:

- \* Tools of Radio Astronomy, Kristen Rohlfs, 1990. Astronomy and Astrophysics Library, Springer-Verlag.
- \* An Introduction to Radio Astronomy, B. F. Burke F. Graham-Smith, 1997. Cambridge University Press.
- \* The origin of cosmic rays, V. L. Ginzburg y S. I. Syrovatskii, 1964. The Macmillan Company (New York, USA) y Pergamon Press Limited (Oxford, England).
- \* Van Dyk, S. D., Zheng, W., Clubb, K. I., Filippenko, A. V., Cenko, S. B., Smith, N., Fox, O. D., Kelly, P. L., Shivvers, I., Ganeshalingam, M. 2013. "The Progenitor of Supernova 2011dh has Vanished". The Astrophysical Journal 772, L32.
- \* Introducción a la Astrofísica Relativista, G. E. Romero y J. M. Paredes, 2011. Textos docentes, Universidad de Barcelona.
- \* Cosmic gamma-ray sources, K. S. Cheng y G. E. Romero (editores), 2004. Astrophysics and Space Science Library. Kluwer Academic Publishers.
- \* High Energy Astrophysics, M. S. Longair, 2011. Cambridge University Press.
- \* Teraelectronvolt Astronomy, J. A. Hinton y W. Hoffmann, 2009. Annual Review of Astronomy and Astrophysics.

### Páginas de Internet oficiales:

- \* Premios Nobel: <http://www.nobelprize.org/>
- \* Laboratorios Bell: [www.bell-labs.com](http://www.bell-labs.com)
- \* The Energetic Gamma Ray Experiment Telescope (EGRET):  
<http://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/cgro/coss/egret/>
- \* The Fermi Large Area Telescope: <http://www-glast.stanford.edu/>
- \* The Cherenkov Telescope array: <http://www.cta-observatory.org/>



### VISITAS GUIADAS:

Te esperamos los viernes y sábados  
para mirar por telescopios.  
Se suspende por cielo nublado.  
Programa, precios y horario en  
nuestro sitio web y redes sociales.

### BENEFICIOS DE ASOCIARSE:

- \* Acceso al observatorio
  - \* Instrumentos a disposición según los cursos de capacitación.
  - \* Talleres, salidas, actividades gratuitas.
  - \* Descuentos en cursos pagos y cursos gratuitos.
  - \* Acceso al taller
  - \* Y mucho más!
- ¡Asociate!

### BIBLIOTECA:

Lunes a Viernes de 19 a 23hs.  
[biblioteca@amigosdelaastronomia.org](mailto:biblioteca@amigosdelaastronomia.org)

### GATOS Y GATITOS VILLA CRESPO:

[adopciones.villacrespo@yahoo.com](mailto:adopciones.villacrespo@yahoo.com)  
FB: gatos y gatitos en adopcion - villa  
crespo- caballito.

### CURSOS:

Iniciación a la astronomía.  
Historias de las constelaciones  
Construcción de telescopios.  
Manejo de telescopios  
Astronomía 1  
Fotografía Astronómica  
Cosmogonías y astrología antigua  
Cosmología  
Radioastronomía  
Espectroscopía  
Puesta en estación  
Relojes de sol  
y más!

### OAQUI

(Observatorio de Quilmes):  
Visitas guiadas:  
Sábados desde las 21 hs.  
Av. Mitre 1188, entre  
Primera Junta y Garay

### ESTUDIO LLAYER:

Abogados  
[info@estudiollayer.com.ar](mailto:info@estudiollayer.com.ar)



NGC 6334.  
*Fotografía de Claudio Pietrasanta*



*NGC 6822, Galaxia de Barnard.  
Fotografía de Claudio Pietrasanta*



*“Mensus eram coelos, nunc terrae metior umbras  
Mens coelestis erat, corporis umbra iacet.”*

[Medí los cielos, ahora mido las sombras  
Del cielo era la mente, en la tierra descansa el cuerpo.]



Epitafio Johannes Kepler

Koestler, A., (1994), *Los sonámbulos, el origen y desarrollo de la cosmología*, Barcelona, España, Salvat.

