

# ASTRONOMÍA DIGITAL

---

*Número 5 , 18 de julio de 1999*

<http://www.astrored.org/digital>

---



---

**Astronomía Digital** es una iniciativa de AstroRED y la Agrupación Astronómica de Gran Canaria (AAGC). Redacción: Víctor R. Ruiz (rvr@idecnet.com) & Jesús Gerardo Rodríguez Flores (jgerardo@coah1.telmex.net.mx). Coordinador Guía Digital: Gabriel Rodríguez. Coordinador traducciones: Daniel Alomar. **Astronomía Digital** se distribuye gratuitamente en versiones HTML y PostScript disponibles en <http://www.astrored.org/digital>.

## Introducción

Todas las personas están invitadas a enviar sus artículos y opiniones a *Astronomía Digital*. Las siguientes instrucciones están pensadas para su envío y procesado en el formato electrónico en el que se genera la revista. Estas son las guías y condiciones generales para la publicación en *Astronomía Digital*, pero quedan sujetas a la opinión de la redacción.

## Condiciones de publicación

Los artículos enviados a *Astronomía Digital* deben ser originales y no haber sido publicados anteriormente o haber sido enviados para su edición simultáneamente. Los artículos se distribuirán sin cargo alguno. El autor retiene los derechos de copia para publicaciones comerciales. Cualquier publicación que haga uso de los artículos publicados en *Astronomía Digital* debe indicar "Artículo extraído de *Astronomía Digital* número  $x$ , <http://www.astrored.org/digital>".

## Instrucciones generales

Los artículos han de contener, al menos, las siguientes secciones: Título, resumen, desarrollo y conclusión. Otras secciones posibles son las de referencias bibliográficas y direcciones de interés (e.j. páginas web). El texto debe estar corregido ortográficamente y siguiendo las recomendaciones de puntuación en español. En concreto, los decimales irán indicados con una coma (1,25) y los miles con punto (1.500). Los párrafos deben ir separados por una línea en blanco y las líneas no deben superar los 80 caracteres de longitud.

Puesto que el formato de envío es ASCII, las tablas deben escribirse tabuladas como el siguiente ejemplo.

Planeta	UA	Magnitud
Mercurio	0,3	-1,8
Venus	0,7	-4,3
Marte	2,5	-1,2

Si va a incluir fórmulas complicadas, en la página de *Astronomía Digital* existe un apartado explicando detalladamente el lenguaje de fórmulas utilizado en LaTeX.

Se recomienda incluir la dirección electrónica y postal del autor al final del artículo, para permitir el contacto directo con los lectores.

Como se ha comentado, el formato para enviar electrónicamente un artículo debe ser de texto, en el ASCII de Windows o Unix, no en el de MS-DOS. Las imágenes deben enviarse en formato GIF o JPG, no se aceptan BMP ni PCX u otros. En el artículo debe indicar una nota explicativa para cada una de las imágenes (ej. Figura 1, venus.gif. Venus al amanecer con cámara fotográfica de 50 mm, 20 segundos de exposición).

Antes de enviar definitivamente el artículo, revise el archivo de texto final con el bloc de notas del Windows, o en su defecto por cualquier otro procesador de textos, para comprobar que todo está correctamente.

## Instrucciones de envío

Primero póngase en contacto con alguno de los redactores indicándole la disponibilidad de su artículo enviando un mensaje a [digital@astrored.org](mailto:digital@astrored.org). En caso de interés la redacción le pedirá que envíe a esa misma dirección un mensaje con el texto e imágenes del artículo.

En caso de que no disponga de correo electrónico, puede enviar el disquete por correo tradicional a la siguiente dirección:

Astronomía Digital  
Agrupación Astronómica de Gran Canaria  
Apartado de correos 4240  
35080 Las Palmas de Gran Canaria (ESPAÑA)

---

SE PERMITE LA REPRODUCCIÓN TOTAL Y PARCIAL DE LOS CONTENIDOS DE LA REVISTA PARA USO PERSONAL Y NO LUCRATIVO. PARA CUALQUIER DUDA O SUGERENCIA PÓNGASE EN CONTACTO CON LA REDACCIÓN MEDIANTE CORREO ELECTRÓNICO EN [DIGITAL@ASTRORED.ORG](mailto:digital@astrored.org). LA REDACCIÓN NO SE HACE RESPONSABLE DE LAS OPINIONES VERTIDAS POR LOS AUTORES Y COLABORADORES.

## Índice General

Historia del IAC — <i>Casiana Muñoz Tuñón</i> . . . . .	4
Mil y una maneras de matar un dinosaurio — <i>Jesús Gerardo Rodríguez Flores</i> . . . . .	10
Teledetección, la ciencia de los satélites — <i>Francisco J. Tapiador</i> . . . . .	16
Comprendiendo las efemérides astronómicas — <i>Víctor R. Ruiz</i> . . . . .	19
Estrellas dobles y múltiples con CCD — <i>Francisco A. Violat Bordonau</i> . . . . .	23
Fotometría fotoeléctrica y CCD — <i>Miguel Regalado Querol</i> . . . . .	27
GUÍA DIGITAL — <i>Gabriel Rodríguez Alberich</i> . . . . .	32

## Editorial

Un número más acudimos con la cita de la divulgación de la astronomía. Estamos muy contentos en Astronomía Digital por la buena acogida que la revista tiene desde sus comienzos entre los aficionados a los dos lados del Atlántico. Supone una gran responsabilidad el mantener una publicación de este tipo, que intenta contentar por igual tanto a quienes van en busca de nuevos conocimientos, como aquellos cuya pasión es la observación. Gracias a la Red, podemos llegar a muchas partes del mundo que de otro modo sería imposible. Y ante todo queremos que la llama de la Ciencia, de la que hablaba Carl Sagan, se extienda y no se apague.

Ya lo anunciábamos en editoriales anteriores. En estos últimos meses estamos viendo cómo rumores pseudocientíficos acerca del fin del mundo se relacionan con acontecimientos astronómicos, tan maravillosos como naturales, por otra parte. Quizás buena parte de culpa de estos rumores sea nuestra, como aficionados a la ciencia y a la astronomía. El público por lo general se está mostrando muy receptivo a todas las noticias relacionadas con el espacio. Esa fascinación, sin embargo, es aprovechada por muchas personas para divulgar noticias catastrofistas con argumentaciones astronómicas que nada tienen que ver con la realidad. Si el público tuviera un contacto más cercanos con el día a día de la investigación científica y la transparencia con la que se llevan los estudios en astrofísica y exploración espacial probablemente no permitirían dejarse embaucar. Los medios de comunicación públicos podrían jugar un papel importante en esta faceta de educar e informar rigurosamente, pero en el juego de la audiencia se han olvidado de sus objetivos. Y de esta forma vemos como, sin parar, se convierten en habituales personajes exóticos hablando sobre el final de los tiempos y las artes adivinatorias sin que la voz de la Ciencia tenga ningún eco. Por esta razón, se hace más importante que quienes estamos convencidos (no por dogmas, sino por hechos) llenemos ese vacío. Que no se apague la vela de la razón.

En este número encontrarás un artículo sobre la historia del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), organización a la que en Astronomía Digital le tenemos especial respeto e, incluso, cariño. Ah, y hablando del fin del mundo, no te pierdas el artículo sobre la extinción de los dinosaurios de Jesús Gerardo Rodríguez.

Buenas noches... de observación, naturalmente.

*Víctor R. Ruiz*

# Historia del IAC

**Casiana Muñoz Tuñón** | Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC)

El Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) es una de las instituciones científicas más relevantes de España, que ha sabido abrirse paso en la astrofísica de forma ejemplar en las últimas décadas, rentabilizando la situación natural del archipiélago. Sin embargo, la astronomía en las Islas Canarias comenzó hace muchos años.

## Piazzi Smyth, 1856.

Sir Isaac Newton sugirió en *Opticks* (1730) que los telescopios debían ser instalados donde la atmósfera fuera más serena y estable, lo que sucede en las cumbres más altas de las montañas, por encima de la capa de nubes. Siguiendo esta sugerencia, en el verano de 1856 el profesor Charles Piazzi Smyth (Astrónomo Real de Escocia, denominación que hasta recientemente otorgaba la Corona británica a sus astrónomos más eminentes) organizó un experimento en el Monte de Guajara, en la isla de Tenerife, a 2.715 m de altitud (cumbre más elevada del Teide, al sur de la Caldera de las Cañadas). Smyth, recién casado, se desplazó a esta montaña con su mujer. Posteriormente se trasladó a Alta Vista, cerca del actualmente conocido Pico del Teide.

El principal objeto de esta expedición era determinar cómo podrían mejorar las observaciones astronómicas eliminando el efecto de la baja atmósfera. Además, en esta expedición se tomaron medidas geológicas y meteorológicas de la zona, observaciones de la Luna (las primeras infrarrojas), de los planetas, de estrellas dobles, de la luz zodiacal y de la radiación ultravioleta del Sol.

## Charles Piazzi Smyth organizó un experimento en el Monte de Guajara, en la isla de Tenerife, a 2.715 m de altitud

Smyth presentó estos resultados ante el Gobierno británico y ante la *Royal Society*, antes de publicarlos en 1857 en el libro titulado *Teneriffe: An Astronomer's Experiment*. En estos trabajos se ponen de manifiesto las claras ventajas de estas zonas de montaña, destacando la medición y detección de estrellas débiles, no detectables en Edimburgo, y la calidad de los anillos de difracción en el foco del telescopio (bajo *seeing*).

En junio de 1895, Knut Angström y sus colaboradores se instalan inicialmente en el antiguo emplazamiento de Piazzi Smyth, en Alta Vista, a una altura de 3.252 m. Es entonces cuando se realizan las primeras mediciones “fiables” de la radiación solar a diferentes altitudes (Alta Vista, Las Cañadas, el Puerto de la Cruz, Santa Cruz y Güímar (Angström, 1901).

## Jean Mascart, 1910.

Bajo los auspicios de *L'Association Internationale contre la Tuberculose*, el Prof. Pannwitz organizó en 1910 una



misión científica con el fin de efectuar observaciones del cometa Halley en la vecindad de su perihelio. En esta expedición intervino Jean Mascart, quien relata literalmente en uno de sus escritos (Mascart, 1912):

”La situación de Tenerife es quizás única en el mundo: es un faro, relativamente elevado, en medio del océano....Esta montaña [refiriéndose al monte del Teide] es, en efecto, particularmente favorable para las investigaciones de física y de astronomía”.

Muchos de los trabajos de este astrónomo del Observatorio de París fueron publicados por *Le Figaro* y, finalmente, englobados en un libro titulado *Impressions et Observations dans un voyage à Tenerife*.

A principios de este siglo XX, concretamente en 1910, hubo una expedición de observadores de Postdam a Tenerife, en la que se tomaron fotografías adaptadas a las medidas fotométricas del cometa Halley (Mascart, 1910). De estas imágenes, Schwarzschild dedujo la disminución en luminosidad de la cola del cometa, conforme aumenta la distancia al núcleo, como una consecuencia del decremento en densidad de dicha cola.

En este mismo año, Müller y Kron obtienen en Tenerife una serie de medidas que suponen una de las mejores verificaciones de la teoría de la difusión molecular de la luz aplicada a la atmósfera.

## Eclipse de sol, 1959.

El eclipse total de sol visible desde las islas Canarias en 1959 atrajo la atención de numerosos investigadores y astrónomos, lo que revitalizó la idea de crear un observatorio astronómico en estas islas (idea incluso sugerida antaño por Mascart, pero truncada con la I Guerra Mundial).

La presión internacional hace que España inicie los pasos para crear un observatorio astrofísico en Tenerife. Destacan en este proceso el Prof. Torroja de la Universidad Complutense de Madrid, el Dr. Román del CSIC y el Prof. Navarro, Rector de la Universidad de la Laguna.

En 1960 se contrata al Prof. Francisco Sánchez (entonces recién terminada su carrera en la Universidad Complutense de Madrid) para estudiar las condiciones astronómicas de la zona de Izaña, en Tenerife. Pronto prueba que las condiciones son excelentes e inicia la formación del primer grupo de astrofísica español ubicado en la Universidad de la Laguna. Una referencia a las primeras campañas de prospección astronómica están en las publicaciones de Torroja y Sánchez, 1967; y Sánchez, 1968. A partir de una estadística realizada por el Prof. F. Sánchez (1970) con datos del Observatorio Meteorológico de Izaña (desde 1944 a 1966), se reafirma que

”Las condiciones atmosféricas locales son muy favorables para un emplazamiento astrofísico: gran número de días al año en que se puede observar, transparencia generalmente cercana a la atmósfera teórica pura y seca, y también la calidad de las imágenes astronómicas parece buena”.

## Telescopio de Burdeos, 1964.

Construido entre 1962 y 1963 fundamentalmente en el Observatorio de Burdeos por J.M. Rousseau y F. Chauvet, sus espejos fueron fabricados por J. Texereau en el Observatorio de París. El propósito del Dr. R. Dumont consistía en contar con un instrumento específicamente adaptado para hacer fotopolarimetría de la Luz Zodiacal. Los Profesores J. Dufay y D. Barbier, responsables de la Comisión 21 de la IAU («La luz del cielo nocturno») habían llamado la atención sobre la precariedad de la situación en este ámbito, con incertidumbres de un factor de 2 en las regiones más brillantes de la eclíptica y de un factor de 5 en las direcciones menos brillantes fuera de la eclíptica. Se trataba, asimismo, de ampliar la cobertura a la totalidad de la esfera celeste (exceptuando las distancias al Sol menores de 300, inaccesibles a la fotometría desde tierra).

El problema del emplazamiento del telescopio (estrictos requerimientos de latitud, altitud, pureza atmosférica y oscuridad del cielo) se resolvieron tras el encuentro del Dr. R. Dumont con el Prof. F. Sánchez. En aquella época, este último estaba empeñado en dar a conocer las ventajas del cielo de Canarias a los astrofísicos europeos. De este modo, el «Telescopio de Burdeos» fue el primero en llegar al Observatorio del Teide, en diciembre de 1963, cuando, como decía R. Dumont, «allí apenas había nada más que una magnífica voluntad de acogida y una entusiasta visión de lo que llegaría a ser la Astronomía en Canarias».

Exceptuando un corto período en 1968, en que hubo que trasladar el instrumento a Burdeos para sustituir su

antigua montura por una «en cuna» más estable, el telescopio fue utilizado de forma regular entre 1964 y 1975 por F. Sánchez y su equipo y, con frecuencia, por R. Dumont y G. Soulié, que venían desde Burdeos. Las tesis doctorales de R. Dumont (1965) y F. Sánchez (1968) se basaron prácticamente en estas observaciones, así como otras varias tesis leídas en España y Francia. Las primeras tesis doctorales de Astrofísica de las universidades españolas se hicieron con este telescopio. Tras obtener una serie de observaciones homogéneas a lo largo de un ciclo solar completo (que llevaron a la conclusión de que el brillo zodiacal no depende de la actividad solar), el telescopio de Burdeos fue disminuyendo progresivamente su actividad zodiacal, siendo utilizado de vez en cuando con fines didácticos.

El “Telescopio de Burdeos” es un telescopio Cassegrain cuyo espejo primario tiene 30 cm de apertura y 75 de longitud focal. Con esta razón focal (2,5), poco frecuente, se pretendía lograr un instrumento compacto, necesario para hacer frente a los rápidos cambios de dirección. El espejo secundario tiene una resultante de 535 cm. El ocular proporciona una amplificación (equipupilar) de 50 cm.

El “Telescopio de Burdeos” es un telescopio Cassegrain cuyo espejo primario tiene 30 cm de apertura y 75 de longitud focal

La luz del cielo nocturno se estudia en campos de 0,02 grados cuadrados, que es el mejor valor para conseguir una buena probabilidad de localizar zonas de cielo “sin estrellas” en la vecindad de cualquier dirección celeste dada (sin estrellas de brillo superior a la magnitud 12,5). Esto no es válido para la Vía Láctea, donde apenas es posible la fotometría de la luz zodiacal.

Los filtros interferenciales centrados en 502,0 y 557,7 nm seleccionan respectivamente la zona más adecuada del espectro para realizar una correcta sustracción del continuo de la luminiscencia atmosférica y su línea [O], que D. Barbier demostró que covaría

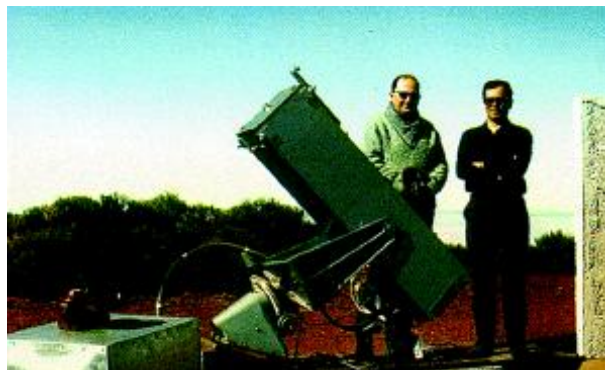


Figura 1: Telescopio de Burdeos. (IAC)

Suficientemente bien con el continuo, para conseguir así un indicador válido de las variaciones, relativamente importantes y rápidas, de su brillo. Una lente «Fabry» proporciona una imagen del espejo mayor sobre el cátodo de un fotomultiplicador Cs-Sb de «Lallemand». Para medidas polarimétricas se introduce un analizador que puede hacerse girar lentamente a lo largo del haz, lo que provoca una variación sinusoidal de la señal.

Una de las características más notables es la existencia en el agujero del espejo de una bocacha de perfil multicónico, para cortar la luz parásita procedente de estrellas o planetas a veces cercanos al campo visual. De esta forma se ha logrado reducir esta difusión 5 veces mejor que con un telescopio Cassegrain normal. Esta precaución tiene una importancia particular debido a la proximidad angular de la estrella Polar (500 veces más brillante que el cielo dentro del diafragma), al polo celeste, dirección en la que hay que observar necesariamente para las calibraciones rutinarias de la covarianza de brillo entre 502,0 y 557,5 nm.

Las observaciones de la Luz Zodiacal y del Gegenschein realizadas en el Observatorio del Teide con este telescopio contribuyeron en gran medida al conocimiento de la distribución celeste de este tipo de luz difusa, así como de las características más importantes de la nube zodiacal.

El primer resultado, obtenido en 1964, consistió en probar la validez del «Método de Alturas Múltiples», que permitía separar correctamente en la luz del cielo nocturno la Luz Zodiacal del continuo de la luminiscencia atmosférica, una de gran interés astronómico y la otra de interés geofísico.

## Los mapas y tablas de Tenerife-Burdeos siguen siendo hoy en día referencia obligada y ampliamente utilizada, por ejemplo, por el Instituto Científico del Telescopio Espacial

En la década de 1965 a 1975 se trabajó en la confirmación de la extensión de la Luz Zodiacal sobre toda la esfera celeste (hecho hasta entonces controvertido) y se hizo el primer mapa de isofotas del brillo de la luz zodiacal Z y del grado de polarización P. Posteriores observaciones desde el espacio demostraron, sin lugar a dudas, la precisión de estos resultados fotopolarimétricos pero, debido a sus propios impedimentos, los datos espaciales nunca pudieron alcanzar la misma cobertura del cielo, con lo que los mapas y tablas de Tenerife-Burdeos siguen siendo hoy en día referencia obligada y ampliamente utilizada, por ejemplo, por el STScI (Instituto Científico del Telescopio Espacial) para predecir y minimizar el «ruido zodiacal», que tanto afecta a la detección de fuentes muy débiles por la FOC (Cámara para objetos débiles).

Entre otras contribuciones al conocimiento de la nube zodiacal, el telescopio de Burdeos ha permitido demostrar que:



- El coeficiente local de difusión (su densidad, grosso modo) del polvo interplanetario disminuye con relación a la distancia al Sol,  $r$ , como  $r^{-1,2}$  (1975, confirmado por los resultados de la sonda espacial HELIOS).
- El plano de simetría de la nube es el plano invariable de simetría del Sistema Solar (1978).
- El grado de polarización local aumenta cuando aumenta  $r$  y es del orden del 30% para  $r=1$  UA. (1984).
- La temperatura del complejo de polvo interplanetario (obtenida por comparación con los datos del satélite IRAS) disminuye como  $r^{-0,3}$ , el albedo es bajo (0,1) y crece con  $r$  (1988).

Todos estos resultados, y otros, fueron publicados principalmente en *Comptes Rendus* de la Academia de Ciencias de París, *Astronomy and Astrophysics*, *Planetary and Space Science*, *Advanced Space Research* e *Icarus*.

Las observaciones realizadas desde el Observatorio del Teide con el telescopio de Burdeos contribuyeron también, de forma significativa, a diferentes puestas al día sobre Luz Zodiacal, como, por ejemplo, en *Landolt-Börnstein Handbuch für Astronomie* (1981), *Astronomy and Astrophysics Encyclopaedia* (1992) y en la próxima edición de *Astrophysical Quantities* de Allen.

## Década de los sesenta.

En 1961, Francisco Sánchez -fundador y director del IAC- llegó a Canarias con un claro objetivo: estudiar la calidad astronómica de las cumbres de Tenerife. Previamente, estableció los parámetros y procedimientos de medida que debían emplearse en el estudio.

La década de los sesenta es la década de la prospección astronómica española; se hace la primera de las Islas Canarias. En 1964 se instala el primer telescopio profesional en el Observatorio del Teide: un telescopio fotopolarimétrico nocturno de la Universidad de Burdeos

(Francia), diseñado para el estudio de la luz zodiacal (la luz dispersada por la materia interplanetaria y visible en las regiones tropicales). Con él nace el primer grupo de investigación astrofísica del país (“Alta Atmósfera y Medio Interplanetario”), se realizan las primeras tesis doctorales y empiezan a producirse los primeros artículos y comunicaciones sobre temas astrofísicos en España.

## En 1975 nace el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC)

A este telescopio se suman otros con los años (en 1969 se instala en el Observatorio del Teide el primer telescopio solar), hasta llegar a la actual batería de telescopios en los dos Observatorios de Canarias. La instalación de todos ellos ha ido siempre precedida del correspondiente acuerdo, siguiendo el modelo establecido con el telescopio de Burdeos: cielo a cambio de telescopio. Se vencen así los prejuicios de los astrónomos europeos sobre las condiciones de Canarias para la astronomía y se consigue que las autoridades españolas (locales y nacionales) empiecen a entender que este “recurso natural” que es el cielo de Canarias podría ponerse en explotación y emplearse, además, para iniciar y desarrollar la astrofísica en España.

### Década de los setenta

La década de los setenta es la década de la prospección internacional. Se consigue que los astrónomos europeos hagan prospección astronómica de las cumbres de Tenerife y La Palma y que, al final, se reconozca internacionalmente la excepcional calidad astronómica del cielo de Canarias. En 1970 tiene lugar la primera inauguración del Observatorio del Teide. Dos años después entra en servicio, en este observatorio, el telescopio infrarrojo de 1,55m (en aquel momento el mayor telescopio infrarrojo del mundo), propiedad entonces del Imperial College de Londres y hoy Telescopio “Carlos Sánchez”, cedido al IAC.

En 1973, en la Universidad de La Laguna se crea el Instituto Universitario de Astrofísica, del que pasa a depender el Observatorio del Teide. En 1975 nace el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) por acuerdo entre la Universidad de La Laguna, el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y la Mancomunidad Interinsular de Cabildos de la provincia de Santa Cruz de Tenerife. En él se integra el Instituto Universitario de Astrofísica, y el CSIC le da estatus de centro propio. Donde hoy se encuentra la Facultad de Física, se instalan la biblioteca, los laboratorios, los talleres y servicios del IAC, en unos barracones prefabricados de uralita financiados por el Cabildo de Tenerife.

También en 1975 se celebra en Tenerife la I Asamblea Nacional de Astronomía y Astrofísica y se pone en marcha en el IAC el primer Programa Nacional para la Formación de Investigadores en Astrofísica. En 1978 se inicia en

la Universidad de La Laguna la licenciatura en Física a través de la Especialidad en Astrofísica.

Tras las correspondientes negociaciones con diversas instituciones científicas europeas interesadas en instalar telescopios en Canarias, se logra que se firmen los Acuerdos de Cooperación en Astrofísica, por los que se regula la explotación del cielo de Canarias y se abren los Observatorios del IAC a los telescopios más avanzados. Así, el 26 de mayo de 1979 España firma con Dinamarca, Suecia y Reino Unido, en Santa Cruz de La Palma, el “Acuerdo y Protocolo de Cooperación en Astrofísica”, a través del cual se internacionalizan los Observatorios del Teide (Tenerife) y del Roque de los Muchachos (La Palma).

El IAC también hace el primer contrato de transferencia de tecnología. Monta los primeros laboratorios técnicos y talleres de la Universidad de La Laguna y en 1979 transfiere una patente (intercambiador de calor y regulador térmico) a una empresa en proceso de constitución (hoy “Energía Solar Española”).

### Década de los ochenta.

La década de los ochenta es la década de la consolidación administrativa del IAC y de sus observatorios internacionales. Tras un estudio jurídico-administrativo sobre el IAC y una auditoría científica, se consigue dotar a este centro de autonomía y personalidad jurídica propia. En 1982, el Parlamento español aprueba por unanimidad el Real Decreto-Ley (7/1982 de 30 de abril) por el que el IAC se configura administrativamente como “Consorcio Público”, integrado por la Administración del Estado, la Comunidad Autónoma de Canarias, la Universidad de La Laguna y el CSIC. En 1983, empieza a funcionar en el IAC su Escuela de Posgrado con la dotación de puestos de “astrofísicos residentes”.

Nuevas instituciones científicas y países deciden instalar sus mejores telescopios en los Observatorios del IAC y se negocian los acuerdos de adhesión de Alemania (1983), Finlandia (1986), Noruega (1986) y Francia (1988). Tras una auditoría científica del IAC, un “grupo de sabios” hace una serie de “Recomendaciones sobre el futuro de la investigación en el IAC”.



Figura 2: Telescopio Isaac Newton. (ING)



En 1985 tiene lugar la Inauguración oficial del Instituto de Astrofísica y los Observatorios del Teide y del Roque de los Muchachos por monarcas y miembros de familias reales de cinco países (España, Dinamarca, Reino Unido, Países Bajos y Suecia) y otros dos jefes de Estado (Alemania e Irlanda). También asistieron doce ministros de países europeos y una distinguida representación de la comunidad científica, encabezada por cinco Premios Nobel.

En 1987 se inaugura el telescopio anglo-holandés “William Herschel”, de 4,2m de diámetro, por ahora el mayor de los instalados en Canarias, y en 1989, el telescopio nórdico NOT, de 2,56m, ambos en el Observatorio del Roque de los Muchachos.

El IAC adquiere experiencia en las cargas científicas para cohetes de sondeo haciendo instrumentación para estudios de alta atmósfera y, posteriormente, en la instrumentación para satélites. Participa de manera destacada en el diseño y construcción del ISOPHOT-S, un espectrógrafo para el satélite ISO (Infrared Space Observatory) de ESA, e inicia su participación en los instrumentos VIRGO y GOLF, para el satélite SOHO.

## En 1987 se inaugura el telescopio anglo-holandés “William Herschel”, de 4,2m de diámetro, por ahora el mayor de los instalados en Canarias

En el IAC no sólo se diseña y construye instrumentación astronómica, sino que también se estimula el desarrollo tecnológico del entorno. Con objeto de drenar y comercializar productos tecnológicos del IAC, en 1988 se crea la empresa “GALILEO, Ingeniería y Servicios” S.A.

En 1988 también se promulga la Ley de “Protección de la Calidad Astronómica de los Observatorios del IAC” (Ley 31/1988 de 31 de octubre), mediante la cual las cumbres de las Islas de Tenerife y La Palma se convierten en una reserva astronómica mundial.

Se va consiguiendo que en Canarias se celebren cada año más congresos y reuniones internacionales de astrofísica, entre las que destaca la Reunión Europea de la Unión Astronómica Internacional (IAU), celebrada en 1989.

También en ese año se celebra la primera “Escuela de Invierno” del IAC, con la idea de institucionalizar una escuela internacional de astrofísica, con el nombre de *Canary Islands Winter School of Astrophysics*. El objetivo es favorecer la convivencia durante dos semanas de los mejores especialistas de un tema de notorio interés científico (distinto cada año), con estudiantes de doctorado de todo el mundo que tengan relación con dicho tema.

Durante esta década aumenta el esfuerzo divulgativo; el IAC abre las puertas de sus observatorios en múltiples ocasiones, sus investigadores dan abundantes charlas de divulgación y hasta organiza “shows” astronómicos. Muy popular fue la “Fiesta de las Estrellas”, que el IAC organizó con motivo del paso del Cometa Halley, en 1986, y que congregó, el 15 de marzo, en la Playa de las Teresitas, en Tenerife, a unas sesenta mil personas. También,



Figura 3: Vista aérea de las instalaciones del Instituto de Astrofísica de Canarias y del Museo de la Ciencia y el Cosmos en La Laguna (Tenerife). (IAC)

para facilitar las observaciones astrofísicas de este conocido cometa, se apagó todo el alumbrado público de La Palma.

## Década de los noventa.

La década de los noventa es la década de la consolidación científica y técnica del IAC, que adquiere mayor prestigio internacional y es cada vez más popular en Canarias y en el resto de España. El IAC sigue firmando acuerdos con instituciones científicas que desean instalar instrumentos en Canarias y sus observatorios se consolidan como el Observatorio Norte Europeo.

En 1990, después de años de estudios comparativos entre Hawai y Canarias, se elige el Observatorio del Roque de los Muchachos para instalar el telescopio LEST (*Large Earth-based Solar Telescope*) de 2,4m, el mayor telescopio solar del mundo. En 1991, el *Consiglio per le Ricerche Astronomiche* decide instalar el Telescopio Nacional italiano “Galileo”, de 3,5m, también en el Observatorio del Roque de los Muchachos, revocando así su anterior decisión de instalarlo en Hawai. En 1994, la Agencia Europea del Espacio (ESA) firma un acuerdo con el IAC para instalar en el Observatorio del Teide un telescopio destinado a telecomunicaciones ópticas con satélites, con la posibilidad de utilizarse igualmente con fines astronómicos y para el registro de basura espacial.

Los logros en lo relativo a la difusión cultural y a la divulgación se hacen más significativos: con una Fundación privada se institucionaliza un curso de astronomía para profesores de enseñanza media y básica; se habilita un pequeño “centro de visitantes” en el Observatorio del Teide; se está presente en tres pabellones de la Exposición Universal de Sevilla de 1992; y en 1993 se abre un moderno museo interactivo junto al Instituto de Astrofísica: el Museo de la Ciencia y el Cosmos del Cabildo de Tenerife. Ese año el príncipe Felipe, gran entusiasta de la Astronomía, nos visita por primera vez.

Canarias poco a poco se va convirtiendo en un lugar de encuentro habitual de la comunidad científica internacional, bajo el estímulo de los astrofísicos. En 1990, las principales agencias espaciales (la americana NASA, la europea ESA, la japonesa ISAS y la rusa INTERCOSMOS) celebran una reunión en las Islas. En 1992, la



OCDE (Organización para el Crecimiento y Desarrollo Económico) reúne en Tenerife a su Comité de Expertos del “Foro de Megaciencia”.

El IAC sigue impulsando el desarrollo tecnológico en Canarias y establece una Oficina de Transferencia de Tecnología.

El Gobierno de Canarias y el Gobierno del Estado español se interesan en la idea de construir un gran telescopio de más de 8m de diámetro. En 1994 se crea, con fondos públicos, una sociedad anónima (“GRANTECAN, S.A.”) para facilitar al IAC la definición del telescopio, su estudio de viabilidad y su construcción. Aparte del claro objetivo científico, hay una intencionalidad tecnológica y económica bien determinada: utilizar este gran proyecto para estimular la transferencia de tecnología hacia la industria española y generar tejido empresarial en Canarias, con interés en tecnologías avanzadas.

En enero de 1995, el IAC organiza con la Fundación BBV un encuentro internacional de una semana entre grandes maestros de la astrofísica y jóvenes investigadores titulado *Key Problems in Astronomy*. Se repasan los problemas clave no resueltos, que deben ser abordados por las generaciones futuras. La editorial científica *University Cambridge Press* edita un libro sobre esta reunión y el IAC, los vídeos de las discusiones.

## El Gobierno de Canarias y el Gobierno del Estado español se interesan en la idea de construir un gran telescopio de más de 8m de diámetro.

Son puestos en órbita con éxito en 1995 por la ESA y la NASA los satélites ISO y SOHO, en los cuales el IAC lidera la parte española de la construcción de los instrumentos ISOPHOT-S, VIRGO y GOLF.

Los descubrimientos científicos de gran importancia protagonizados por astrofísicos del IAC se suceden cada vez con más frecuencia: en 1992 se descubre el mejor candidato de agujero negro en nuestra galaxia; en 1994 se localizan los “COSMOSOMAS” en la radiación del fondo cósmico de microondas; en 1995 se encuentra en la Pléyades el objeto “Teide 1”, la primera “enana marrón”.

En febrero de 1996 el Consejo Rector del IAC, con todos los informes favorables y con el acuerdo de participación del Estado y de la Comunidad Autónoma de Canarias, da “luz verde” a la construcción del Gran Telescopio de espejo segmentado de 10m, garantizándose una disponibilidad de fondos de, al menos, el 50% del proyecto.

En junio de 1996, los Reyes de España, acompañados de ministros y otras autoridades y científicos destacados, inauguraron las nuevas instalaciones telescópicas e instrumentales de los Observatorios del Roque de los Muchachos y del Teide, entre los que destacan el Telescopio Nacional italiano “Galileo” (TNG) y el telescopio solar franco-italiano THEMIS.

En 1997, la primera luz del “Telescopio Abierto Holandés” (DOT), en el Observatorio del Roque de los Muchachos, contó con la presencia de S.A.R. Willem Ale-

xander, Príncipe de Orange. A finales de ese mismo año, S.M. el Príncipe de Asturias, Astrofísico de Honor del IAC, visitó el IAC, en La Laguna, por segunda vez.

En colaboración con la Facultad de Medicina de la Universidad de La Laguna, se ha desarrollado un prototipo patentado que crea un espacio acústico virtual de aplicación médica en personas ciegas.

En 1998, con la *X Canary Islands Winter School of Astrophysics* dedicada a “Cúmulos globulares”, se ha consolidado esta Escuela anual, que en tal ocasión celebraba sus diez años de existencia.

También en 1998, el IAC organizó otras seis reuniones científicas, entre ellas tres euroconferencias, dos congresos internacionales y la III Reunión Científica de la Sociedad Española de Astronomía.  $\Omega$

## Referencias

- [1] Historia del IAC: <http://www.iac.es/gabinete/hist/ser1.html>
- [2] Página web del IAC: <http://www.iac.es>

Texto reproducido con el permiso del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC). Astronomía Digital agradece su cortesía.

Casiana Muñoz Tuñón  
Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC)  
c/Vía Láctea s/n  
La Laguna  
Islas Canarias (España)

# Mil y una maneras de matar un dinosaurio

Jesús Gerardo Rodríguez Flores | Sociedad Astronómica de la Laguna, A.C. (México)

Los dinosaurios fueron los dueños y señores del planeta durante decenas de millones de años hasta que se extinguieron. ¿Por que se extinguieron y como ocurrió? Esta es una de las preguntas que durante muchos años inquietaron al hombre. Mientras hoy sabemos la respuesta, las generaciones anteriores idearon infinidad de hipótesis, desde las más viables a las más disparatadas. A continuación un anecdotario sobre el avance de la ciencia en la resolución de uno de nuestros grandes enigmas.

## Hipotesis, locas hipótesis.

Algo ocurrió hace sesenta y cinco millones de años, a finales del Periodo Cretáceo, algo tan devastador que alteró el curso de la vida en la Tierra. Ninguna de las especies que vivían exclusivamente en la tierra y que pesaban más de veinticinco kilos parece haber sobrevivido. Los únicos reptiles, de la rama de los arcosaurios que sobrevivieron fueron los crocodílidos. Ancestros de los lagartos y cocodrilos actuales.

Durante mucho tiempo la extinción de los dinosaurios fue uno de los mayores enigmas científicos, lo cual dio lugar a todo tipo de teorías, desde las más coherentes hasta las más recontra-absolutamente-descabelladas. Solo para darnos una idea, citemos unas cuantas de ellas:

- **La teoría Cuppy.** El humorista Will Cuppy, en 1914 expreso: “La era de los reptiles, se terminó porque ya había durado demasiado y fue una equivocación desde el principio”. Según Cuppy, los dinosaurios eran feos, y por lo tanto merecían extinguirse.
- **Cazadores extraterrestres en platillos volantes.** ¡Glup! ¡Definitivamente sin comentarios!
- **Aniquilación por nuestros antepasados trogloditas.** Esta solución sería fantástica para uno que otro pseudo-ambientalista extremo, y su propaganda del “depredador humano” que todo lo aniquila a su paso, pero tiene un ligero inconveniente: el hombre cavernícola nunca convivió con los dinosaurios. Los dinosaurios se extinguieron hace 65 millones de años y los humanos “homo sapiens” apenas si tenemos un millón de años sobre el planeta Tierra.
- **Falta de sitio en el Arca de Noé.** Las gentes sencillas o poco instruidas en la historia natural comúnmente tiene una solución muy bonita y simple: “al ser animales tan grandes y fieros no tuvieron lugar en el Arca de Noé y se ahogaron durante el Diluvio Universal”. ¡Santo Remedio! Sin embargo las cosas no resultan tan fáciles de explicar. Ciertamente existen ciertos rastros, tanto geológicos como folklóricos que permiten suponer que en diversas regiones del planeta ocurrieron enormes inundaciones regionales que, para los hombres de la época, eran verdaderos “diluvios universales”. El Génesis bíblico no es el único relato existente en el mundo



Figura 1: Recreación artística del meteorito ingresando a la atmósfera hace 65 millones de años.

sobre un diluvio. Otros relatos semejantes existen en la Epopeya de Gilgamesh, en los textos del Popol Vuh de los mayas y en muchas otras culturas. En muchas ocasiones el emplear la palabra “antediluviano” para referirse a estos animales ocasiona esa confusión. Como ya nos enteramos párrafos atrás, el humano aún no aparecía sobre el planeta cuando los dinosaurios se extinguieron, por lo cual no tuvo el gran apuro que hubiera significado ingeniárselas para capturar una pareja de cada especie de estos saurios gigantes y tenerlos enclaustrados durante decenas de días en el interior de su famosa arca. Aún suponiendo que un prehistórico “diluvio universal”, hace 65 millones de años hubiera extinguido todos los dinosaurios terrestres, seguirían existiendo en la actualidad los prehistóricos animales marinos.

- **Desprendimiento de la Luna de la cuenca del Océano Pacífico.** Sin adelantarnos mucho a una creencia que trataremos a detalle en ocasiones posteriores, si la Luna se hubiese desprendido del Océano Pacífico, seguramente tuvo que ser muchos millones de años antes de la aparición de la vida en la Tierra. Y por ende miles de millones de años antes de la aparición de los dinosaurios en la Tierra.
- **Muerte masiva y simultanea de los dinosaurios en todo el planeta.** Al parecer un “antiguo dolor cósmico” (paleoweltshmerz) de origen desconocido invadió a los dinosaurios quitándoles las ganas de vivir y por ende provocando que se murieran de inacción (una “explicación” tan imprecisa como ridícula).

Existen también algunas teorías un poco más razona-



Figura 2: Mapa que muestra el sitio del impacto en la Península de Yucatán.

bles, pero igualmente simpáticas y lo suficientemente satisfactorias con respecto a la extinción masiva de estas especies. Por ejemplo:

- **Enfermedades y Parásitos.** Esta hipótesis aplicaría el “Principio de la Población” que Thomas Robert Malthus publicara en 1838. Exponía que una población, de cualquier especie, siempre crece a un ritmo superior a la producción de alimentos para su subsistencia. Cuando éste crecimiento llega a niveles intolerables la misma población desencadena un autoexterminio (por ejemplo las guerras en el hombre) o se desatan una serie de epidemias que diezman a la población hasta niveles más aceptables. De esos aciagos periodos solo sobreviven los ejemplares más fuertes. “La supervivencia del más apto”. Sin embargo en el caso de los dinosaurios el caso presenta muchos inconvenientes. En primer lugar, tal parece que ninguna especie de dinosaurio, ni siquiera un ejemplar sobrevivió a la extinción de sus semejantes. Y como segundo punto, resulta poco convincente que una epidemia hubiera logrado extenderse por todo el planeta para provocar una extinción tan masiva.
- **Destrucción de la capa de ozono.** M.L.Keith, profesor de geoquímica en la Universidad de Pennsylvania sugiere que la clorina de ácido hidrocliclorídrico contenido en los gases de la intensa actividad volcánica de finales del cretáceo pudo haber desplazado la capa protectora de ozono que se encuentra en las capas altas de la atmósfera. Los rayos ultravioletas, sumamente peligrosos, aniquilaron a las criaturas de piel desnuda, como los dinosaurios. Mientras

los mamíferos peludos, las aves protegidas por las plumas y las criaturas que vivían en los fondos de las aguas podrían haber dispuesto de protección suficiente para sobrevivir.

- **Dióxido de Carbono y el efecto Invernadero.** Dewey McLean, geólogo del Instituto Politécnico de Virginia propone que la masiva erupción volcánica pudo saturar de dióxido de carbono la atmósfera provocando un ascenso de las temperaturas por el llamado efecto invernadero. Dichas temperaturas podrían causar la muerte, o al menos reducir la actividad del plancton, con lo cual se alteraría la cadena de producción de alimentos y la conversión (por medio del plancton) del dióxido de carbono en oxígeno mediante fotosíntesis. Un aumento en la temperatura puede afectar negativamente la fertilidad de los grandes mamíferos, disminuyendo su capacidad de generar espermatozoides capaces de fecundar. A los dinosaurios pudo ocurrirles algo semejante.
- **Radiación Cósmica.** Iosef Shikovski, un reconocido astrofísico ruso sugirió que la explosión de una estrella en supernova en algún punto cercano en nuestra galaxia pudo incrementar considerablemente la radiación sobre la Tierra y con ello originar fatales mutaciones genéticas que acabaron con los dinosaurios. Sin embargo, una radiación tan letal como la expuesta en dicha hipótesis debería afectar igualmente a otras clases de animales como las aves y los mamíferos, los cuales sobrevivieron a la extinción de los grandes reptiles.
- **Devoradores de huevos.** Posiblemente algunos mamíferos se alimentaban de los huevos de dinosaurio. Al parecer los grandes saurios no tenían la perseverancia de cuidar sus huevos (como lo hacen sus descendientes evolutivos, las aves) por lo cual eran presa fácil de los rodadores. Esta hipótesis es poco probable, puesto que no todas las especies de dinosaurios se habrían extinguido, además de ser eso cierto muchos reptiles modernos y algunos anfibios ponedores de huevo se habrían extinguido desde hace mucho.
- **Estrés y debilitación de la cascara de los huevos.** Otra variante de la extinción de los grandes saurios relacionada con sus huevos fue sugerida por Henrich K. Erben, de la Universidad de Bonn, Alemania. En dicha hipótesis se expone que algunos huevos de dinosaurio fosilizados que se han descubierto presentan síntomas de debilidad en su envoltura calcárea. Dicho debilitamiento también lo presentan los actuales pájaros y reptiles como consecuencia de disturbios hormonales provocados por las tensiones ambientales como sería el exceso de individuos en la especie. Con ello los huevos se vuelven tan frágiles que se quiebran de forma prematura o no proporcionan calcio suficiente para el embrión en desarrollo.

- **Muerte por “envenenamiento floral”.** Suena simpático pero algo que ha llamado la atención de muchos naturalistas es que los dinosaurios se extinguieron tiempo después de la aparición de las primeras plantas con flores. La gran mayoría de los dinosaurios eran herbívoros, y necesitaban cantidades tremendas de vegetales para satisfacer sus necesidades energéticas. ¡Un hadrosaurio, por ejemplo podía devorar entre 200 y 400 Kg. de vegetación diarios! Llegado un momento los dinosaurios empezaron a acabar con las plantas y extendieron su dieta a las plantas con flores. Lamentablemente para ellos mucha de la floración eran plantas que sintetizaban en su interior compuestos químicos con cantidades cada vez mayores de alcaloides que los dinosaurios no podían asimilar. Con el gran volumen de vegetación que devoraban, irremediablemente murieron envenenados. Muertos los herbívoros, los dinosaurios carnívoros vieron sus días contados por obvia cadena alimenticia. Los mamíferos y otras especies sobrevivieron gracias a su alimentación más variada. La teoría es buena y tal vez destornillantemente simpática. ¡Los dinosaurios se murieron por una terrible indigestión! Pero ello no explicaría la extinción de las especies marinas del mismo periodo.
- **¿Estreñimiento?** Otra variante de la hipótesis relacionada con las plantas fue sugerida por Anthony Hallam, un paleontólogo británico. En ella expresa que una modificación en la vida de las plantas en el cretáceo produjo efectos gastrointestinales que “nos lleva irremediablemente a la conclusión de que los pobres dinosaurios murieron de estreñimiento”. ¿Se imaginan un dinosaurio con peritonitis?
- **“Un caso especial de impotencia sexual”.** Dicha hipótesis, expresada en su momento con mucha seriedad, sugería que los dinosaurios machos se hicieron demasiado grandes y pesados como para poder montar a sus hembras para el acto sexual, lo cual parece poco remoto. Dinosaurios pequeños y ligeros como el velociraptor también se extinguieron. Además, los dinosaurios más grandes y pesados, como el brontosaurio durante unos cien millones de años “pudieron hacerlo” sin la menor dificultad. (El cómo podían montar los aquilosaurios y estregosaurios a sus hembras, con sus puntas y placas óseas en el lomo, es asunto aparte).

La cantidad de hipótesis emitidas para explicar la extinción de los dinosaurios es tan numerosa que el científico de Princeton, Glenn L. Jepsen ya enumeraba en un solo párrafo las múltiples soluciones existentes en 1964:

”Autores de diversa competencia han sugerido que los dinosaurios desaparecieron debido a un deterioro de climas (porque de repente, o lentamente, empezó a hacer mucho frío o mucho calor, excesiva sequía o dema-

siada humedad) o que fue la dieta alimenticia (demasiada comida o demasiado poca, con falta de sustancias tales como el aceite de helecho; por envenenamiento de las aguas o de las plantas o de los minerales ingeridos; por una escasez de calcio o de por cualquier otro de los elementos necesarios). Otros escritores echan la culpa a las enfermedades, los parásitos, guerras, desórdenes anatómicos o metabólicos (dislocación de discos vertebrales, desequilibrio hormonal o del sistema endocrino, reducción del cerebro con su consiguiente secuela de estupidez, el calor, la esterilidad, los efectos de ser animales de sangre caliente en el mesozoico), envejecimiento racial, tendencia evolutiva hacia la superespecialización senil, cambios en la presión o la composición de la atmósfera, gases venenosos, polvo volcánico, exceso de oxígeno procedente de las plantas, meteoritos, cometas, degradación genética debida a los pequeños mamíferos devoradores de huevos, excesiva capacidad asesina de los depredadores, fluctuación de las constantes gravitacionales, desarrollo de factores psicóticos con tendencia al suicidio, entropía, radiación cósmica, cambio del eje rotacional de la Tierra con desplazamiento de los polos, inundaciones desplazamiento de los continentes, extracción lunar de la cuenca del Pacífico, drenaje de pantanos y de los lagos, manchas solares, la voluntad de Dios, el surgir de montañas, ataques de hombrecillos verdes cazadores desde sus platillos voladores, falta de espacio suficiente en el Arca de Noé y “paleowltschmerz” (o antiguo dolor cósmico).

## Lo que realmente ocurrió.

Como la mayoría de los grandes descubrimientos, el hallazgo de la causa real de la extinción de los dinosaurios



Figura 3: Los descubridores, de izquierda a derecha: Helen V. Michel, Frank Asaro, Walter y Luis Alvarez.

ocurrió por puro accidente. El privilegio recayó en Walter Alvarez, catedrático asociado de Geología en la Universidad de California en Berkeley. La labor de Alvarez y su equipo era muy ajena a los dinosaurios. Su investigación era sobre el paleomagnetismo, esto es la investigación de las inversiones del campo magnético de la Tierra que han tenido lugar a lo largo de varios millones de años. Por esta causa, en diversas ocasiones el polo magnético terrestre en lugar de ubicarse en el norte geográfico ha estado orientado hacia algún punto del territorio antártico. Con ese objetivo, desde 1973 el equipo de Alvarez venía tomando muestras de arcillas de las formaciones de piedra caliza de la región de Umbría, en los Apeninos italianos, dichas muestras serían comparadas con otras muestras, tanto de tierra firme como en el mar y así poder hacer un calendario confiable y completo de las fluctuaciones magnéticas en el curso de la historia de la Tierra.

En la garganta de Bottaccione, cerca de la ciudad medieval de Gubbio, la piedra caliza muestra gran profusión de fósiles de microorganismos en la piedra arcillosa, pero algo que llamo la atención de Walter Alvarez fue que en determinado estrato todas las especies de microorganismos, excepto una, desaparecían de modo repentino. Aquellos estratos correspondían al límite del fin del cretáceo y el terciario. La época de la gran extinción. En este límite, la piedra caliza era cubierta por una capa de tierra arcillosa de color gris rojizo de uno o dos centímetros de grosor, casi desprovista de fósiles.

### Aquellos estratos correspondían al límite del fin del cretáceo y el terciario. La época de la gran extinción.

Walter Alvarez se interesó en dicha arcilla y en 1977 tomó muestras para encontrar algún dato que pudiera aclarar las razones de la extinción a finales del cretáceo. Walter describió su hallazgo a su padre Luis W. Alvarez, el notable físico ganador del Premio Nobel por sus investigaciones sobre los rayos cósmicos. La muestra no presentaba ninguna inversión del campo magnético, pero el descubrimiento de iridio dio otro giro a la investigación. El iridio es un metal muy raro en la corteza terrestre, pues al ser tan afín al hierro, debió concentrarse junto con este último en el núcleo del planeta. Luis Alvarez sabía que el iridio se presenta en una concentración mil veces superior en los meteoros que en la corteza terrestre, y que por lo tanto como el polvo cósmico y el material micrometeorítico caen en el planeta a un ritmo más o menos constante, este debe dejar una marca química con la cual se podría calcular la duración del periodo de tiempo en los límites del cretáceo. Luis Alvarez entregó las muestras a Frank Asaro y Helen V. Michel, dos químicos nucleares del *Lawrence Berkeley Laboratory* para su análisis.

Los resultados del análisis geoquímico revelaron tan escasas cantidades de iridio en la muestra (una en mil millones) que cualquier método de datación resultaba impreciso. Sin embargo, una de las muestras presentaba una cantidad de iridio mayor a la esperada por cualquier proceso normal de la Tierra o de caída de polvo meteórico.

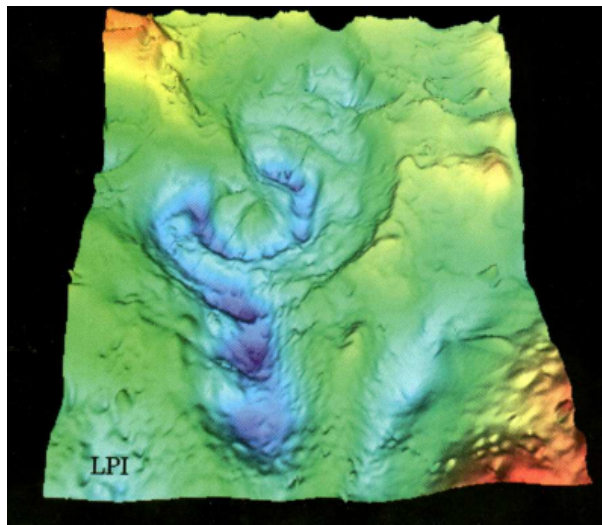


Figura 4: Imagen computarizada en 3D de la estructura del cráter Chicxulub.

En 1978, Walter Alvarez trajo nuevas muestras de Gubbio y se encontró que la capa de arcilla de la época de extinción del cretáceo presentaba treinta veces más iridio que los sedimentos que se hallaban directamente por debajo o por encima de ella. ¿A qué se debía esto?

De inicio Walter Alvarez expuso en la reunión de la Unión Geofísica Americana, en Washington en 1979, que las pruebas del iridio apoyaban las teorías en favor de que había sido un acontecimiento extraterrestre la causa de los cambios en la Tierra que dieron lugar a la extinción. Posiblemente una supernova. Sin embargo, posteriormente se calculó que para tan alta concentración de iridio se hubiera necesitado que la supernova estuviera a una distancia inferior a medio año luz (exageradamente cercana). Además una supernova debería producir una concentración alta de plutonio-244 y no era así. Los isótopos de iridio-191 e iridio-193 eran más parecidos a los elementos que se dan en el sistema solar. Si la fuente realmente era extraterrestre, la intensidad del iridio debía ser mundial, tal y como lo demostraron muestras conseguidas en Dinamarca y Nueva Zelanda, y todas de la misma capa geológica. Indudablemente era un fenómeno global.

Los Alvarez llegaron a la conclusión de que el impacto de un meteorito, un asteroide de al menos 10 km. de diámetro explicaría la extinción masiva. El asteroide abriéndose paso por la atmósfera a 100 000 km/h, pudo haber causado un cráter de 200 km de anchura y enviando a la estratosfera una nube de polvo que se extendería rápidamente hasta envolver a la Tierra sumiéndola en la oscuridad. El equipo de Alvarez publicó su primer informe completo en la edición del 6 de Junio de 1980 de la revista "Science" bajo el título "Extraterrestrial Cause of the Cretaceous Tertiary Extinction".

A muchos geólogos les incomodó la hipótesis de "extinción extraterrestre". Sin embargo en cerca de 36 muestras obtenidas en diversas partes del mundo, la capa límite del Cretáceo-Terciario mostró el mismo contenido anor-

mal de iridio. Incluso el buque de investigación “Glo-mar Challenger” excavó en los fondos marinos en África del Sur y extrajo muestras de la capa correspondiente: también presentaban un alto contenido de iridio. El fenómeno era global. Ramachandran Ganapathy de la J.T.Baker Chemical Company, examinó arcilla de Dinamarca y vio que, junto con el iridio, otros ocho elementos daban en proporciones similares a las que aparecen en un meteorito típico.

Un asteroide que chocara con la Tierra debería haber fundido la roca y despedir gotas del material fundido, esféricas, por todas partes. Jan Smith del Instituto Geológico de la Universidad de Amsterdam, fue el primero en encontrar esas esférulas en muestras de la arcilla limítrofe procedentes de España. Después aparecieron dichas esférulas en otras partes. Su composición y su gran tamaño (demasiado grandes para un transporte atmosférico generalizado) sugerían que presumiblemente no eran volcánicas. Las esférulas además contenían una alta concentración de iridio.

Todo parecía indicar que se tenía perfectamente identificada la causa de la extinción de los dinosaurios: el impacto de un asteroide. Pero con ello la investigación no estaba completa. Todavía faltaba por descubrir el sitio donde el asteroide había impactado. La tarea no era fácil. Se debía buscar un cráter de 65 millones de años de antigüedad y ubicado en un sitio en el cual las consecuencias del impacto hubieran tendido devastadoras consecuencias tanto para las especies terrestres como las marinas. Los geólogos conocían la existencia de innumerables cráteres algunos relativamente recientes con unas decenas de miles de años y otros tan viejos como algunos centenares de millones de años de antigüedad. Pero ninguno concordaba con los 65 millones de años del límite Cretáceo/Terciario. El descubrirlo no era sencillo, pues la erosión borraba la evidencia de cráteres antiguos. Por si fuera poco, era bastante probable que el impacto hubiera ocurrido en el mar en un punto donde el lecho oceánico tuviera algunos metros de profundidad, lo cual complicaría la búsqueda. Sin embargo el descubrimiento de ejecta de impacto en la zona del Caribe permitió intuir que el cráter debía encontrarse en algún punto entre el Caribe, Centroamérica y Norteamérica. Lo anecdótico del asunto fue que el cráter había sido localizado desde varias décadas atrás y nadie se había dado cuenta. En 1948, investigadores la compañía Petróleos Mexicanos descubren la existencia de una serie de anomalías concéntricas en la península de Yucatán mientras realizan investigaciones de prospección petrolífera. Las operaciones de exploración petrolífera continuaron hasta el año 1970 cuando se realizaron una serie de perforaciones para obtener muestras. En el análisis de las mismas se encontró una serie de anomalías en las brechas y rocas del Cretácico Superior, pero originalmente se atribuyeron a fenómenos volcánicos y no a un impacto meteórico. Pero hacia 1981, un año después de la publicación de la hipótesis de los Alvarez, un grupo de geofísicos del petróleo contratados por Pemex logran determinar que las anomalías alrededor de la población de “Chicxulub” en la península de Yucatán son producto de

un impacto, y que tal vez esté relacionado con la extinción de los dinosaurios. Lo más sorprendente del caso, es que esta información jamás trascendió en la comunidad científica, y el gran descubrimiento debería esperar mejores tiempos. Finalmente en 1991 los equipos de Adriana Ocampo del JPL de la NASA y Kevin Pope del Geo Eco Arch Research usaron imágenes del satélite Landsat para identificar una serie de depresiones anulares de 300 km alrededor de Chicxulub. A ello se agregó la confirmación de lecturas magnéticas y estatigráficas anteriormente obtenidas por Pemex, y los estudios de la Alan Hildebrand y William Boynton, de la Univ. de Arizona, que demostraron que la densidad de iridio en la arcilla del límite Cretáceo/Terciario se incrementaba en las inmediaciones del cráter Chicxulub. Posteriormente se confirmó que las rocas en el interior del cráter de Chicxulub se habían formado exactamente 65 millones de años en el pasado. Finalmente la búsqueda había terminado.

## Hace 65 millones de años.

En aquella ocasión, en plena Era Terciaria, un asteroide de diez kilómetros de diámetro y una masa de dos billones de toneladas se impactó contra el norte de la península de Yucatán y parte del litoral del Golfo de México. El centro del cráter, de más de 180 kilómetros de diámetro se encuentra en la población de Chicxulub: “la cola del diablo” según su traducción del maya. La fuerza del impacto provocó un enorme maremoto con olas de decenas y decenas de metros de altura. Las olas del maremoto dieron la vuelta al planeta, mientras las enormes cortinas de agua penetraron cientos de kilómetros tierra adentro devastando a su paso toda la flora y fauna existente. Millones de toneladas de agua salada fueron arrojadas a la atmósfera, saturándola de vapor de agua que formó nubes lo suficientemente densas para tapar la luz del sol, convirtiendo el día en noche.

**La energía liberada por el impacto disparó momentáneamente la temperatura varios millones grados centígrados devastando miles de kilómetros cuadrados de árboles y vegetación.**

El terremoto ocasionado por el impacto superó los 13 grados en escala de Richter, 10.000 veces más poderoso que el mayor terremoto registrado en los tiempos modernos. La energía liberada por el impacto disparó momentáneamente la temperatura varios millones grados centígrados devastando miles de kilómetros cuadrados de árboles y vegetación. Dicho incremento en la temperatura y la lógica evaporación del material del sitio del impacto lanzó a la atmósfera del planeta toneladas de sustancias sulfurosas que dieron lugar a una considerable lluvia ácida que hizo desaparecer el noventa por ciento del plancton de los océanos. La desaparición del plancton, aunado a

la onda de choque que se propago por el mar a raíz del impacto, hizo desaparecer a la mayor parte de la vida marina en las capas altas del océano, situación que prevaleció durante casi 500.000 años. Cerca de quinientos mil millones de toneladas de polvo y ceniza fueron arrojados desde el sitio del impacto a la atmósfera del planeta. Estas partículas quedaron en suspensión durante varios años, convirtiéndose en un obstáculo para el libre paso de los rayos del sol. Las plantas ya no pudieron realizar el proceso de fotosíntesis. La falta de radiación solar produjo un brusco descenso de la temperatura hasta 10 o 15 grados centígrados durante varios años. Durante esta especie de “invierno nuclear”, muchas especies de plantas y animales desaparecieron. El setenta por ciento de las especies del planeta se extinguieron.

## Conclusión.

La inquietud del hombre por buscar respuesta a la misteriosa desaparición de los dinosaurios finalmente ha dado su fruto. En la actualidad sabemos ha ciencia cierta lo que ocurrió. Es importante apreciar lo que hemos recorrido como civilización para aclarar este enigma científico. Un enigma que se solucionó a base de investigación y el empleo exacto del método científico. Y esta es una lección importante, pues a la ciencia no la debemos obligar a acelerar sus conclusiones. Hay que darle tiempo para que las respuestas, las respuestas reales, puedan ser descubiertas. Una lección importante para tantos “fabricantes de paradojas” que existen en nuestro tiempo.

## La inquietud del hombre por buscar respuesta a la misteriosa desaparición de los dinosaurios finalmente ha dado su fruto.

Por otro lado, el descubrir las causas de la extinción de estas sorprendentes creaturas que dominaron el planeta durante decenas de millones de años nos hace reflexionar sobre la vulnerabilidad que tiene esta débil especie humana con tan solo un millón de años sobre nuestro mundo. En la actualidad somos conscientes de la existencia de asteroides que se aproximan de manera preocupante a la Tierra, y nuestra generación presenciado asombrada el impacto de más de una veintena de fragmentos del cometa Shoemaker-Levy 9 contra el planeta Jupiter. Lo que en una ocasión “le arruinó la tarde a los dinosaurios” también nos la puede arruinar a nosotros. Sin embargo, a diferencia de los grandes reptiles de hace 65 millones de años, la especie humana cuenta con una gran herramienta a su disposición: nuestro cerebro. El saber aprovechar sabiamente nuestros recursos en la detección astronómica de asteroides y cometas de “alto riesgo”, y el mejoramiento de nuestra tecnología espacial nos permitirá un día salvar a nuestro planeta y nuestra civilización de otro episodio semejante. Ojalá invertamos adecuadamente nuestros recursos en busca de ese objetivo, y tengamos tiempo suficiente para cumplirlo.

## Referencias

- [1] El Gran libro de lo asombroso e inaudito. Selecciones del Readers Digest. Mexico 1988.
- [2] Revista Universo. No. 25 Mayo 1997.
- [3] El enigma de los dinosaurios. J.N. Wilford. Biblioteca de Divulgación Científica Muy Interesante. RBA Editores. 1993.
- [4] Objetivo la Tierra. Colisiones con asteroides: pasado y futuro. Jon Erickson. Serie McGraw-Hill de Divulgación Científica. 1992.

Jesus Gerardo Rodríguez Flores.  
Soc. Astronómica de la Laguna.  
Gómez Palacio, Durango. México.  
jgerardo@coah1.telmex.net.mx  
MegaCosmos

<http://www.astrored.org/noticias/megacosmos>



# Teledetección, la ciencia de los satélites

Francisco J. Tapiador | Universidad de Valladolid

La teledetección es una ciencia nueva que presenta conexiones importantes con la astronomía, puesto que buena parte de los estudios actuales sobre los planetas pueden considerarse como una utilización de la misma hacia otro soporte diferente del terrestre. En este artículo se presentan sus métodos de trabajo y algunas aplicaciones, haciendo especial énfasis en su utilidad para el trabajo astronómico.

## La teledetección como ciencia espacial.

La teledetección es la ciencia que tiene como objeto el conocimiento de las superficies planetarias sin necesidad de una relación física directa. Es decir, mediante satélites artificiales. Es una disciplina relativamente nueva, que se encuentra aún en fase de desarrollo, y de la que se preveen progresos muy importantes en los próximos años como consecuencia del desarrollo tecnológico.

El método de trabajo en teledetección conjuga dos disciplinas clásicas: la Física, encargada de diseñar los sensores más apropiados para los fenómenos que se desean medir y de producir unas imágenes precisas, libres de errores y calibradas; y la Geografía, que se encarga de su integración e interpretación. Es una disciplina plenamente objetiva -en cuanto que se basa en magnitudes medibles y en hipótesis contrastables-, que requiere una buena capacidad de análisis y síntesis, y que ofrece a la sociedad resultados directos que mejoran nuestra vida. Dentro de la teledetección podemos englobar a productos meteorológicos, como los satélites Meteosat, Tiros- NOAA y Nimbus, a aplicaciones destinadas a mejorar los rendimientos agrícolas, al cartografiado del terreno, al control de las sequías y los desastres naturales, a la búsqueda de nuevos yacimientos mineros, a la gestión forestal, a la ordenación del territorio, y un largo etcétera que no ha hecho más que comenzar.

## Un principio básico: el análisis de la luz.

El principio básico en el que se basa la teledetección es el diferente comportamiento de los objetos ante diferentes tipos de radiación, es decir, de luz. El ser humano observa a la naturaleza por una ventana muy estrecha: la de la luz visible, que no es más que un tipo de *luz*, con unas características determinadas, y que sólo se diferencia de los rayos X, los ultravioletas y los infrarrojos en la magnitud de un parámetro: la longitud de onda. El que el rayo de luz sea más inquieto o más calmado es lo que determina su clase, y los animales hemos evolucionado para percibir determinados umbrales. Es bien sabido que los murciélagos no *ven* en el mismo sentido que nosotros, sino que *sienten* con sus órganos sensitivos otro tipo de radiación, al igual que los gatos son sensibles a longitudes de onda que les permiten ver mejor en la oscuridad. Pues bien, lo que permiten las técnicas de teledetección es utilizar un mayor rango de estas longitudes de onda, como si además de nuestros ojos utilizáramos un tipo de gafas que nos mostraran el mundo de otra manera.

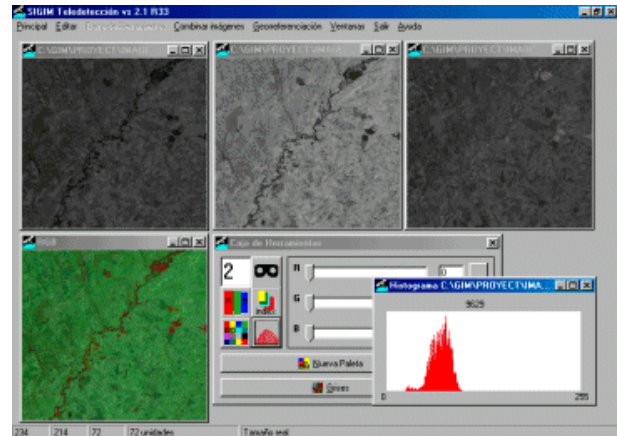


Figura 1: Combinación de canales e histograma.

## El principio básico en el que se basa la teledetección es el diferente comportamiento de los objetos ante diferentes tipos de radiación

En la figura 1 se pueden ver tres imágenes de satélite (arriba) tomadas en diferentes longitudes de onda, como si antepusiéramos un filtro de color a una cámara convencional. Lo que se ve en cada imagen es diferente: es cierto que las formas básicas permanecen, pero el brillo relativo de unos puntos con otros varía. Esta diferencia, nos proporciona información sobre lo que hemos observado (con nuestros ojos sólo veríamos lo que aparece en la tercera imagen, aunque en colores).

Combinando imágenes tomadas con estos *filtros* diferentes, las longitudes de onda, podemos diferenciar muchas cosas. En meteorología, por ejemplo, se puede distinguir entre nubes altas y bajas, y medir la temperatura de los diferentes pisos de la atmósfera, lo cual es muy importante para predecir el tiempo. En los estudios agrícolas, podemos saber qué zonas tienen más agua que otras, como en la figura 1 (abajo), en la que las zonas verdes representan cultivos de secano y las rojas de regadío, o podemos, con la ayuda de muchos filtros, llegar a especificar si lo que tenemos ahí son tomates o lechugas, y hasta el estado de crecimiento en el que se encuentran. También es posible, mediante cálculos complicados, establecer el riesgo de incendio de una zona, o determinar qué áreas se inundarán si crece un río determinado.

Otra de las técnicas habituales en teledetección es el

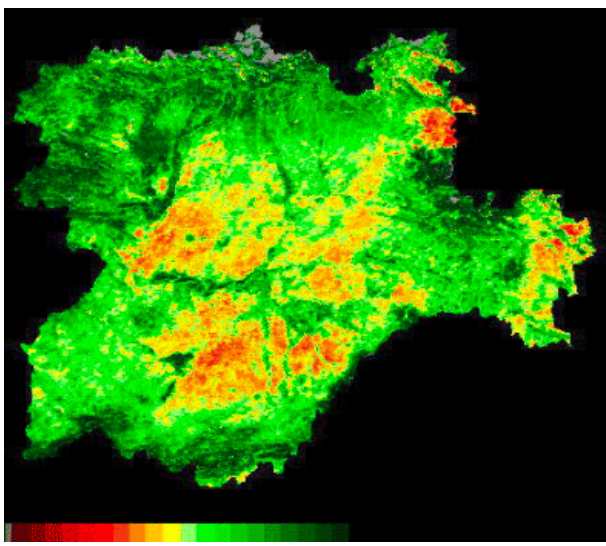


Figura 2: Mapa del estado de la vegetación usando varias imágenes.

cálculo de índices y promedios sobre un conjunto temporalmente amplio de imágenes. Como se ve en la figura 2, se puede calcular el estado medio de, por ejemplo, la vegetación en un periodo dado, o, poniendo otro ejemplo de fuera de nuestro planeta, establecer un mapa de albedos medios de Marte para estudiar la dinámica atmosférica a mesoescala.

### La teledetección fuera de la Tierra.

La teledetección no se ciñe sólo a la Tierra, aunque aquí obtenga sus mejores resultados. Los métodos son muy parecidos cuando lo que observamos es otro planeta, como Marte, aunque en este caso lo que interesa es sólo la estructura geomorfológica del planeta y su meteorología. Parecidos procesos a los que se producen aquí, como la erosión eólica, el desplazamiento por la fusión del permafrost (suelo helado), las estructuras volcánicas, aparecen también allí, y pueden ser observadas y medidas con los satélites. Lo que hace la teledetección es, lo primero, preocuparse de cómo se toman esas imágenes, o mejor dicho, de procurar captar la información que interese. Lo segundo, se dedica a corregir tanto geométrica como radiométricamente las imágenes, y por último, extrae la información y la interpreta. Da igual que el soporte sea el planeta Tierra que Io, las técnicas son muy parecidas.

Dicho así, el proceso parece sencillo, pero no lo es. Detrás de cada corrección hay una fuerte base teórica, y cada aplicación requiere técnicas a menudo originales. En la teledetección hay una parte de técnica pura y otra de experiencia, la de la interpretación de lo que uno está viendo en función de sus conocimientos.

Por otra parte, la teledetección utiliza unas técnicas de tratamiento digital de imágenes que son comunes a la astronomía. Desde la eliminación del ruido de fondo hasta el filtrado de las imágenes en el dominio de la frecuencia mediante la transformada de Fourier, pasando por la

conocida ecualización del histograma o la utilización de filtros de paso bajo para extraer elementos de la imagen.

### Un ejemplo: la meteorología.

Una aplicación interesante para el astrónomo aficionado es la capacidad de los satélites de obtener información meteorológica. En la página web del Laboratorio (<http://www.latuv.uva.es>) se pueden obtener cada 20 minutos imágenes del estado del cielo sobre España, recibidas del Meteosat. Con unos someros conocimientos de meteorología, y con la ayuda de los vídeos digitales que se incluyen en la página, es posible programarse las observaciones. Ya no nos hace falta especular, o hacer caso al hombre del tiempo de la televisión, sino que podemos verlo en directo.

### En la teledetección hay una parte de técnica pura y otra de experiencia

En investigación, el uso de las imágenes meteorológicas es muy importante. En la meteorología terrestre (pero lo mismo se podría decir de la marciana) las imágenes no se utilizan solas, sino que se combinan con otros datos -los mapas de vientos, por ejemplo (figura 3) en los que unos vectores equiespaciados indican la magnitud, dirección y sentido del viento de cada capa de la atmósfera-, y con los productos que se obtienen de las propias imágenes. Y es que la utilidad de tener digitalizada la información es que podemos jugar con ella: una conjunto de 3 imágenes NOAA de diferentes canales, calibradas geométrica y radiométricamente pueden transformarse, mediante los algoritmos adecuados -el split window usualmente- en una carta que nos da la temperatura a 30 cm. del suelo de cuadrados de  $1 \times 1$  km. Y con esa temperatura y los datos de presión y de humedad que también nos da el satélite podemos establecer un modelo de la circulación atmosférica o estimar, haciéndolo a lo largo de toda una estación, la producción de la próxima cosecha de tomates.

El trabajo visual también es útil. Hay verdaderos tratados de interpretación de las imágenes meteorológicas, en los que se explica como, a partir de los canales térmicos, visibles, infrarrojos y ultravioletas se pueden distinguir tanto los tipos de nubes como los procesos asociados a cada una, la evolución probable que va a seguir una borrasca, y las posibilidades de aguaceros o bajadas súbitas de la temperatura. El método es complicado, y se requiere un buen conocimiento previo de la dinámica atmosférica y de la climatología de las zonas, pero la inclusión de las imágenes de satélite ha supuesto un avance muy importante para esta rama de la Ciencia.

### Conclusión.

Posiblemente, lo anterior habrá dejado al lector con un cierto sentimiento de frustración. Se apuntan muchas cosas y no se profundiza en ninguna. Es cierto. Pero cada

uno de los puntos que se han enunciado llevan detrás mucho trabajo: procesar completamente una simple imagen de satélite requiere más de media hora a un operador especializado, sin contar el tiempo de desarrollo del software; buscar accidentes geomorfológicos en Marte y clasificarlos es casi un tema de tesis, y comenzar a entender a un nivel sencillo una imagen meteorológica de 5 canales requiere bastante esfuerzo y muchas horas, además de que son necesarios conocimientos previos de aquello con lo que se trabaja.

Sin embargo, a pesar de que aquí sólo podemos hilvanar los campos en los que actualmente se desenvuelve la teledetección (y nos hemos dejado muchos que no tienen relación con la astronomía: seguimiento de cultivos forestales, de especies marinas, corrientes oceánicas, etc.), lo que sí podemos es animar a los aficionados a la astronomía a acercarse a este mundo. Lo que se puede aprender de tratamiento digital de imágenes es útil para todo aquel que quiera realizar algo útil hoy en día, los conocimientos necesarios para el relieve terrestre valen para otros cuerpos rocosos del sistema solar, y las técnicas físicas para la captación y proceso de la información también son comunes.

Lo que se puede aprender de tratamiento digital de imágenes es útil para todo aquel que quiera realizar algo útil hoy en día

Por otro lado, la teledetección, como ciencia, es muy joven, y aún hay parcelas que los profesionales no podemos cubrir porque es necesario ocuparse primero de lo más cercano, nuestro planeta Y nuestro planeta es muy grande.  $\Omega$

## Referencias

- [1] *Manual of Remote Sensing. American Society of Photogrammetry. 1990. 2 vol.* Cuenta con unos capítulos dedicados a los planetas. Un clásico, aunque carísimo.
- [2] *Remote Sensing and Image Interpretation.* Lillesand & Kiefer. 1994. Tal vez el mejor libro de iniciación, con una buena progresión de conocimientos.

Francisco J. Tapiador  
 tapiador@latuv.uva.es  
 Profesor de teledetección  
 Laboratorio de teledetección  
 Departamento de Física Aplicada I  
 Universidad de Valladolid

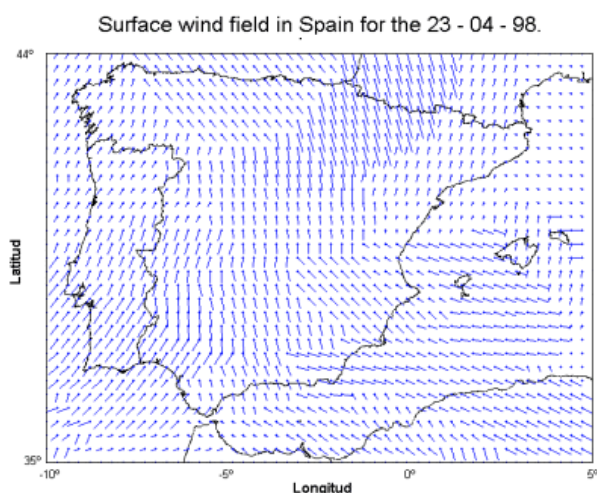


Figura 3: Mapa de vientos.

# Comprendiendo las efemérides astronómicas

Víctor R. Ruiz | Agrupación Astronómica de Gran Canaria

Sin contar con un cielo cubierto después de 200 km de travesía, posiblemente no haya nada más desesperante para un aprendiz de astrónomo aficionado que las interminables tablas de datos astronómicos en las revistas del ramo. En el siguiente artículo desvelamos los secretos tras esas tablas.

## Criptografía astronómica.

Conceptos tan difusos (y poco explicados) como AP, THZ, TU, fase o elongación forman parte de estas y otras publicaciones para observadores celestes que, en la mayoría de los casos, no dejan de ser bonitos recuadros que parecen rellenar espacio. ¿Es que los astrónomos son también criptógrafos aficionados? En realidad, detrás de tanto número se esconden informaciones muy valiosas para la observación, desde la posición de un planeta, hasta la cercanía de un cometa con la Tierra.

## ¿Y eso qué es, Venus o Júpiter?

Las dos 'estrellas' no estrellas más brillantes del firmamento son Venus y Júpiter. Éstos y el resto de planetas, incluida la Luna, caminan en el cielo en torno a una línea denominada eclíptica, que es la carretera por donde el Sol viaja a eso de  $1^\circ$  por día (completa el círculo en un año). Esto es así, porque todos los planetas tienen sus órbitas en un mismo plano. Por tanto, a la hora de localizarlos, siempre deben estar cerca de las constelaciones zodiacales.

Tanto planetas, cometas y asteroides comparten la particularidad, con respecto a las estrellas, que están comparativamente cerca de la Tierra y poseen un movimiento apreciable. La Tierra da una vuelta alrededor del Sol cada 365,24 rotaciones terrestres (días). Marte tarda el doble y Júpiter cerca de 13 años en completar una traslación en torno a nuestra estrella. Desde la Tierra, para un observador todos estos movimientos se combinan y ninguno de dichos objetos permanece quieto de una noche a otra. Las estrellas son un fondo a través del cual caminan los objetos del Sistema Solar. Hay algunas pocas estrellas, visibles con telescopios, cuyo movimiento es apreciable en el transcurso de algunos pocos años.

Volviendo a los planetas, en los cielos despejados y oscuros, alejados de urbes lumínicamente contaminantes, tanto Venus como Júpiter presentan un brillo apreciable, mayor que el de las estrellas más luminosas. Estos dos planetas son bastante diferentes entre sí. A parte de tener nombres distintos, el primero es un planeta rocoso de tamaño similar a la Tierra y cercano a nosotros, mientras que el otro es un gigante de gas muy alejado. Además, Venus posee una órbita interior a la nuestra, al contrario que Júpiter.

Venus, por tener una órbita interior a la nuestra, sólo puede alejarse  $47^\circ$  del Sol, tanto por al atardecer como al amanecer, por lo cual podrá localizarse como máximo

un par de constelaciones atrás o delante del Sol. Júpiter no, y campa a sus anchas por las constelaciones zodiacales esté donde esté el Astro Rey.

## Descriptando las efemérides.

Aunque la forma más simple de localizar a los planetas es recurrir al listillo de turno, también se pueden consultar las efemérides de algunas publicaciones astronómicas o de planetarios electrónicos. En ocasiones, como es el caso del ECU, los planetas estarán bien dispuestos y dibujados en sus constelaciones correspondientes para la fecha que hayamos determinado. Pero a veces nos las tendremos que ver con tablas de datos. Tomemos el caso de Júpiter para principios de julio de 1998 en la figura 1.

El orto y ocaso nos informa de la hora en tiempo universal (TU) en los que el objeto sale y se pone por el horizonte. Como ya sabrás, esto depende de la longitud y latitud del observador y de las coordenadas del cuerpo celeste. Por supuesto, las efemérides de este ejemplo sólo son válidas para España. La ascensión recta (AR) y declinación (Dec) son nuestras coordenadas celestes favoritas y con ellas podremos localizar al planeta con un planisferio o atlas celeste.

¿Y la elongación? Rehaciendo técnicamente la explicación del apartado anterior, Venus tiene una elongación máxima de  $47^\circ$ . Este parámetro nos dice a cuántos grados del Sol se encuentra el objeto celeste. Aunque a veces no se especifica, en algunas publicaciones sí nos indican si la elongación es vespertina o matutina. En este caso, Júpiter (con elongación matutina) está a  $101^\circ$  del Sol (202 diámetros lunares). Comentando algo más sobre este parámetro, Mercurio, que también es interior a la Tierra, tiene una elongación máxima de  $20^\circ$ .

En los cometas, además, se suelen completar las efemérides con otros parámetros. Por ejemplo, la Unión Astronómica Internacional dice del cometa C/1998 J1 (SOHO) ciertas cosas en la figura 2.

La fase es una medida similar a la elongación; no en vano, es la elongación que posee la Tierra vista desde el cometa. La fase, para los observadores terrícolas, es destacable por ser el tamaño máximo en grados que puede mostrar la cola del cometa, algo que dependerá de su actividad.  $\Delta$  es la distancia que nos separa del cometa SOHO en unidades astronómicas (UA). En este caso concreto, a día 5 ago 1998, el SOHO estaría poco más de dos veces más lejos de la Tierra que nosotros del Sol ( $1 \text{ UA} = \text{distancia Tierra-Sol} = 150 \text{ millones de kilómetros}$ ). Por otra parte,  $r$  son las UA que el cometa está separado del Sol.

Fecha	Orto	Ocaso	AR	Dec	Elong.	Magnitud
01 ago	01:32	13:21	23h53m41s	-02°03'44"	101°	-2,6

Figura 1: Efemérides de Júpiter para principios de julio de 1998.

Fecha	AR	Dec	delta	r	Elong	Fase	Magnitud
05 ago	10h11,26m	-50°52,3'	2,156	2,041	70°	20°	12,8

Figura 2: Efemérides del cometa C/1998 J1 (SOHO).

Si has estado atento a las noticias astronómicas en los últimos años, sabrás que hay cometas muy brillantes como el Hale-Bopp y otros no tanto como el Hyakutake. No, no me he vuelto loco (aún). A una misma  $\Delta$  y  $r$ , el C/1995 O1 (Hale-Bopp) sería admirable en comparación con el C/1996 B2 (Hyakutake). Esto se debe a que los cometas presentan brillos intrínsecos distintos. El Hale-Bopp tiene un núcleo de entre 40 y 70 km, mientras que el Hyakutake no pasa de los 3 km. Sin embargo, ocurrió que el cometa de nombre japonés pasó bastante cerca de la Tierra, no así (para nuestra desgracia y desdicha) el Hale-Bopp. El brillo intrínseco,  $m_0$ , es la magnitud visual del cometa cuando  $\Delta = 1$  y  $r = 1$ , osea, cuando el cometa está a 1 UA de la Tierra y del Sol a la vez. A partir de ella se calcula la magnitud visual del cometa para otros valores de delta y  $r$  a partir de la fórmula

$$m = m_0 + 5\log(\Delta) + n.\log(r)$$

( $n$ , para más inri, depende de la composición del cometa).

Para generar estas efemérides y ver la trayectoria de los cometas y asteroides se ofrecen a menudo los elementos orbitales.

## Ocultaciones.

Aunque las ocultaciones más fascinantes son los eclipses de Sol y Luna, hay otras más comunes. La Luna, con su diámetro de  $0,5^\circ$  se interpone ocasionalmente entre nosotros y algunas estrellas brillantes. Incluso a veces consigue ocultar algún planeta. Por lo general, es posible observar cada noche a través de un telescopio alguna ocultación de estrellas de magnitud 6. Puesto que nuestro satélite natural está bastante cerca de la Tierra, desde diferentes lugares de la geografía terrestre, en un mismo instante, la Luna presenta una diferente posición (AR y Dec).

Las efemérides de ocultaciones por la Luna especifican el nombre del objeto, la hora de la desaparición y reaparición, y sobre todo el ángulo de posición (AP) del evento. Puesto que la Luna es un disco, al observador se le indica en qué dirección se producirá la desaparición y reaparición.

Que la Luna eclipse la luz de muchas estrellas no es de extrañar. Pero actualmente es posible predecir la ocultación de estrellas por cuerpos comparativamente insignificantes: los asteroides. Observar las ocultaciones de

estrellas por asteroides resulta de interés para determinar con precisión la órbita de los planetas menores. Al igual que los eclipses de Sol, solamente son observables en una franja determinada de la Tierra. Dada la incertidumbre del diámetro del asteroide y de su posición, en las efemérides de ocultación la hora es orientativa y debe observarse 10 minutos antes y después de lo indicado. A parte de indicarnos el nombre y coordenadas de la estrella, también podemos ver la caída de magnitud ( $\Delta m$ ) y la duración máxima del evento. Puesto que los asteroides reflejan luz, la ocultación no es total, o al menos el observador (si tiene la suerte de estar en la franja real de ocultación) verá un decremento de la magnitud de la estrella y no una desaparición total.

## La Danza de los Satélites.

Y seguimos jugando al escondite. Los satélites galileanos de Júpiter presentan fenómenos mutuos. A través de telescopio, e incluso con prismáticos, las cuatro grandes lunas jovianas danzan de un lado para otro orbitando al gigante gaseoso. Galileo quedó sorprendido cuando descubrió que las cuatro estrellas que observó por primera vez cerca de Júpiter le acompañaban en su travesía las siguientes noches y formaban parte de un mini sistema solar. En ocasiones éstos realizan fenómenos mutuos: se ocultan unos a otros.

Las efemérides de los fenómenos mutuos suelen ser simples. En primer lugar se indica la fecha, hora y protagonistas del evento. Por tradición (y ahorro de espacio) se utilizan las siguientes convenciones para denominar a los satélites: I = Io, II = Europa, III = Calisto, IV = Ganímedes.

Sin embargo, bien es cierto que es más normal ver otro tipo de efemérides relacionadas con los satélites galileanos. Las lunas de Júpiter pasan por delante (tránsito) y detrás (ocultación) del planeta. Incluso, las sombras de estos satélites se proyectan en el gigante gaseoso y en este caso tenemos un tránsito de la sombra. Un cuarto tipo de evento es el eclipse de los satélites jovianos por la sombra de Júpiter.

## Lluvias y tormentas.

Finalizando este recorrido por las páginas de efemérides de diferentes publicaciones, nos detenemos en las estrellas fugaces, también denominadas meteoros. La mayoría



Figura 3: Programa de efemérides y planetario electrónico XEphem, versión 3.2.

de los meteoros son restos micrométricos de cometas, que éstos dejan al acercarse al Sol y vaporizarse. Los meteoros recorren toda la órbita del cometa formando un tubo, tanto más denso cuanto más cerca del núcleo del cometa. Alguno de estos tubos cortan la órbita de la Tierra y cuando nuestro planeta se encuentra con ellos, las partículas que son absorbidas por nuestra atmósfera se queman mucho antes de llegar al suelo. Por un efecto de perspectiva, los meteoros de una misma lluvia parecen radiar de un punto en el cielo. La actividad de cada lluvia depende de varios factores, entre los que cabe destacar la cercanía entre las órbitas del cometa y de la Tierra, además de la edad del tubo meteórico.

Afortunadamente, en una época determinada no solamente hay activa una única lluvia, sino que la Tierra suele cruzar por varios tubos a la vez. La Organización Mundial de Meteoros (IMO) y la Sociedad de Observadores de Meteoros y Cometas de España (SOMYCE) mantienen una lista anual con las lluvias y su actividad prevista.

Un ejemplo de tabla de efemérides de meteoros es:

Lluvia	Fechas	Máximo	THZ
Perseidas	17 julio-24 agosto	12 agosto	80

Las Perseidas están activas desde el 17 de julio hasta el 24 de agosto, más de un mes. Su actividad suele ser moderada y apreciable durante ese mes, aunque alcanza dos máximos pronunciados pero cortos. Antes del año 1987 sólo existía un máximo el día 12 agosto, en el que se podían ver hasta 80 meteoros a la hora. A partir de 1988, sin embargo, se comenzó a apreciar un nuevo pico de actividad algunas horas antes. El cometa asociado a las Perseidas, el P/Swift-Tuttle, se recuperó en 1993 y el

nuevo pico de actividad está asociado al material reciente que trajo consigo el cometa en su acercamiento al interior del Sistema Solar. ¿Por qué Perseidas?: precisamente porque todos los meteoros de esta lluvia parecen radiar de un punto situado en la constelación de Perseo.

El único parámetro especial en las efemérides de meteoros es la THZ, que quiere decir tasa horaria zenital. ¿Se ven los mismos meteoros desde una ciudad con alta polución lumínica que desde el oscuro y despejado cielo del Observatorio del Roque de los Muchachos? No. La THZ es una medida estándar que nos ofrece una aproximación de los meteoros por hora que veríamos desde un cielo muy oscuro, totalmente despejado y con el radiante de la lluvia en el zénit. Como buenos meteorólogos (aplíquese a los estudiosos de meteoros, que no a los climatólogos) la actividad de los meteoros se han clasificado según su THZ.

Lluvia	< 200
Sub-tormenta	200-1000
Tormenta menor	1000-1500
Tormenta grande	5000-25000
Tormenta excepcional	> 25000

## Generando efemérides.

Existen algunos programas de astronomía especialmente indicados para generar efemérides astronómicas, aunque casi todos en inglés. Uno de los más famosos es *AstroLab*, disponible para la plataforma MS-Windows. No es una lindeza visual, pero está repleto de opciones que un buen astrónomo aficionado sabrá valorar. WET (*Windows Ephemerid Tools*) está realizado por la casa del ECU (The Earth Centered Universe) y está disponible de forma gratuita en <http://www.nova-astro.com>. WET genera efemérides para asteroides y cometas en forma de tablas.

Entre los más planetarios electrónicos más sobresalientes, está la *Danza de los Planetas*. Este programa tiene en cuenta el movimiento del eje de la Tierra (precesión) y también realiza correcciones por influencias gravitatorias. Toda una joya. Es para MS-DOS y puedes echarle un vistazo copiándolo desde

<ftp://ftp.ulpgc.es/pub/windows95/astronomia>.

Otras opciones para Macintosh es el *Voyager II* o el *RedShift 3* (recientemente traducido a la plataforma Windows) de características similares a la Danza de los Planetas.

Para el sistema operativo Linux, el programa todoterreno es *X-Ephem*. Este programa funciona tanto como planetario electrónico como para la creación de tablas de efemérides, y en su desarrollo ha contado con el apoyo de astrónomos profesionales. En *Astronomía Digital 1* realizamos una descripción del programa. Para colmo, si eres programador, tienes a tu disposición el código fuente. Si es así, quizás también te pueda interesar el libro "Algoritmos astronómicos", de Jean Meeus.

Está publicado en inglés por la editorial Willmann-Bell (<http://www.willbell.com>) y en él podrás encontrar la explicación y algoritmos en los que se han basado, por ejemplo, el WET y el ECU. En concreto, estos productos han licenciado el código fuente que viene con el disquete opcional del libro.

## Bebiendo de las fuentes del saber.

Por supuesto, si acudes a bibliografía o fuentes específicas encontrarás muchas más efemérides y parámetros más detallados que las que he ofrecido en este artículo, así que te aproveches.

En la Red, algunos lugares específicos para efemérides, en español, son:

- Astronomía Caraqueña, del Observatorio ARVAL (Venezuela). Especialmente indicada para aficionados del Hemisferio Sur.  
<http://www.arval.org.ve/ACCS.htm>.
- Página de ocultaciones de la Agrupación Astronómica de Madrid (AAM) con efemérides sobre ocultaciones de asteroides, de estrellas por la Luna, eclipses lunares, solares... Está mantenida por José Gómez Castaño.
- Página de efemérides de Tribuna de Astronomía, con las efemérides publicadas en la edición de papel. Por Arturo Ramírez Montesinos.  
<http://www.laeff.esa.es/~tribuna>.

En el web de la AAGC hay más información y explicaciones sobre todo tipo de efemérides, aunque están insertadas en artículos y noticias. Listar todos y cada uno de ellos sería bastante largo, échale un vistazo al índice temático en <http://aagc.dis.ulpgc.es/indice.html>. Especialmente, las magnitudes de brillo astronómicas están explicadas en

<http://aagc.dis.ulpgc.es/obsvar.html>

En España, la fuente más indicada para obtener efemérides astronómicas precisas es el libro del Real Observatorio Astronómico de San Fernando, que quizás puedas conseguirlo en la base naval más cercana (si estás en Madrid, mejor que preguntes en alguna librería).

## Apéndice. Relatividad temporal (Tiempos no tan universales).

Sería un caos si cada uno de los astrónomos del mundo indicase sus observaciones en la hora local. En España nos podríamos entender más o menos bien, pues sólo hay dos husos horarios. En EEUU la cuestión es más complicada: CST, EST, MST, PDT... ¿Y en Rusia? Para poner a todos de acuerdo, se utiliza el tiempo universal (TU, UT en inglés), que coincide con la hora media de Greenwich (GMT) y no tiene en cuenta los cambios por horarios de verano/invierno.

En época estival, para hallar el TU a partir de la hora local en el territorio peninsular español, se restan dos horas, mientras que en Canarias sólo una. En invierno, en Canarias se está en TU, pero en la península han de restar 60 minutos a la hora local.

El problema del Tiempo Universal es el movimiento irregular de la rotación terrestre. Nuestro amado planeta, rota cada vez más lento y en cantidades impredecibles. Desde 1960 a 1983, los anuarios astronómicos utilizaron el Tiempo de Efemérides (TE, ET en inglés) que estaba basado en los movimientos planetarios. Posteriormente, se ha venido utilizando el Tiempo Dinámico (TD, DT en inglés), basado en relojes atómicos. El Tiempo Dinámico está a su vez calculado a partir del Tiempo Dinámico Terrestre (TDT) y del Tiempo Dinámico Bariocéntrico (TDB, en inglés lo mismo), pero sólo difieren entre sí 0,0017 segundos a causa de efectos relativísticos.

La diferencia entre el TD y el TU se denomina  $\Delta(T)$ .

$$\Delta(T) = TD - TU$$

y viene especificada en los anuarios astronómicos. En el año 1993,  $\Delta(T)$  era de +60 segundos.

Por tanto, en las efemérides ofrecidas por diferentes fuentes, ten en cuenta si te ofrecen el tiempo en TU o en TD.

En las observaciones de estrellas variables, se suele utilizar, a parte del TU, el día juliano (DJ, JD en inglés). Para ello se cuentan los días que han transcurrido desde el 1 de enero de -4713 aC. Destaca la particularidad de que la fecha cambia a las 12h del mediodía. Por ejemplo, el día 4 ago 1998 a las 00:00 TU, corresponde al día juliano 2451030,50 (0,50 = 12h00m).  $\Omega$

Víctor R. Ruiz  
[rwr@idecnet.com](mailto:rwr@idecnet.com)  
Agrupación Astronómica de Gran Canaria (AAGC)  
Apartado de correos 4240  
35080 Las Palmas de Gran Canaria  
Islas Canarias



# Estrellas dobles y múltiples con CCD

Francisco A. Violat Bordonau | Asesores Astronómicos Cacereños

Uno de los trabajos que actualmente el aficionado tiene más abandonado (aunque en el pasado no fue así) es el seguimiento, estudio y búsqueda de estrellas dobles y múltiples. Con la misión de buscar el poder resolutivo práctico de mi SBIG ST-4, acoplada a un catadióptrico SC-203 mm de abertura con 2 metros de focal, además de para estudiar objetivamente estos sistemas estelares, he realizado una larga serie de observaciones de estrellas múltiples que expongo aquí brevemente. Cosa curiosa: si de mi ponencia en estas Jornadas, en 1996, nació mi obra “Astronomía Planetaria con CCD”, de este artículo verá la luz próximamente mi libro “Estrellas dobles y múltiples con CCD”.

Desde 1993 dispongo de una CCD de la casa SBIG, modelo ST-4, quizá una de la primeras que funcionó en Cáceres para el estudio de planetas primero, y estrellas dobles o múltiples posteriormente; con ella he realizado un montón de estudios planetarios, campo en el cual me he especializado desde 1979, aunque sin descuidar otras parcelas interesantes de la Astronomía como objetos de cielo profundo (estrellas dobles o múltiples, nebulosas, cúmulos, galaxias o quasares).

Nada más adquirir el instrumento busqué los límites del conjunto telescopio-cámara, observando para ello estrellas múltiples: en el verano de 1996 y 1997, aprovechando noches de muy buena estabilidad atmosférica, repetí una gran parte de aquellas imágenes con la intención de observar algunos pequeños cambios en los sistemas estudiados; algunos son estrellas binarias ópticas (sistema de mera perspectiva, sin relación física entre ellas), en las cuales no se ha detectado en los últimos decenios (e incluso siglos) cambio alguno, otras son parejas de período largo o muy largo, por lo cual no es fácil apreciar de manera significativa una variación en sus parámetros.

**Una cámara SBIG modelo ST-4 acoplada a un SC-203 mm, con una focal de 2 metros, es capaz de resolver a foco primario estrellas múltiples de 3" en condiciones favorables**

Desde que Herschel, en 1779, iniciase de modo serio la observación de estrellas múltiples, se vienen realizando numerosos trabajos en este campo, interesante desde el punto de vista de la Mecánica Celeste porque permite medir, de modo bastante preciso, las masas estelares.

Cuando observamos con un buen telescopio una estrella múltiple (mal llamadas dobles, porque esto nos excluye todas las estrellas con tres o más componentes, como el Trapecio en el seno de M 42) reparamos en la presencia de un astro brillante (estrella primaria), otro de brillo similar o más reducido (estrella secundaria) e incluso otras estrellas (terciaria, cuaternaria...) de brillo menor; vemos que entre la primaria y la secundaria existe una separación, distancia que se mide en segundos de arco (") y, partiendo del Norte en sentido Este-Sur-Oeste, podemos

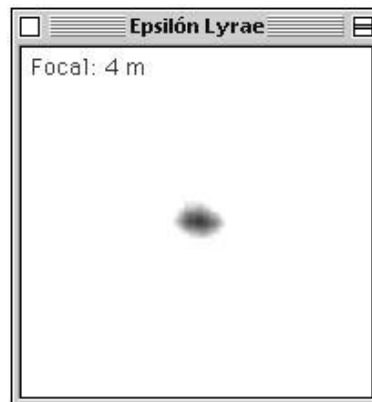


Figura 1:  $\epsilon$  (epsilon) Lyrae.

determinar qué ángulo existe entre la principal y la secundaria: el ángulo de posición (AP) medido en grados. Estos dos parámetros nos definen una buena parte de la información del sistema múltiple; interesante es medir también el color de los componentes, algo siempre más subjetivo y que está sujeto a la agudeza visual cromática del observador o al empleo de métodos objetivos (fotografía clásica o con una CCD y filtros fotométricos).

Una cámara SBIG modelo ST-4 acoplada a un SC-203 mm, con una focal de 2 metros, es capaz de resolver a foco primario estrellas múltiples de 3" en condiciones favorables: esto quiere decir que las componentes no han de tener un brillo tan elevado que cualquier integración sature el chip o que la diferencia de brillo entre ellas no ha de ser exagerada; si las componentes del sistema múltiple tienen una magnitud inferior a la 6ª una integración de 1 segundo satura ya la capacidad del chip, necesitando exposiciones más reducidas o el empleo de un filtro de color; si la estrella primaria tiene magnitud 8ª y la secundaria magnitud 12ª la diferencia de 4 magnitudes entre ellas obliga a prolongar el tiempo de integración: la estrella principal saldrá sobreexpuesta y la secundaria correctamente expuesta.

Un buen ejemplo de lo dicho lo encontramos en  $\gamma$  (gamma) Bootis: la primaria es de magnitud 3ª y la secundaria, situada a 33", es de magnitud 12ª: la diferencia entre ellas es de 9 magnitudes y la captura muy difícil; en  $\tau$  (tau) Bootis pasa lo mismo: una primaria de magnitud

4,5<sup>a</sup> y una secundaria de magnitud 11,5<sup>a</sup> a 5,4" con AP 7° (1958). En las binarias más abiertas una focal de 2 metros basta mientras que en las más cerradas, incluso con 4 metros, tenemos dificultades si la noche es algo turbulenta: en estos ejemplos se aprecia lo dicho para  $\epsilon$  (epsilon) Lyrae a la derecha (2,3") y Cor Caroli ( $\alpha$  (alfa) Canes Venatici), de 20", a la izquierda. Se puede ver claramente que la resolución no es idéntica entre ellas.

## La diferencia de color (temperatura superficial estelar) es también un problema que puede solventarse de modo parcial

Para sistemas múltiples con separaciones inferiores a 3" la resolución ya no es total, no se aprecia el hueco entre astros, salvo que se incremente la distancia focal a 4 ó más metros, se disponga de cielos poco turbulentos, se trabaje con tiempos de integración cortos y se empleen filtros. La diferencia de color (temperatura superficial estelar) es también un problema que puede solventarse de modo parcial: si tenemos un sistema múltiple en el cual la primaria es azul y la secundaria roja, intercalando un filtro rojo en el camino óptico conseguimos que la primaria aparezca con un brillo menor que la secundaria reduciéndose la diferencia de magnitud entre ellas; una primaria gigante roja y una secundaria azul pueden igualar sus brillos con el empleo de un filtro azul o violeta. Como es natural estos filtros no deben dejar pasar la parte infrarroja del espectro, algo muy frecuente en los filtros usuales del mercado; el empleo del filtro NR-400F con los anteriores resuelve el problema.

En la denominación de los sistemas estelares se emplearon frecuencia la letra griega  $\Sigma$  (Sigma), pues corresponde al descubrimiento de W. Struve, OS si la descubrió Otto Struve, su hijo o bien el número que posee dentro del ADS (Catálogo de Aitken, 1932).

Algunos ejemplos pueden dar una idea más clara de todo lo comentado; la precisión conseguida en mis mediciones es de  $\pm 0,2''$  como media, aunque la turbulencia de la noche puede hacer oscilar este valor arriba o abajo.

## Sistemas dobles.

Son los más habituales y más conocidos: formados por dos astros, a veces de brillo similar y a veces exageradamente desiguales en brillo, no es fácil apreciar cambios en sus parámetros salvo en los sistemas más rápidos, que son habitualmente los más cerrados para nuestros instrumentos. En ocasiones son cuerpos bastante cercanos o incluso muy próximos ( $\alpha$  (alfa) Centauri, Sirio) dándose el caso de apreciar, en pocos años, el movimiento de traslación de sus astros alrededor del baricentro común del sistema (Proción, Sirius, 70 Ophiuchi) y, a veces, también el desplazamiento real del sistema a través del cielo, como en el caso de 61 Cygni, 70 Ophiuchi o 17 Lyrae.

Entre los sistemas dobles más comunes, amplios, fáciles de capturar, resolver y medir con toda comodidad, puedo mencionar los siguientes:

- 61 Cygni (ADS 14636) situada en la posición AR: 21h 06 m y Dec.: 38° 45' (2000): este sistema binario, distante sólo 11,1 años-luz, es muy famoso por haber sido uno de los primeros cuya distancia a la Tierra fue conocida (Bessel, 1838). Formado por dos estrellas enanas rojas (espectros K5V y K7V), la componente B gira en torno a la A en un período de 653 años. Se da la circunstancia de que su movimiento aparente de desplazamiento, descubierto por G. Piazzi en 1782, es elevado (5,22" al año), con lo cual una CCD como la mía puede poner de manifiesto este movimiento en sólo 6 meses o menos, tomando como referencia las estrellas vecinas (mostradas en esta imagen), situadas mucho más distantes y que podemos tomar como marco de referencia: se nos aproxima a 38 millas por segundo.
- $\Sigma$  1850 (ADS 9277) situada en la posición AR: 14h 28 m y Dec.: 28° 17' (2000), fue medida por primera vez en 1832 por Struve; se encuentra formada por un astro primario blanco (espectro A0) de magnitud 7,0<sup>a</sup> y otro secundario del mismo espectro y color con magnitud 7,4<sup>a</sup> separados por una distancia cómoda de 25,6" con un AP de 262° (1958); la distancia entre ellas y las magnitudes tan similares favorece la captura y resolución en cortas integraciones. No se han registrado cambios en estos elementos desde su descubrimiento; pese a todo con mi CCD yo mido 25,5" en 1996. Quizá sea un par de perspectiva y no un sistema binario orbital, pero para esto sería preciso efectuar mediciones más a menudo durante un período de varios años más...

## $\delta$ (delta) Bootis es bastante fácil de capturar y resolver dada su separación

- $\delta$  (delta) Bootis ( $\Sigma$  I 27), situada en la posición AR: 15h 15m y Dec.: 33° 19' (2000): fue medida por primera vez en 1835 por Struve (aparece con el número 27 en su Primer Suplemento de su célebre catálogo) también llamada ADS 9559 en el Catálogo de Aitken; está formada por una estrella primaria amarilla (espectro G8III) de magnitud 3,47<sup>a</sup> y una secundaria amarillenta (espectro K0) de magnitud 8,7<sup>a</sup> separadas por una distancia de 105" con un ángulo de 79°: yo mido 106" en 1996. Es bastante fácil capturar y resolver dada su separación, aunque no debería serlo tanto por sus magnitudes tan dispares; se aproxima a nosotros a 12 km/s y dista unos 140 años-luz; ambos astros se desplazan juntos por el cielo a nada menos que 0,15" por año. Una fácil e interesante pareja incluso para un ocular mediano en un telescopio pequeño.

- $\mu$  (mu) Bootis ( $\Sigma$  I 28), situada en la posición 15h 24m, 37° 23' (2000): fue descubierta en 1826 y medida por primera vez en 1834 por Struve (es la número 28 del Primer Suplemento) llamada también ADS 9626; formada por una primaria A de magnitud 4,3<sup>a</sup> (tipo F0) y una doble muy cerrada (S 1938) de magnitud conjunta 6,5<sup>a</sup> formada por una estrella B de magnitud 6,98<sup>a</sup> y una estrella C de magnitud 7,63<sup>a</sup> separadas por 2,3" con AP 9° (1996), que no llego a desdoblarse del todo. La distancia A-BC era de 108" con AP 171° (1956); yo mido 107" en 1996. B y C son estrellas similares al Sol con un período orbital de casi 260 años; se aproxima a unos 9 km/s.

## Sistemas dobles cerrados.

Dentro de los sistemas dobles encontramos algunos que, por su separación reducida y diferencia de magnitudes notorias, son ya difíciles de capturar y estudiar o incluso del todo imposible para este instrumento; algunos de ellos son sistemas cerrados de órbita rápida ( $\eta$  (eta) Coronae Borealis con 42 años, o  $\tau$  (tau) Cygni con 50 años), aunque otros poseen períodos de varios siglos ( $\epsilon$  (epsilon) Lyrae, con 1,165 y 585 años respectivamente). Ejemplos pueden ser:

- $\zeta$  (zeta) Corona Borealis ( $\Sigma$  1965), situada en la posición 15h 39m, 36° 38' (2000): denominada también ADS 9337 la primera medición data de 1829; está formada por un astro principal blanco (espectro B6) de magnitud 5,1<sup>a</sup> y otro también blanco (espectro B7) de magnitud 6,0<sup>a</sup> separados por 6,3" con AP 305° (1973); en 1996 yo mido 6,33". El movimiento aparente del sistema es tan lento, que desde su descubrimiento apenas si se han separado 0,3" y girado +4°. No es difícil para mi CCD dado el brillo tan similar y la buena separación entre los componentes, aunque el estudio no puede efectuarse con la comodidad de sistemas anteriores.

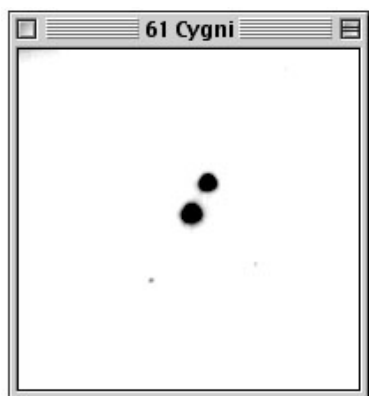


Figura 2: 61 Cygni.

- $\epsilon$  (epsilon) Bootis ( $\Sigma$  1877), situada en la posición 14h 45m, 27° 04' (2000), fue descubierta por Struve en 1829. Está formada por un astro amarillento (espectro K0 II) de magnitud 2,5<sup>a</sup> y otro de magnitud azul-verdoso de 5<sup>a</sup> (espectro A2) separado sólo por 2,8" con AP de 339° (1971), yo mido 2,68" en 1996: muy difícil para mi equipo dado el brillo de la primaria y la corta separación entre ambas. Ambas componentes se aproximan hacia nosotros a unos 16 km/s y forman un par orbital real. No es fácil de ningún modo para la CCD ya que la separación es muy reducida: incluso con 4 metros no es fácil tomar buenas exposiciones, debido a la turbulencia atmosférica.

## Sistemas múltiples.

Cuando en un sistema estelar (sea orbital o de mera perspectiva) nos encontramos con más de dos astros, tendemos a denominarlos genéricamente estrella doble, pese a que el nombre correcto sería sistema múltiple: hay ejemplos de tres estrellas ( $\pi$  (pi) Bootis o  $\sigma$  (sigma) Coronae Borealis, de cuatro estrellas (el Trapecio o  $\epsilon$  (epsilon) Lyrae) o incluso de cinco componentes (17 Lyrae una ellas); dependiendo del brillo de cada estrella y de la distancia a la primaria, serán sistemas resoluble total o parcialmente.

Veamos algunos ejemplos de sistemas triples, cuádruples o quintuples.

- $\pi$  (pi) Bootis ( $\Sigma$  1864), sistema triple situada en la posición AR: 14h 40m y Dec.: 16° 25' (2000), fue descubierta por Struve en 1830; en aquella época la separación medida fue de 5,8" con un AP de 99°, estos datos referidos a 1982 eran 5,6" y 111°: se trata de un sistema orbital con periodo muy largo formado por una primaria azulada (espectro A0) de magnitud 4,9<sup>a</sup> y una secundaria naranja de magnitud 5,8<sup>a</sup>. Una tercera componente, de magnitud 10<sup>a</sup>, puede observarse a 127" con AP 162°: yo mido unos 126" en 1996.

La diferencia de brillos entre ellas (casi 5 magnitudes) impide que, en una única toma, aparezcan claramente las tres componentes: con exposición reducida separamos A-B pero no aparece C, con una exposición más larga aparece C pero A-B se funden en un borrón. El sistema dista unos 1,630 años-luz de nosotros y sus componentes principales se nos acercan a 1 y 7 km/s respectivamente.

- $\sigma$  (sigma) Corona Borealis ( $\Sigma$  2032), situada en la posición 16h 14m, 33° 52' (2000): descubierta por Struve en 1827 se encuentra formada por dos astros amarillos (espectros G0V y G1V), distantes unos 70 años-luz, de magnitudes 5,58<sup>a</sup> y 6,59<sup>a</sup> separados por una distancia de 7" con un AP de 235° (1996); yo mido 6,81". Es fácil para la CCD dada la pequeña diferencia entre ellas y la cómoda distancia;

no lejos de la binaria (unos 71" con AP 85° en 1933) aparece un tercer astro (en realidad es una cuarta componente D: la tercera estrella C –llamada LTT 14836– es una enana roja de magnitud 13,1<sup>a</sup> a 8,7") de magnitud 10,6<sup>a</sup> que se captura con bastante facilidad a costa de sobreexponer el par principal. La distancia según mis imágenes actuales ha subido a los 79", un incremento de 8" en 63 años; el AP había rotado de 1836 a 1933 en -4°.

Como suele ser habitual en componentes de brillo muy desigual (7 magnitudes), la tercera componente *C* sólo aparece cuando se sobreexpone la imagen, con lo cual el par *A-B* queda fundido en un único borrón. El período *A-B* se calcula en 1.000 años!

- 17 Lyrae ( $\Sigma$  2461), situada en la posición 19h 07m, 32° 30' (2000): este curioso sistema fue medido por primera vez en 1830 y es prácticamente desconocido por el aficionado, pese a ser muy interesante; lo conocí por casualidad en 1996 al cubrir, de modo rutinario, mi cuota de estrellas múltiples en la constelación Lyra. Formado por una estrella principal (F0V) y varias estrellas menores (denominadas *B* a *H*), al hacer las comparaciones de rigor con mediciones de otras fuentes (Sky Catalogue 2000) noté que una de ellas (la componente *C*) aparecía en mis tomas más brillante que las demás estrellas, excepto la *A*, por lo cual algo no concordaba: además este astro parecía mostrar un exceso de luz roja a infrarroja, comparando tomas con filtros rojo y azul; la distancia y el AP tampoco era el medido en 1935; al indagar en el Centro de Datos Estelares, de Estrasburgo, me informaron que se trata de una enana roja (llamada Kuiper 90A) de espectro M5, situada a 26,95 años-luz, cuyo rápido desplazamiento (1,225" al año) estaba próximo al que yo había determinado con mi rudimentario equipamiento (1,097") comparando la posición medida con datos antiguos. Aunque no es fácil apreciar cambios en su posición, por la reducida velocidad de desplazamiento, es posible al comparar tomas separadas por dos o tres años, o medir muy cuidadosamente la distancias a otros astros del campo.

- $\theta_1$  (theta 1) Orionis o Trapecio ( $\Sigma$  748): situado en pleno corazón de la Nebulosa de Orión, en A.R.: 05h 35m, -05° 23' (2000), este conjunto de astros jóvenes (tipos espectrales B2 a B5) puede ser resuelto en sus 4 componentes principales con facilidad: la CCD tiene algunas dificultades en captar correctamente sus brillos (*A*= 6,7<sup>a</sup>, *B*= 7,9<sup>a</sup>, *C*= 5,1<sup>a</sup> y *D*= 6,7<sup>a</sup>), dado que se encuentra inmerso en una nebulosa brillante rojiza. Una cuarta componente (*E*), de magnitud 11,1<sup>a</sup>, es ya muy difícil para mi cámara, al no sobresalir casi nada sobre el brillante fondo nebuloso y encontrarse a sólo 4,1" de la componente *A*; la sexta componente *F* brilla con magnitud 11,5<sup>a</sup> y está a 4" de *C*. Una séptima componente (*G*), de magnitud 16<sup>a</sup> (fuera ya del alcance de mi equipo), puede verse a 7,4" de *C* en el

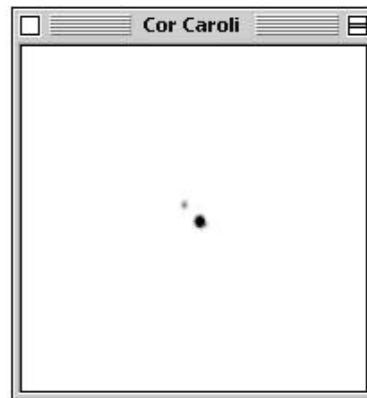


Figura 3: Cor Caroli.

seno del hipotético cuerpo del “trapezio”. En esta imagen se aprecia, además del Trapecio, la brillante estrella doble  $\eta_2$  Orionis ( $\Sigma$  I 46) resuelta en sus dos componentes: 5,2 y 6,5 mag. a 52,5" así como la parte más densa de la nebulosidad, que envuelve completamente el sistema múltiple.

## Conclusión

Estos pocos ejemplos, escogidos entre varios cientos más, demuestran claramente que una sencilla cámara CCD y un telescopio modesto pueden lograr buenos resultados, tanto estéticos como observacionales, a poco que se emplee cuidado en las tomas. Una cámara de mayor calidad, filtros fotométricos, un duplicador de focal y el programa de tratamiento de imagen adecuado pueden obtener todavía más frutos.

El lector interesado en estos trabajos puede encontrar más información práctica en el *Burnham's Celestial Handbook*, el *Sky Catalogue 2000.0* (tomo II), la “Guía del Firmamento” (J. L. Comellas) o la sección que, mensualmente, escribe mi compañero Francisco Manuel Rica en “Tribuna de Astronomía”.  $\Omega$

Francisco A. Violat Bordonau  
Asesores Astronómicos Cacereños  
pacoviolat@redestb.es

# Fotometría fotoeléctrica y CCD

Miguel Regalado Querol | Asociación de Variabilistas de España (AVE)

Hiparco de Nicea (190-125 a.C.) elaboró el primer catálogo estelar que se conoce, estableciendo la clasificación del brillo de cada una de las estrellas por algo que llamó “magnitud”. En 1856, Norman Pogson confirmó experimentalmente el descubrimiento realizado décadas antes por William Herschel: que una estrella de primera magnitud era alrededor de 100 veces más brillante que una de la sexta magnitud. Desde entonces, el cálculo del brillo de una estrella mediante instrumentos fotosensibles se ha hecho imprescindible para la astronomía. El autor del artículo nos introduce al uso de la fotometría fotoeléctrica.

## Orígenes.

Los orígenes de la fotometría fotoeléctrica se remontan hasta principios de nuestro siglo. Con el descubrimiento de materiales sensibles a la luz, también es el origen de la física del estado sólido, como consecuencia del efecto fotoeléctrico estudiado por A. Einstein, el dispositivo utilizado fue una *célula fotoeléctrica*, al incidir la luz sobre ella el material sensible desprendía electrones lo cual se traduce en una pequeña corriente eléctrica, era el año 1911.

La fotometría fotoeléctrica fue ganando en precisión conforme aparecieron nuevos materiales, dicho de otro modo conforme avanzaba la teoría del estado sólido, hasta el día de hoy en el cual las mediciones se hacen bien con fotomultiplicadores, bien con fotodiodos. Los tubos fotomultiplicadores son extremadamente sensibles a la luz, por ello se deben manejar con extremo cuidado, es por ello que los fotodiodos suelen utilizarse para las estrellas más brillantes.

La principal ventaja de este tipo de fotometría es la precisión que se consigue, hasta 0,008 magnitudes, lo cual nos permite trabajar cómodamente con variables de corto período, también aquellas que poseen una amplitud de variación menores que 1 magnitud, o con variables eruptivas del tipo UV Ceti, o R Corona Borealis, entre otras.

Sin embargo las mediciones que realicemos por este tipo de fotometría tienen que hacerse a través de filtros para obtener medidas estándar, el sistema más usado por los aficionados es el UBVRi desarrollado por Johnson y Morgan en los años cincuenta, debemos tener en cuenta que no son necesarios todos los filtros, si tan sólo se trata de hacer mediciones de brillo nos basta con el V, aunque el filtro B también nos vendría bien para hacer estudios más avanzados, así podemos obtener el índice de color B-V de las estrellas, pudiendo estimar la clase espectral a la que pertenecen, o calcular las edades de unos cuantos cúmulos estelares, entre otras cosas. Cabe decir que estos filtros están centrados en unas determinadas longitudes de onda, así el U (ultravioleta) tiene el máximo en los 350 nm, el B (azul) en 430 nm, el V (visual) en 550 nm, el R (rojo) en 700 nm y el I (infrarrojo) en 900 nm, este sistema está aún más ampliado con más filtros que se sitúan más hacia el infrarrojo. Lo habitual es hacer fotometría UBVRi, sin embargo los que posean un Schmidt-Cassegrain no pueden utilizar el filtro U, ya que

la placa Schmidt impide el paso de rayos ultravioletas.

En nuestro caso para trabajar con variables nos es suficiente el filtro V. Este tipo de filtros son especiales. No vale uno cualquiera a pesar de que tenga el máximo en la misma longitud de onda que los del sistema de Johnson, ya que cada filtro tiene una curva de sensibilidad concreta. Los tipos de filtros comúnmente utilizados para dar el paso de banda estándar deseado son de vidrio Schott, ver tabla adjunta, aunque podemos investigar acerca de otro tipo de filtros que sean más baratos, ya que los mencionados pueden costarnos del orden de 10.000-20.000 Ptas. para cada paso de banda, en algunos casos se trata de una combinación de dos vidrios.

Filtro	Vidrio Schott	Grosor
U	UG1	1 mm
B	GG385+BG12	3 mm
V	GG495+BG17	3 mm
R	OG570+BG38	3 mm
I	RG9	2 mm

## Cálculos prácticos.

En este apartado nos vamos a dedicar a realizar los cálculos pertinentes que uno debe realizar a la hora de realizar fotometría fotoeléctrica. En fotometría diferencial utilizamos la ley de Pogson un tanto modificada, en nuestro caso:

$$\begin{aligned} m &= m_c - m_v \\ m &= -2,5 \cdot \log\left(\frac{i_c}{i_v}\right) \end{aligned} \quad (1)$$

donde  $m_c$  y  $m_v$  son las magnitudes de la estrella de comparación y de la estrella variable en cuestión;  $i_c$  e  $i_v$  serán las intensidades netas medidas por el aparato correspondientes, (es muy importante que la respuesta del fotodiodo sea lineal) como su subíndice indica, a la estrella de comparación y a la variable. Puesto que nosotros sólo conoceremos las intensidades lo que estaremos calculando será la diferencia de magnitud entre la estrella de comparación y la estrella variable. Puesto que el valor de  $m_c$  será conocido sólo debemos sumarle el valor de  $m$

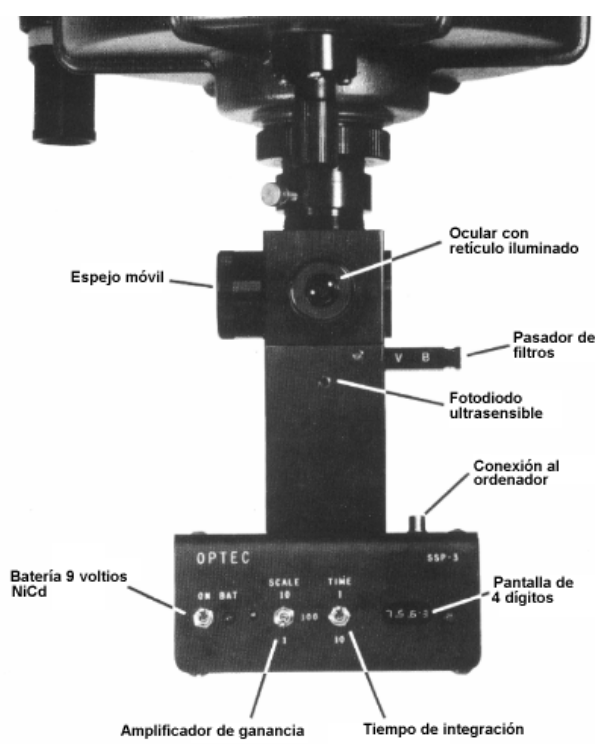


Figura 1: Partes de un fotómetro fotoeléctrico, montado sobre el portaoculares de un telescopio catadióptrico.

calculado para conocer  $m_v$ . No obstante, antes que nada debemos hacer una medición del *background* (brillo del fondo del cielo) del cielo, este nos producirá una intensidad  $i_b$  la cual debemos restarla al valor calculado para las diferentes intensidades estelares medidas y así obtenemos un valor neto. Este problema se debe a la luminosidad intrínseca de la atmósfera, ya que las moléculas y átomos que la componen emiten radiación también por la noche. Esto hace que las noches no sean totalmente oscuras (este problema no lo tendríamos en la Luna). En fotometría diferencial, se suele utilizar, además, una estrella adicional de chequeo por si acaso la estrella de comparación fuese variable.

Así pues, el valor neto de la medida es el que colocaremos en la ecuación 1:

$$\begin{aligned} i_c &= i_{cb} - i_b \\ i_v &= i_{vb} - i_b \end{aligned} \quad (2)$$

Donde  $i_{cb}$  será el valor en bruto de la medida hecha para la estrella de comparación y, de igual modo, para la variable. El valor de  $i_b$  lo obtenemos en una zona próxima a la estrella en cuestión, para cada caso, en la cual no halla estrella alguna. Cabe decir que no es necesario realizar medidas del *background* cada vez que observemos una estrella, únicamente es un chequeo rutinario y se realizará ocasionalmente, durante el tiempo de observación. En estos momentos seremos conocedores de  $m$ , este valor aún no se lo podemos sumar al valor conocido  $m_c$ , ya que este es un valor estándar, el cual se supone extraatmosférico y

corregido al sistema UBV. De este modo, y como primera tarea antes de empezar a trabajar en fotometría debemos calcular una serie de factores que afectan a nuestro lugar de observación y a la sensibilidad de nuestro instrumento, para el primer caso calcularemos los coeficientes de extinción de primer y segundo orden, para el segundo caso calcularemos los coeficientes de transformación.

Algo que debemos tener en cuenta a la hora de hacer fotometría es la precisión que queremos conseguir, la mayor precisión posible a obtener depende de si calculamos o admitimos unos valores medios, para los coeficientes de extinción de nuestro lugar de observación. Tanto si hacemos fotometría *all sky*, como si hacemos fotometría diferencial (que es el caso que nos ocupa), es imprescindible conocer los coeficientes de extinción.

## Cálculo de los coeficientes de extinción.

Como ya hemos comentado las magnitudes estelares que se dan en los catálogos son magnitudes corregidas, primero extraatmosféricas, luego estandarizadas al sistema UBV, todo esto se hace para que las medidas de brillo no difieran de manera notable de un observador a otro, de no ser así el trabajo de realizar observaciones fotométricas sólo lo podría hacer un observatorio en el mundo, y todos deberíamos confiar en esas mediciones, este hecho carece de sentido, lo más práctico y lógico es realizar observaciones a lo largo y ancho del planeta, y puesto que las condiciones de observación, y de instrumental de trabajo difieren entre los distintos observadores se tiene que trabajar con patrones estándar, así pues el primer paso es calcular la masa de aire del lugar de observación.

La atmósfera terrestre esta establecida de manera estratosférica, es decir compuesta por una serie de estratos de diferente densidad, esto hace que un rayo de luz al penetrar en la atmósfera no sólo no cambie su dirección sino que la va cambiando continuamente conforme cambia de estrato, ya que el índice de refracción es distinto para cada estrato, esto se traduce en una curvatura de la trayectoria del rayo. Sin embargo, la trayectoria a seguir depende del ángulo de entrada del rayo (Ley de Snell), es por ello que la refracción es menor en la dirección al zenit, el ángulo de entrada es de  $0^\circ$ , y por tanto, la desviación del rayo será nula, aunque la atmósfera absorberá parte de la luz de la estrella, otra cuestión es que puesto que el índice de refracción depende de la de la luz monocromática incidente, lo cual significa que la luz no se refracta por igual, siendo mayor la refracción conforme disminuye, es por ello que observemos un enrojecimiento de las estrellas y diferentes astros cuando se hallan a poca altura. De esto último podemos concluir que es aconsejable observar a distancias zenitales ( $z$ ) pequeñas, aunque en general, y dependiendo del lugar de observación, podemos llegar a una  $z$  del orden de  $50^\circ$  a  $60^\circ$ .

Hecha esta introducción necesaria para aclarar conceptos veamos como podemos calcular la masa de aire ( $X$ ).

$$X = \sec(z) \quad (3)$$

donde  $sec$  es la secante o la inversa del coseno de la distancia zenital  $z$ . Este valor es igual también a:

$$sec(z) = \frac{1}{sen(\phi) \cdot sen(\delta)} + cos(\phi) \cdot cos(\delta) \cdot cos(H) \quad (4)$$

donde  $\phi$  es la latitud geográfica del lugar de observación,  $\delta$  es la declinación de la estrella y  $H$  es su ángulo horario, esto es, la distancia del meridiano del lugar de observación al astro siguiendo un arco paralelo al ecuador celeste siendo 0h para el meridiano y continuando el sentido hacia el oeste del meridiano, expresado en grados. La latitud geográfica del lugar es, pues, necesario conocerla, la declinación de la estrella se debe calcular también para la época de observación debido a la precesión de los equinoccios, ya que las coordenadas que nos den para esta estrella en los atlas estelares están calculadas para los equinoccios de épocas concretas, p.e. 1950,0 o 2000,0 etc., así pues el valor de la declinación en el momento de observación la calcularemos del siguiente modo, daremos la precesión en ascensión recta también ya que nos será necesaria para más adelante:

$$\Delta\alpha = (m + ns \cdot tan(\delta_m) \cdot sen(\alpha_m)) \cdot (t_f - t_i) \quad (5)$$

$$\Delta\delta = (n'' \cdot cos(\alpha_m)) \cdot (t_f - t_i). \quad (6)$$

De esta forma calculamos el incremento en coordenadas respecto a la época para la cual conocemos las coordenadas, al final después de todo el cálculo debemos sumar este incremento a las coordenadas conocidas para saber el valor de las coordenadas actuales, el valor de los parámetros son los siguientes:

$$\begin{aligned} m &= 3s,07234 + 0s,00001863 \cdot t_m \\ ns &= 1s,336457 - 0s,00000569 \cdot t_m \\ n &= 20,04685 - 0,0000853 \cdot t_m \\ t_m &= \frac{t_f - t_i}{2 - 1900}, \end{aligned}$$

donde  $t_f$  es la época para la cual calculamos las nuevas coordenadas (p.e. 1996),  $t_i$  la época para las cuales conocemos las coordenadas (p.e. 1950) y  $t_m$  es la media en años desde 1900, para los cuales son conocidas las constantes que aparecen en el resto de parámetros,  $m$ ,  $n$  y  $n''$ . Los valores de los incrementos en ascensión recta y en declinación vendrán dados en segundos y segundos de arco, respectivamente, debéis recordar que los valores de las coordenadas conocidas del astro,  $m$  y  $m$ , deben estar expresados en grados para poder calcular las funciones trigonométricas.

Una vez conocidos los incrementos les sumamos las coordenadas conocidas, para obtener las coordenadas de la época del momento de observación.

El siguiente paso será calcular el ángulo horario del astro, este se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$H = TSL - \alpha \quad (7)$$

Siendo  $TSL$  el tiempo sideral local, el cual para calcularlo os remito al boletín de efemerides de la asociación, y siendo la ascensión recta calculada para la época del momento de observación. Recordad que debemos pasar  $H$  a grados para calcular la masa de aire  $X$ . En este momento podemos pasar a calcular los coeficientes de extinción, para ello necesitamos una tabla de estrellas escogidas por sus características, ver apéndice 1, el tipo ideal son estrellas A0V, cuyos índice de color B-V y U-B son 0, no obstante se suelen utilizar estrellas en el rango -0,15 a +0,15, que están próximas al tipo deseado, por supuesto deben ser estrellas individuales, o sistemas cuyas componentes esten notablemente separadas, y, por supuesto, que no sean variables.

Así pues utilizamos las siguientes ecuaciones:

$$v = -2,5 \cdot \log(i) + A_v \quad (8)$$

$$v = v_0 + k'_v X \quad (9)$$

Donde  $v$  es la magnitud visual medida,  $v_0$  la magnitud visual extraatmosférica,  $k'_v$  el coeficiente de extinción de primer orden y  $X$  la masa de aire,  $i$  es la intensidad que medimos. La constante  $A_v$  es la ganancia expresada en magnitudes.

Antes que nada debemos calibrar dicho valor si se trata de un fotómetro comercial en el manual de dicho instrumento se recomendará como hacerlo, es necesario calibrarlo ya que puede haber pequeñas variaciones en el valor que se nos indica. En general los fotómetros hechos con fotomultiplicadores tienen escalas de ganancia en magnitud que van desde la 0,0m hasta la 7,5m mientras que los fotómetros hechos con fotodiodo el origen de la escala es notablemente superior, ya que estos por si mismos, al contrario que los fotomultiplicadores, no amplifican nada la señal. Así, el origen de la escala puede situarse, también dependiendo del tipo de fotodiodo, en la 5,0m. En este caso, y dado que nosotros nos dedicamos en este manual única y exclusivamente a fotómetros de fotodiodo, no es necesario realizar los ajustes de calibrado ya que el valor de las resistencias que incorpora el circuito amplificador, y que son las que nos dan a conocer el valor de la ganancia, poseen valores demasiado elevados. Por esta razón, la variación es mínima en comparación con el valor de la resistencia y por ello no perderemos precisión en el valor de nuestras medidas, o mejor dicho, no introduciremos errores.

Dicho esto podemos continuar con la tarea emprendida unos párrafos más arriba. Así pues, dado que conocemos todo, excepto  $v_0$  que es una constante, y  $k'_v$  que es otra constante, digamos local, ya que únicamente es válida para el lugar de observación donde estemos, hallaremos, pues, dichas constantes mediante un ajuste por mínimos cuadrados, la pendiente de la recta será  $k'_v$ , la ordenada en el origen será  $v_0$ , siendo esta la magnitud visual extraatmosférica obtenida, para ello debemos medir  $v$  para distintas  $X$ , recordad que estamos calculando el coeficiente de extinción de primer orden y para que este predomine sobre el de segundo orden debemos la masa de aire pa-



ra cada 5° de rotación de la Tierra, por ejemplo, nunca menos de 1°.

Debemos hacer lo mismo con los otros filtros, es decir, para cada filtro las ecuaciones serán como siguen a continuación:

- Filtro U,  $u = -2,5 \cdot \log(i_u) + A_u, u = u_0 + k'_u X$
- Filtro B,  $b = -2,5 \cdot \log(i_b) + A_b, b = b_0 + k'_b X$
- Filtro R,  $r = -2,5 \cdot \log(i_r) + A_r, r = r_0 + k'_r X$
- Filtro I,  $i = -2,5 \cdot \log(i_i) + A_i, i = i_0 + k'_i X$

A continuación pasamos a calcular el coeficiente de extinción de segundo orden. En este caso debemos utilizar dos estrellas patrón que estén muy próximas,  $< 1^\circ$ . Así pues la ecuación que utilizaremos será:

$$\Delta v = k_v'' \Delta(b - v)X + v_0.$$

De igual modo para el resto de filtros:

$$\begin{aligned}\Delta b &= k_b'' \Delta(u - b)X + b_0 \\ \Delta r &= k_r'' \Delta(v - r)X + r_0 \\ \Delta i &= k_i'' \Delta(r - i)X + i_0\end{aligned}$$

Para la medición con el filtro U, existe un problema, y puesto que se extralimita de las intenciones de este manual introductorio, os invito a consultar la bibliografía. Tan sólo diremos que como aproximación  $k_u''$  la consideramos igual a  $k_b''$ , siendo el error que introducimos de esta manera, para conocer el índice de color (U - B) de 0,03. Por otra parte debemos tener en cuenta que vamos a utilizar casi siempre el filtro V, únicamente, para realizar mediciones fotométricas.

## Cálculo de los coeficientes de transformación.

En este apartado, pasamos a calcular los coeficientes de transformación, que son únicos para nuestro sistema telescopio-filtro-fotómetro. Estos coeficientes son necesarios para transformar nuestras medidas a las del sistema estándar UBVRI.

Si únicamente realizamos mediciones con el filtro V, el problema se reduce a calcular el coeficiente V. Utilizamos la siguiente ecuación:

$$V = \epsilon V(B - V) + v_0 + V$$

Lo más útil es utilizar un cúmulo, puesto que todas las estrellas se hallan muy próximas entre si el ángulo horario (H) es prácticamente el mismo, debemos tener en cuenta que si pudiésemos efectuar la medición de 8 estrellas, como mínimo, a la vez sería lo ideal ya que las condiciones no variarían nada en absoluto, por ello cuando menos tiempo tardemos en efectuar nuestras mediciones, mejor. Así pues, se trata de realizar un ajuste de la recta:

$$V - v_0 = V(B - V) + V$$

La pendiente de dicha recta será el coeficiente de transformación y la ordenada en el origen será el “punto origen” V (en la literatura anglosajona *zero point*). Para los filtros U, B, R e I tendremos;

$$\begin{aligned}U - u_0 &= u(U - B) + u \\ B - b_0 &= b(B - V) + b \\ R - r_0 &= r(V - R) + r \\ I - i_0 &= i(R - I) + i\end{aligned}$$

El procedimiento empleado en el caso del filtro V se emplea, del mismo modo, con el resto de filtros para calcular sus respectivos coeficientes de transformación. Los “puntos origen” son unas constantes únicas para cada sistema telescopio-filtro-fotómetro, que incluyen todas las características necesarias para peculiarizar dicho sistema.

Cuando vayamos a traducir la magnitud de nuestra estrella variable, en un momento dado, a estándar nos encontramos con un problema, y es el desconocimiento del valor estándar del índice de color necesario para calcular la magnitud estándar en un filtro dado. Situación ideal, que toda variable fuera periódica, que pudiéramos tener una efemérides muy exactas, y que, para el momento en el que estamos, conociéramos el índice de color que, previamente, alguien había calculado.

Situación real, elegimos el valor sin estandarizar, por ejemplo si es el caso sustituimos (B - V) por (b - v)<sub>0</sub>, este valor si que lo podemos conocer nosotros ya que lo hemos calculado para el instante dado para el cual calculamos la magnitud  $v_0$ , es decir necesitamos utilizar ambos filtros, puesto que el valor del coeficiente de transformación es muy pequeño el error introducido de este modo será mínimo, también, aunque, lógicamente, acumulable. Al final todo dependerá de la variable que estemos observando, y de si su índice de color dado, varía mucho entre el máximo y el mínimo de brillo, si varía muy poco también podemos escoger un valor medio del mismo, en este caso me refiero al valor estándar, y así utilizar únicamente un filtro para nuestras mediciones.

Como vemos cuanta más precisión queramos conseguir con nuestro sistema, más complejo se convierte el proceso previo a las mediciones de variables.  $\Omega$

## Referencias

- [1] Petit, M., *Les étoiles variables*, Ed. Masson.
- [2] Glasby, J.S., *Variable stars*, (1969), Harvard University Press.
- [3] Tsesovich, V.P., *Eclipsing variable stars*, Halsted Press.
- [4] Percy, J.R., *The study of variable stars using small telescopes*, 1986, Cambridge University Press.

- [5] Kurkanin, B.V. et al., *General catalogue of variable stars*, 1969, Moscú.
- [6] Jaschek, C., Jaschek, M., *The classification of stars*, 1987, Cambridge University Press.
- [7] Hall, D., Genet, R., *Photoelectric photometry of variable stars*, 1982, IAPPP.
- [8] Henden, A.A., *Astronomical photometry*, (1982), Van Nostrand Reinhold.
- [9] Golay, M., *Introduction to astronomical photometry*, 1974, Reidel D. Publ. Co.
- [10] Wood, F.B., *Photoelectric astronomy for amateurs*, 1963, Macmillan.
- [11] Sterken, Chr., Manfroid, J., *Astronomical Photometry, A Guide*, 1992, Kluwer Academic Publishers.
- [12] Irwin, J.B., *Astronomical techniques*, (1962), University of Chicago Press.

Miguel Regalado Querol  
 Miquel.Regalado@uv.es  
<http://www.uv.es/regalado>  
 Observatorio Astronómico de Buñol  
 Asociación de Variabilistas de España (AVE)  
 Grupo de Electromagnetismo y Ondas  
 Departamento de Física Aplicada  
 Universidad de Valencia  
 46100 España

# SETI@home

Una visita a la red | Gabriel Rodríguez Alberich

La página del proyecto SETI@home es probablemente la web astronómica más visitada de los últimos días. Ciertamente esto se intuye a partir del gran éxito que este ambicioso proyecto ha suscitado a lo largo y ancho del planeta. Son cientos de miles los que han decidido aportar su potencial informático (apenas se necesitan 32 Mb de RAM y conexión a Internet) para tener la oportunidad de participar en la siempre cautivadora búsqueda de inteligencia extraterrestre, aunque las probabilidades sean mínimas. No en vano, en el momento que se escribe este documento, el número de personas que han descargado el cliente asciende a 274.555. Esto supone un ejemplo de trabajo en paralelo con un potencial de cálculo sin precedentes.

El programa, una vez instalado, conecta con el servidor SETI@home y descarga un pequeño paquete de información recogida del cielo por el radiotelescopio de Arecibo (Puerto Rico). Posteriormente lo analiza (este proceso es realmente largo en las versiones de Windows), y envía los resultados del análisis de nuevo al servidor, para descargar nuevamente otro paquete.

En la página “SETI@home: Search for Extraterrestrial Intelligence at Home” se encuentra el software y toda la información necesaria para echar a andar con él, y comenzar con el aporte de tu pequeño grano de arena. Dispone de una FAQ (Frequently Asked Questions - Preguntas Comunes) por si surge algún problema. Por si te pica la curiosidad, y quieres aprender más sobre cómo funciona todo el sistema, cuenta también con documentación técnica adicional. Se puede descargar el cliente para varias plataformas, como Windows 95/98, Macintosh y diversos UNIX. El lanzamiento del cliente para Windows

y Macintosh tiene apenas unos días, aunque la versión de UNIX está en la red desde hace varias semanas, en proceso de prueba.

Una de las cosas más entretenidas que ofrece la página es la posibilidad de consultar las estadísticas del proyecto, donde es posible informarte de cuánta gente participa, qué sistema operativo utilizan, qué país aporta más (EEUU como era presumible), etc. Como dato significativo: el tiempo total de procesamiento contanto con todos los ordenadores asciende a la nada desdeñable cifra de 6.648.257 horas, 23 minutos, 00.1 segundos. ¡Esto equivale a 759 años de proceso! De esta manera se aprecian las ventajas del cálculo distribuido. La web incluye además información sobre el Instituto SETI, con enlaces a las webs de todos sus proyectos, y a otros ejemplos de proyectos donde se utiliza la computación distribuida. Ω

## Direcciones de interés.

- SETI@Home,  
<http://setiathome.ssl.berkeley.edu/>
- Instituto SETI,  
<http://www.seti-inst.edu/>
- Observatorio de Arecibo,  
<http://www.naic.edu/>

---

**Guía Digital** es una sección coordinada por Gabriel Rodríguez Alberich. Envía tus comentarios sobre páginas web y programas informáticos a [chewie@airtel.net](mailto:chewie@airtel.net)

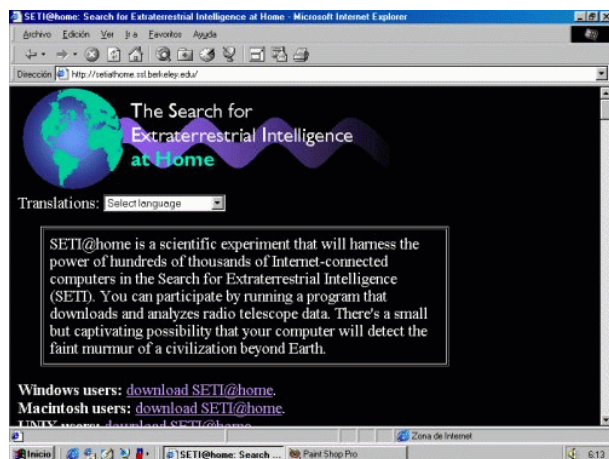


Figura 1: Página web de SETI@home.

•AstroRED•

# ASTRONOMÍA DIGITAL