

· AstroRED ·
**ASTRONOMÍA
DIGITAL**

Número 8, 7 de agosto de 2000

<http://digital.astrored.org>

Los eclipses de Sol y Luna



"Houston, tenemos
un problema"

LEONIDAS 2000

SKYMAP PRO 6

Ciencia ficción

EL VIAJERO REDUNDANTE

Guía para los autores

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.

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 PNG 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. 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
Apartado de correos 207
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

Sobre la Estrella de Belén, <i>Cartas al director</i>	4
Fuentes de la juventud — <i>Víctor R. Ruiz</i>	6
¡Marchando una de eclipses! — <i>Inés Rodríguez Hidalgo</i>	9
Leónidas 2000: Predicción revisada hacia arriba — <i>Ignacio Ferrín</i>	13
Apolo 13: “Houston, tenemos un problema” — <i>Jesús Gerardo Rodríguez Flores</i>	15
Astronomía y Matemáticas — La Transformada de Fourier (I), <i>Francisco J. Tapiador</i>	24
Guía Digital — Museo Español del Espacio, <i>Gabriel Rodríguez Alberich</i>	27
SkyMap Pro 6: Mucho más que un planetario — <i>Miguel A. Vallejo</i>	29
Astrofísica digital: Espectros estelares — <i>Ángel Rafael López</i>	32
Ciencia ficción — El viajero redundante, <i>Gabriel Rodríguez Alberich</i>	38

Editorial

Internet, sin duda alguna, se ha convertido en los últimos tiempos en una de las tecnologías más rápidamente adoptadas en los países industrializados. Sin duda alguna, **Astronomía Digital** nace al amparo de las posibilidades que ofrece la Red de Redes. Nos llena de orgullo ser un punto de encuentro entre astrónomos de países muy lejanos, tanto por lectores como por colaboradores.

En España, desde hace pocas semanas los internautas podemos disfrutar de la tarifa *semiplana*. Con ella, y en horario de 6 de la tarde a las ocho de la mañana, pagamos siempre una cuota fija sin importar el número de horas que estemos conectados. Gracias a esto, algunos servicios están teniendo una creciente aceptación (y si no nos crees, te invitamos a que te pases por el canal #astronomia en el chat del irc-hispano).

Esto hará que en poco tiempo puedan aparecer más y mejores servicios que por el alto coste de conexión hasta ahora estaban vedados. Para **Astronomía Digital** esto supondrá poder llegar a un número más amplio de lectores y poder contar con mayor número de colaboradores. Y es precisamente ahí donde centraremos nuestros próximos esfuerzos.

Deseamos de todo corazón a nuestros amigos latinoamericanos que pronto tengan un acceso de este tipo.

Buenas noches... de observación, naturalmente.

PD: Nos gustaría mucho recibir los boletines de asociaciones astronómicas. Estamos convencidos de que hay muchos artículos estupendos que se quedan sin llegar a un público más amplio, y querríamos darles salida desde esta revista. ¡Muchísimas gracias!

Víctor R. Ruiz



Sobre la Estrella de Belén

David Bellido hace algunas puntualizaciones sobre el artículo de Jesús Gerardo Rodríguez publicado en el número anterior

Considero que quizá se han pasado por alto algunos aspectos referentes a la datación de la fecha del nacimiento de Cristo, y a la naturaleza de la estrella conocida como “de Belén”, temas tratados en esta revista bajo el artículo titulado “Tras la pista de los reyes magos y la estrella de Belén”.

Para empezar, me gustaría centrarme en la parte que concierne a la fecha del nacimiento de Jesucristo. Estamos de acuerdo en que nació el 25 de diciembre, y que fue una fecha puesta por conveniencia a los propósitos de la época, en un afán por unificar más la religión con el estado. Pero también tengo serias dudas en cuanto a la otra fecha propuesta en el artículo, como es el año 7 a.JC. Mis investigaciones me han llevado a descartar por completo esa fecha, y a atrasarla un poco más, exactamente a principios de octubre del año 2 a.JC.

Me voy a valer principalmente de dos argumentos:

- La muerte de Herodes.
- El comienzo del ministerio de Juan el bautista.

Su nacimiento en relación con la muerte de Herodes.

Aunque la fecha de la muerte de Herodes es un asunto muy debatido, hay bastantes razones para pensar

que se produjo en el año 1 a.JC. Algunos cronólogos sostienen que murió en el año 5 ó 4 a.JC. Su cronología se basa, en gran parte, en la historia de Josefo. Al fechar el tiempo en que Roma nombró rey a Herodes, Josefo usa una “datación consular”, es decir, coloca el acontecimiento durante la gobernación de ciertos cónsules romanos. De acuerdo con este hecho, se debió nombrar rey a Herodes en el año 40 a.JC. A Josefo le contradice otro historiador, Apiano, cuyos datos situarían el nombramiento en el año 39 a.JC. Siguiendo el mismo método, Josefo emplaza la toma de Jerusalén por parte de Herodes en el año 37 a.JC, pero también dice que ocurrió veintisiete años después de que Pompeyo tomó la ciudad (63 a.JC), lo que significaría que Herodes tomó la ciudad de Jerusalén en el año 36 a.JC (*Antigüedades Judías*, libro XIV, cap. XVI, sec. 4.) Ahora bien, Josefo dice que Herodes murió a los treinta y siete años de que los romanos lo nombraran rey y treinta y cuatro años después de que tomó Jerusalén. (*Antigüedades Judías*, libro XVII, cap. VIII, sec. 1.) La fecha de su muerte, según este último cálculo, sería, por lo tanto, el año 2, o quizás el año 1 a.JC.

Es probable que el historiador judío Josefo contase los reinados de los reyes de Judea por el método del año de ascensión al trono, como se había hecho con los reyes de la línea

de David. Si Roma nombró rey a Herodes en el año 40 a.JC, su primer año de reinado pudo ir de Nisán de 39 a Nisán de 38 a.JC. De igual manera, si se cuenta desde su toma de Jerusalén en el año 37 (o 36) a.JC, su primer año de reinado pudo empezar en Nisán de 36 (o 35) a.JC. Por lo tanto, si, como dice Josefo, Herodes murió treinta y siete años después de que Roma lo nombrara rey y treinta y cuatro años después de tomar Jerusalén -y si estos años se cuentan en cada caso según el año reinante-, su muerte pudo producirse el año 1 a.JC. W. E. Filmer argumenta sobre este asunto en *The Journal of Theological Studies* (edición de H. Chadwick y H. Sparks, Oxford, 1966, vol. 17, pág. 284) y escribe que de la tradición judía puede deducirse que la muerte de Herodes ocurrió el 2 de Sebat (el mes de Sebat cae entre los meses de enero y febrero).

Vayamos al tema del eclipse. Según Josefo, Herodes murió no mucho después de un eclipse de Luna y antes de una Pascua. (*Antigüedades Judías*, libro XVII, cap. VI, sec. 4; cap. IX, sec. 3.) Puesto que hubo un eclipse el 11 de marzo del año 4 a.JC. (13 de marzo según el calendario juliano), algunos han llegado a la conclusión de que este era el eclipse al que hizo referencia Josefo.

Por otra parte, hubo un eclipse de Luna en el año 1 a.JC., unos tres meses antes de la Pascua. Además, este

eclipse fue total, mientras que el del año 4 a.JC. fue solo parcial. El eclipse total del año 1 a.JC. se produjo el 8 de enero (10 de enero, calendario juliano), 18 días antes del 2 de Sebat, el día tradicional de la muerte de Herodes. Otro eclipse (parcial) ocurrió el 27 de diciembre del año 1 a.JC. (29 de diciembre, calendario juliano). Otra forma de hacer el cálculo gira en torno a la edad de Herodes cuando murió. De acuerdo con el texto original, Josefo dice que murió alrededor de los setenta años y que recibió su nombramiento como gobernador de Galilea (acontecimiento fechado por lo general en el año 47 a.JC.) cuando tenía quince años, aunque los doctos lo han considerado un error, entendiéndolo que se quiso decir veinticinco años, por lo que corrigen la cifra en algunas ediciones. (*Antigüedades Judías*, libro XVII, cap. VI, sec. 1; libro XIV, cap. IX, sec. 2.) De acuerdo con estos datos, la muerte de Herodes ocurrió en el año 2 o en 1 a.JC. Sin embargo, debemos tener en cuenta que Josefo es muy poco consecuente al fechar los acontecimientos, y por lo tanto no es la fuente más confiable.

Entre el nacimiento de Jesús y la muerte de Herodes tuvieron lugar varios acontecimientos. Por ejemplo: la circuncisión de Jesús al octavo día (Lu 2:21), el que se le llevara al templo de Jerusalén cuarenta días después de su nacimiento (Lu 2:22, 23; Le 12:1-4, 8), el viaje de los astrólogos “de las partes orientales” a Belén (donde Jesús ya no estaba en un pesebre, sino en una casa, Mt 2:1-11; compárese con Lu 2:7, 15, 16), la huida de José y María a Egipto con el niño (Mt 2:13-15) y la matanza de los niños menores de dos años en Belén y sus distritos cuando Herodes se dio cuenta de que los astrólogos no habían seguido sus instrucciones (lo que indica que para entonces Jesús no era un recién nacido). (Mt 2:16-18.) El que Jesús naciera en el otoño

del año 2 a.JC. permitiría suficiente tiempo para que esos acontecimientos tuvieran lugar entre su nacimiento y la muerte de Herodes, probablemente en 1 a.JC. No obstante, hay más razones para situar el nacimiento de Jesús en el año 2 a.JC.

Relación entre el ministerio de Juan y el de Jesús.

El historiador bíblico Lucas nos dice que Juan empezó a bautizar en el decimoquinto año de Tiberio César. (Lu 3:1-3.) Augusto murió el 17 de agosto del año 14 d.JC. El 15 de septiembre el senado romano nombró emperador a Tiberio. Los romanos no usaban el sistema de año de ascensión al trono, por consiguiente, el decimoquinto año transcurriría desde la última parte del año 28 hasta la última de 29 d.JC. Juan, que era seis meses mayor que Jesús y empezó su ministerio antes que él -todo parece indicar que en la primavera de aquel año-, fue su precursor y le preparó el camino. (Lu 1:35, 36.) Según indica el registro bíblico, Jesús nació en el otoño, y cuando se presentó a Juan para bautizarse, tenía aproximadamente treinta años. (Lu 3:21-23.) Por lo tanto, lo más probable es que se bautizase en el otoño, hacia el mes de octubre de 29 a.JC. Si contamos treinta años atrás, llegamos al otoño del año 2 a.JC. como la fecha del nacimiento humano del Hijo de Dios.

Ahora pasemos a otro asunto, la estrella de Belén.

La “estrella” vista después del nacimiento de Jesús.

Es obvio que los “astrólogos de las partes orientales”, es decir, de la vecindad de Babilonia, cuya visita al rey Herodes después del nacimiento de Jesús resultó en la matanza de todos los niños varones de

Belén, no eran siervos o adoradores de Dios. (Mt 2:1-18). La palabra hebrea *koh.kjáv*, así como las griegas *a.st.er* y *á.stron*, se aplican en un sentido general a cualquier cuerpo luminoso del espacio, a excepción del Sol y la Luna, que son designados por otros nombres. Se ha comentado que la “estrella” (gr. *a.st.er* que vieron) pudo ser un cometa, un meteorito, una supernova o, la idea más aceptada, una conjunción planetaria. No obstante, ninguno de esos cuerpos o fenómenos pudo “detenerse encima de donde estaba el niño” y así identificar la casa del pueblo de Belén donde se encontraba Jesús. Es también notable que solo estos astrólogos paganos “vieron” la estrella. Tanto el hecho de que las Escrituras condenen la astrología como los resultados adversos de la visita -que puso en peligro la vida del futuro Mesías-, permiten concluir que los astrólogos fueron dirigidos por una fuente *opuesta* a los propósitos de Dios con respecto al Mesías prometido. Es razonable preguntarse si el que “sigue transformándose en ángel de luz”, cuya operación es “con toda obra poderosa y señales y portentos presagiosos mentirosos”, que fue capaz de hacer que una serpiente pareciera hablar y a quien Jesús llamó “homicida cuando principió”, no podía también hacer que los astrólogos ‘vieran’ algo parecido a una estrella que primero los condujo, no a Belén, sino a Jerusalén, donde residía un enemigo mortal del Mesías prometido. (2Co 11:3, 14; 2Te 2:9; Gé 3:1-4; Jn 8:44.)

Creo que he aportado bases suficientes para que se mantengan en pie estas conclusiones. No obstante, aceptaré cualquier tipo de comentario o duda en la dirección de correo abajo indicada. Ω

David Bellido Bazán
zafenat@teleline.es
ESPAÑA



Víctor R. Ruiz | Astronomía Digital

El pasado mes de junio los científicos de la NASA, que acostumbran a redescubrir misteriosa y periódicamente indicios de agua en la Luna o en Marte, o un agujero negro perdido en el centro de la Vía Láctea, tuvieron que adelantar en casi siete días una rueda de prensa, a cuenta de filtraciones en Internet. El anuncio, sobre que en Marte hay también filtraciones, pero de agua, dista ser en esta ocasión de ser otro anuncio vaporoso.

Con 150 pruebas, esta supone una de las noticias más esperadas por geólogos planetarios y, oportunamente, también por la sufrida agencia espacial. Marte se ha convertido de la noche a la mañana en un planeta geológicamente vivo, como la Tierra. Y es que podría haber mucho más agua en el subsuelo. Y donde hay agua, quizás, hay vida.

Imagínese en mitad de un desierto, donde hace siglos que no cae una gota de agua. Y de repente, ante sus ojos, se muestra a lo lejos un oasis. ¿Será un espejismo? ¿Estará sufriendo alucinaciones? Algo así debieron sentir los miembros del equipo de imagen de la *Mars Global Surveyor* (MGS) al estudiar algunas de las fotografías que la sonda ha estado enviando a la Tierra desde 1997. El anuncio realizado por la NASA muestra que en el Planeta Rojo surgen espontáneos manantiales de algún líquido, creando torrentes.

Marte es un desierto. Pero incluso el desierto más desértico de la Tierra es, efectivamente, un oasis si lo comparamos con las condiciones medioambientales marcianas. La temperatura media de Marte es bajísima, de cerca de -50°C , aunque en el ecuador, los termómetros en los días del verano podrían marcar por encima del

cero. Estas condiciones son similares a las del polo sur terrestre, en la Antártida. Y desde luego, allí hay agua en abundancia, en forma de hielo.

El desierto más desértico de la Tierra es un oasis si lo comparamos con las condiciones medioambientales marcianas

El problema de Marte es su ténue atmósfera. Para que el agua se conserve en la superficie de Marte, al menos en estado sólido, la presión debería ser mucho mayor. Pero no es así. Y en estas condiciones el agua se sublima o evapora y escapa a la atmósfera. En la atmósfera marciana, compuesta en la actualidad por un 95% de dióxido de carbono, y sin una capa de ozono que lo evite, las moléculas de agua pueden ser rotas por los rayos ultravioleta. Para colmo, la poca masa de Marte hace difícil que retenga aquellas moléculas y elementos más ligeros, incluyendo la del H_2O , y ya no digamos el oxígeno y el hidrógeno. Un panorama muy feo para cualquiera que pretenda darse una ducha en Marte.

Aunque esta es sólo parte de la historia. En Marte existe agua en cantidades industriales en el casquete de su polo norte y queda al descubierto durante el verano. Posteriormente, las bajas temperaturas hacen que el dióxido de carbono de la atmósfera se congele y cubra el hielo (de agua). Y aún es más, desde que en 1972 la sonda Mariner 9 descubriera canales, lechos de ríos y valles, el resto de misiones, como la Mars Pathfinder y su rover, no han hecho más que confirmar que el agua corrió feliz en Marte en un pasado remoto, entre 3000 y 4000 millones de años. Pero ¿dónde fue a parar tal cantidad de agua? Parte podría haber escapado al espacio, pero muchos geólogos creían que se habría filtrado al subsuelo.

Precisamente, este es el argumento de la película “Desafío Total”, con Arnold Schwarzenegger y Sharon Stone. El héroe se ve embarcado en una misión interplanetaria para descubrir que, hace millones de años unos extraterrestres construyeron una máquina que sublimaba todo el hielo subterráneo de Marte, haciendo incrementar la presión atmosférica, permitiendo que el agua corriera por su superficie y terraformando el planeta... ¡y todo instantáneamente! Bueno, ya sabemos que en Hollywood nada es imposible.

Lo que Malin y Edgett presentaron son evidencias de que en un pasado reciente, y quizás en la actualidad, parte de estas supuestas reservas subterráneas de agua salen a la superficie a través de paredes, originando formaciones características. Estos resultados se han obtenido a partir de unas 150 imágenes, del total de 20 000 que componen hasta el momento la videoteca de la MGS.

Esta centena y media de torrentes marcianos presentan por lo general forma similar a un balcón de teatro, que sangra pared abajo. Poseen uno o dos canales principales o secundarios que fluyen también hacia abajo. En los pies de la formación se observa además un delantal de depósitos.

Malin y Edgett han propuesto un modelo para explicar estas formaciones. Edgett explica que “cuando el agua se evapora, enfría la superficie, esto puede hacer que el agua

detrás del afluente inicial se congele. Esto haría que la presión vaya aumentando detrás del dique helado. Finalmente, el dique se debería romper y el torrente sale hacia el barranco”. El agua no saldría en estado puro, sino mezclada formando barro (con un 10% o 30% de agua), ya que de lo contrario se evaporaría instantáneamente al salir a la superficie. Este proceso se repetiría periódicamente.

La cantidad de agua de uno de estos torrentes podría suplir las necesidades de cien personas durante 20 años, ¡sin reciclar!

En “Desafío Total”, Arnold Schwarzenegger se ve embarcado en una misión interplanetaria para descubrir una máquina extraterrestre que sublimaba el hielo subterráneo de Marte, haciendo habitable su superficie.

El ancho de estos torrentes ocasionales de agua es de pocos metros, por lo que su edad debe ser corta. Los geólogos planetarios suelen contar el número de cráteres de una zona para estimar su edad. En este caso, los científicos sólo han encontrado un solo impacto en un delantal de los más de 150 torrentes observados. Tampoco se han visto degradaciones por erosión en los propios torrentes.

En una de las imágenes tomadas por la MGS en Nirgal Vallis, el delantal cubre parcialmente una zona de dunas. Por tanto, el torrente es más joven que las dunas. Además, las dunas tampoco presenta impacto alguno. Si esta dunas marcianas, que al igual que en la Tierra suelen moverse, son dinámicas hoy en día (algo que se desconoce a ciencia cierta) podría indicar que el torrente tiene unos pocos cientos de años.

Pero ¿de dónde viene el agua en realidad y qué condiciones permiten que se encuentre en líquida en el subsuelo? Los investigadores creen que está a unos pocos cientos de metros de profundidad. El agua correría por cauces rocosos hasta encontrar en algún momento la superficie.

Algo que ha suscitado la extrañeza de los científicos es la localización de los torrentes. Más del 90% se encuentra al sur del ecuador de Marte donde los terrenos son más altos (y por tanto, con menor presión) y casi todos entre 30° y 70° de latitud, lugares mucho más fríos que el ecuador. Por si fuese poco, los torrentes son amigos de las caras montañosas que reciben menos luz, aquellas que miran hacia los polos. El modelo de dique congelado puede explicar parte de estas estadísticas. En las caras que reciben mayor cantidad de energía solar, los diques no pueden formarse y el agua se evapora rápidamente impidiendo la formación de los torrentes.

Vale, vale. Todo esto está muy bien, pero vamos al grano: ¿hay vida en Marte o no? Desde luego, para los estándares que se promueven en la Tierra, sin agua no hay vida. Si parece confirmarse que ayer o hace cien o unos pocos miles de años, el agua afloró a la superficie creando torrentes, eso hace casi incontestable que en el subsuelo

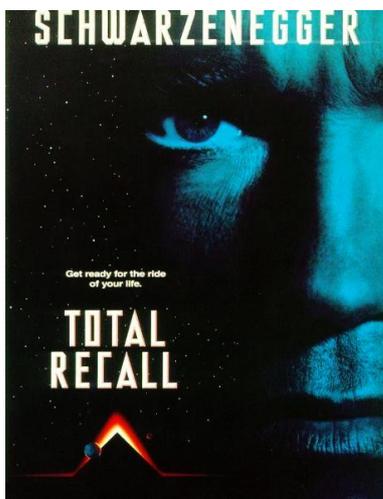


Figura 1: Cartel de la película “Desafío Total”.

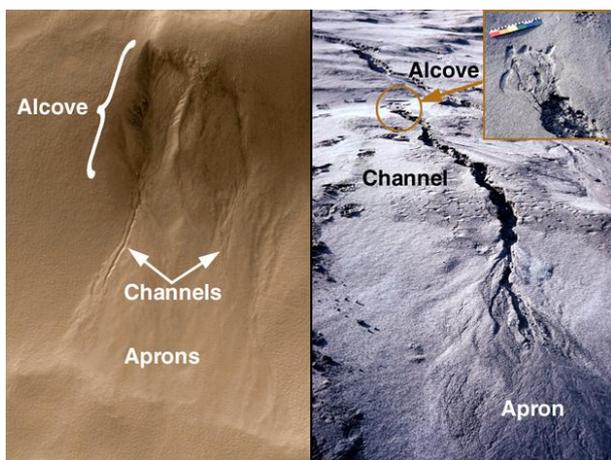


Figura 2: Comparación de la morfología de un afluente marciano con uno terrestre.

de Marte hay agua. En qué abundancia, quedaría por saber. En cualquier caso, si en el pasado el Planeta Rojo desarrolló formas de vida, éstas podrían haberse adaptado a los cambios climáticos y pervivir en estos momentos debajo de la superficie. Desgraciadamente, a parte de las fotografías de los torrentes, esto son conjeturas.

La NASA se ha tomado con cierta tranquilidad este anuncio y, al contrario que en 1996 cuando anunció las evidencias de microbacterias en un meteorito, ha querido llevar este asunto por los cauces científicos y no por los políticos (por cierto, algo absolutamente inusual). Es muy probable que las agencias espaciales, incluida la europea, retoquen sus programas de exploración en vista de estas evidencias, y se lancen a buscar agua en latitudes medias. La conquista del planeta por parte de humanos es aún un sueño, aunque la localización de reservas de agua de fácil acceso en esas latitudes medias aumentaría considerablemente las posibilidades de alcanzarlo. Los responsables de la NASA, de todos modos, hacían incapié en que por mucho que quisiéramos, aún no hemos desarrollado la tecnología suficientes para ir a Marte.

La cantidad de agua de uno de los torrentes descubiertos podría suplir las necesidades de cien personas durante 20 años, ¡sin reciclar!

Una pena. Después del 30 aniversario de la conquista lunar, seguimos sin poseer aún un lugar permanente en el espacio desde donde dar el salto a otros lugares de nuestro Sistema Solar. La Estación Espacial Internacional está todavía en construcción y la Mir espera su sentencia de muerte final. Paradójico. El Sputnik se lanzó en 1957 y sólo doce años después el Apollo 11 llegó a la Luna en 1969... Durante los treinta y dos años siguientes, hemos seguido dando vueltas a nuestro propio planeta. Pero el tiempo sigue jugando a favor de la evolución, de otra especie, porque mientras no nos preocupamos de buscar

otro *techo* para emplazar colonias humanas, las probabilidades de impacto con un asteroide o un cometa siguen aumentando. ¿A qué esperamos? ¡Demos el salto! Ω

Referencias

- [1] *Evidence for recent groundwater seepage and surface runoff on Mars*, Michael Malin y Kenneth S. Edgett. *Science*, vol 288.
- [2] *Fountains of Youth*, Kenneth L. Tanaka. *Science*, vol 288.

Víctor R. Ruiz
 rvr@idec.es
 Astronomía Digital
 Apartado de Correos 207
 35080 Las Palmas de Gran Canaria (ESPAÑA)



¡Marchando una de eclipses!

Inés Rodríguez Hidalgo | Instituto de Astrofísica de Canarias

El eclipse total de Sol del 11 de agosto de 1999 pasará a la Historia como el más observado de todos los tiempos porque, además de ser exhaustivamente difundido en los medios de comunicación, resultó visible desde una de las zonas más pobladas y accesibles del planeta. Sin embargo, mientras que desde algunos lugares de Europa y Asia se vio al Sol desaparecer totalmente, el esperado acontecimiento fue algo decepcionante desde Canarias: la Luna apenas “mordió” un trocito del disco solar. Aprovechando que los eclipses parecen haberse puesto de moda y despertado la curiosidad del público, intentaré explicar a continuación -seguramente de forma más clara que literaria- por qué se ven tan diferentes desde distintos lugares, qué tipos de eclipses hay, cuánto duran, cuándo tendrán lugar los próximos o si tenemos algo que temer de ellos.

¿Qué es un eclipse?

Un eclipse es sencillamente la ocultación total o parcial de un astro por otro¹. Desde la Tierra nos referimos usualmente a eclipses de Sol y de Luna, fenómenos astronómicos conocidos y estudiados desde antiguo; parece que seguramente fue hacia la época de Ptolomeo (siglo II d.C.) cuando los astrónomos pudieron predecir sus fechas y zonas de visibilidad. Las circunstancias y características de los eclipses son determinadas de forma muy precisa y con siglos de antelación a partir del conocimiento de los movimientos de la Tierra y la Luna.

La primera descripción verificada de un eclipse de Sol figura en una tablilla babilónica

En un eclipse de Sol éste es ocultado por la Luna, situada entre el Sol y la Tierra en posición de Luna Nueva. Si los tres astros se colocan justamente en fila, la Luna proyecta su sombra sobre algunas zonas de nuestro planeta en las que el Sol se oscurece haciéndose “de noche” durante unos minutos. Parece increíble que la Luna, unas 400 veces más pequeña que el Sol, pueda ocultarlo... pero es posible gracias a una maravillosa coincidencia de la Naturaleza: está también unas 400 veces más cerca de la Tierra que el Sol, con lo que los tamaños aparentes solar y lunar son muy similares. Se produce un eclipse de Luna cuando, en situación de Luna Llena, la Tierra se interpone entre el Sol y la Luna alineada con ellos, ocultando

¹Aunque pueda parecer una paradoja, un eclipse, tanto de Sol como de Luna, consiste siempre en la ocultación del Sol: por la Luna en el primer caso, por la Tierra en el segundo.

la luz solar que debería iluminar a nuestro satélite. Una parte de esta luz es aún dispersada en todas direcciones por la atmósfera terrestre; la de color azul es más desviada, mientras que la roja llega mejor a la Luna, por lo que ésta se ve de color rojizo durante sus eclipses.

¿Por qué no hay dos eclipses todos los meses, uno de Luna cada Luna Llena, y otro de Sol cada Luna Nueva? El plano que contiene la órbita de la Luna alrededor de la Tierra está inclinado unos 5 grados respecto al de la órbita terrestre alrededor del Sol, llamado eclíptica precisamente porque los eclipses siempre ocurren en sus proximidades. Debido a ese pequeño ángulo, cuando la Luna se interpone entre el Sol y nosotros generalmente arroja su sombra demasiado por arriba o por debajo de la Tierra, y únicamente vemos Luna no iluminada, o Luna Nueva, pero no un eclipse solar. Sólo cuando la Luna se

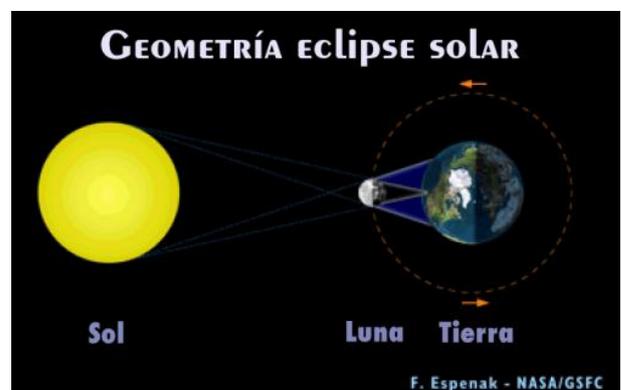


Figura 1: Geometría de un eclipse de Sol. (Cortesía de F. Espenak, NASA/Goddard Space Flight Center).

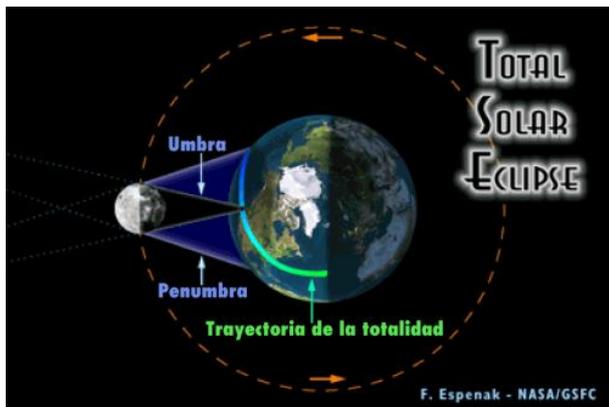


Figura 2: Proyección del cono lunar de sombra y penumbra sobre la superficie terrestre durante un eclipse total de Sol, trazando la banda de totalidad. (Cortesía de F. Espenak, NASA/Goddard Space Flight Center).

encuentra cerca de uno de los puntos de corte de su órbita con la eclíptica (nodos), los tres astros quedan perfectamente alineados y la sombra lunar cae sobre la Tierra produciendo un eclipse de Sol. Una explicación similar es válida para los eclipses de Luna.

¿Por qué se ven los eclipses tan diferentes desde distintas zonas

Durante el eclipse del pasado 11 de agosto, menos de un 30% de Sol se oscureció sobre Canarias, en torno a un 65% en Madrid o Palma de Mallorca y hasta un 75% en la costa norte de la Península y los Pirineos. Otros lugares como las cercanías de París, Munich, Bucarest o Kastamonu (Turquía) disfrutaron de una efímera noche en pleno día. Veamos por qué: cuando la Luna nos queda “a contraluz” proyecta sobre la Tierra un círculo oscuro (el corte de su cono de sombra) rodeado por uno mayor de penumbra que, debido a la rotación de la Tierra y a la traslación de la Luna, se desplazan sobre la superficie terrestre hacia el este a unos 3000 km por hora, trazando la zona de visibilidad del eclipse. Su parte central es la banda de totalidad, y desde los lugares que caen en ella se ve un eclipse total de Sol precedido y seguido de fases de ocultación parcial. Así sucedió el 11 de agosto a lo largo de una franja de unos 100 km de anchura que iba desde el noreste del Océano Atlántico hasta la India, atravesando Europa en diagonal. Desde ambos lados de la banda de totalidad sólo se ve un eclipse parcial, con el trozo oculto del disco solar más pequeño a mayor distancia de dicha banda (la Península Ibérica y Canarias se encontraban al sur de la misma el pasado agosto).

Un eclipse de Sol será parcial en todos los lugares en los que sea visible cuando el cono de sombra de la Luna quede un poco alto o bajo respecto a la Tierra, y sólo nos alcance su cono de penumbra. Por último, dado que la órbita lunar es elíptica, la distancia Tierra-Luna no es siempre la misma; si la Luna en posición de eclipse se



Figura 3: Proyección del cono lunar de anti-sombra sobre la superficie terrestre durante un eclipse anular de Sol, trazando la banda de anularidad. (Cortesía de F. Espenak, NASA/Goddard Space Flight Center).

encuentra demasiado lejos, alcanza la superficie terrestre el cono opuesto al de sombra (de anti-sombra), y sólo se ve oscurecido un trozo circular de Sol rodeado por un anillo brillante, es decir, un eclipse anular².

¿Cuánto dura un eclipse?

Los eclipses totales de Luna duran aproximadamente 1 hora. En los de Sol, mientras que la fase de parcialidad abarca más de 2 horas, la totalidad sólo dura unos 2 ó 3 minutos en promedio (desde un mínimo de algo más de 1m a un máximo de 7m 31s). La duración de un eclipse depende de los tamaños aparentes solar y lunar, determinados a su vez por las distancias entre Sol, Tierra y Luna. Con la Tierra en el punto de su órbita (también elíptica) más lejano al Sol, y la Luna en su posición más cercana a nosotros, vemos el Sol un poco menor y la Luna un poco mayor, lo que produce el eclipse más largo posible.

¿Con qué frecuencia se producen eclipses?

Cada año hay de 2 a 5 eclipses de Sol, a menudo no fácilmente observables porque la banda de totalidad cae sobre el océano, con un máximo de 7 (de los que 4 ó 5 serán de Sol) y un mínimo de 2 (ambos de Sol). Desde una localización dada se ven más eclipses de Luna que de Sol, porque cualquier eclipse lunar es visible simultáneamente desde todo el hemisferio oscuro de la Tierra; y es posible ver fases parciales de un eclipse solar más o menos cada 2 años y medio. Pero deben transcurrir, en promedio,

²La Luna se aleja cada vez más de la Tierra, sólo unos centímetros cada año, pero dentro de varias decenas de millones de años los habitantes de nuestro planeta, si aún duran, no podrán ver nunca más eclipses totales de Sol: deberán contentarse con eclipses anulares.



Figura 4: Imagen de la corona solar tratada por ordenador para resaltar sus estructuras. (Cortesía de Shelios)

unos 370 años para poder ver dos eclipses totales de Sol consecutivos desde un mismo lugar³.

¿Hay algo que temer de los eclipses?

Los eclipses son fenómenos astronómicos ordinarios y relativamente frecuentes. La creencia de que son causa de determinados cataclismos naturales (terremotos, maremotos, huracanes...) no tiene fundamento físico de ninguna clase: cada 28 días Sol, Tierra y Luna casi se alinean en dos ocasiones y nada extraño sucede, salvo los bien conocidos y previsibles cambios en las mareas. Ni que decir tiene que la asociación de un eclipse -nunca predicha, sino siempre a posteriori- con catástrofes de cualquier otro género (plagas, guerras, caída de satélites o estaciones espaciales...) no soporta un análisis histórico o estadístico.

Es ridículo e improcedente que ciertos personajes legos en materia de Astronomía se atrevan a hacer alarmantes predicciones sobre los efectos de un eclipse total de Sol

Pensemos: ¿cuál fue el eclipse visible desde Sudamérica previo a los recientes temporales en Venezuela? Por otra parte, es ridículo e improcedente que ciertos personajes legos en Astronomía (Paco Rabanne, por ejemplo) se atrevan a hacer alarmantes predicciones sobre los efectos de un eclipse total de Sol. ¡Pero más increíble aún (quizá hasta peligroso) es que una parte del público les dé crédito! Sugiero otra reflexión: ¿no estaría totalmente fuera de lugar que cualquier famoso astrónomo emitiera un comunicado (inofensivo en este caso) sobre moda o colonias? Zapatero, a tus zapatos, que dirían las abuelas.

³El próximo eclipse total de Sol, con casi 5 minutos de totalidad, se producirá el 21 de junio de 2001 y será visible desde la costa de Angola a Madagascar. En España tendremos que esperar al 3 de enero de 2005 para poder ver un eclipse anular de Sol, y hasta el 12 de agosto del 2026 para disfrutar de uno total.

Efectos reales de un eclipse total de Sol

Veamos lo que sí son efectos reales de un eclipse total de Sol. Hacia un cuarto de hora antes de la totalidad, con más del 80% del disco solar cubierto, se percibe una disminución de la luz ambiental, una bajada de la temperatura y un ligero viento. Justo antes de comenzar la fase total, la ya escasa luz solar produce sombras en forma de bandas ondulantes visibles sobre superficies claras, por un fenómeno de interferencia con la atmósfera terrestre. Los animales muestran su desconcierto por la llegada de la inesperada noche. Las estrellas y planetas más brillantes empiezan a ser visibles en el cielo. Los últimos rayos de Sol, al filtrarse por entre los valles del relieve lunar, recuerdan un collar de puntos de luz (las perlas de Baily) en torno al disco oscurecido y las protuberancias, grandes chorros de materia en suspensión sobre la superficie del Sol, destellan en el borde antes de su ocultación total. Segundos antes de la ocultación total se observa en torno al círculo negro una última luz de color rojizo que corresponde a la emisión de la cromosfera, la región de la atmósfera del Sol que rodea su superficie visible (llamada fotosfera). Casi súbitamente “aparece” una majestuosa diadema blanquecina con espectaculares estructuras en forma de chorro, penacho o abanico, que se extiende alrededor del disco hasta - en ocasiones- 3 y 4 veces el radio del Sol: es la corona, la capa solar más externa, invisible habitualmente por su brillo un millón de veces menor que el del disco. Al cabo de unos minutos de gloria tiene lugar el proceso inverso y todo vuelve a la normalidad.

Cuando se ha vivido en directo un eclipse total de Sol se siente algo atávico, muy difícil de transmitir, se comprende el temor de los pueblos primitivos a perder su fuente de luz y calor y sus intentos de matar con flechas lanzadas al aire al extraño dragón que se comía el Sol, se llora y se ríe por la emoción de algo tan largamente esperado, tan hermoso, y tan breve, se queda uno “enganchado” y se promete repetir... Pero lo que no se detecta, seguro, es ninguna perturbación física asociada a la alineación de Sol, Tierra y Luna, ni indicio alguno de catástrofe o desorden a escala personal, local, terrestre o cósmica.

Comentarios de las secuencias de las imágenes.

La secuencia de imágenes del eclipse solar que se pueden ver en la figura 5 corresponden al eclipse total de Sol del 11 de agosto de 1999. Las 5 primeras y las 4 últimas corresponden a las fases de parcialidad. En la sexta se aprecia una brillante protuberancia solar cerca del polo sur magnético solar. La séptima muestra la emisión rojiza de la cromosfera. En el centro, la majestuosa corona solar visible durante la totalidad. Esta secuencia, junto con la figura 6, son cortesía de Shelios.

Con objeto de realizar observaciones científicas de la corona solar (además de vivir una apasionante aventura y de ofrecer numerosas charlas divulgativas), la expedición Shelios 99 (*S* de Selene, la Luna en griego, + *Helios*,

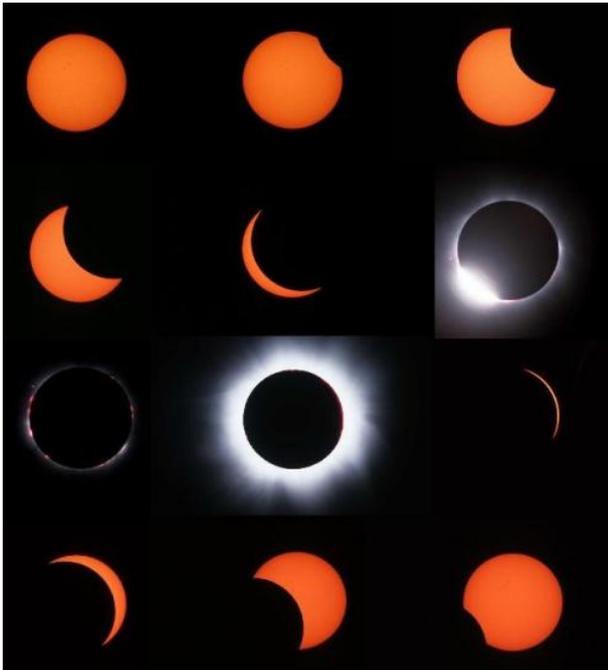


Figura 5: Imagen de la corona solar tratada por ordenador para resaltar sus estructuras. (Cortesía de Shelios)

el Sol en el mismo idioma) se desplazó a Kastamonu (Turquía) el pasado agosto. Integrada por 28 personas entre las que se contaban investigadores del IAC (yo fui la responsable científica), la expedición formó parte, junto con otros equipos situados a lo largo de la banda de totalidad, de la Red Trans-Europea de Observaciones de la Corona TECONet99. Pueden compartir nuestra experiencia visitando la página Web <http://www.shelios.com>

Por último, las fases de un eclipse total de Luna son cortesía de F. Espenak, NASA/Goddard Space Flight Center. Nótese el color rojizo que adquiere durante la totalidad. Ω

Inés Rodríguez Hidalgo
Profesora del Departamento de Astrofísica de la Universidad
de La Laguna
Investigadora del grupo de Física Solar del Instituto de
Astrofísica de Canarias
c/Vía Láctea s/n
38400 La Laguna
Tenerife (España)

Leónidas 2000: Predicción revisada hacia arriba

Ignacio Ferrín | Centro de Astrofísica Teórica, Universidad de Los Andes (Venezuela)

En este artículo el autor revisa sus predicciones de la actividad de las Leónidas para el presente año, comparando la fiabilidad de los diferentes métodos propuestos durante 1999 a la luz de los datos observacionales.

Introducción

En diversas publicaciones astronómicas han sido publicados los resultados de la observación de la lluvia de las Leónidas, que alcanzó una notable intensidad sobre España en 1999. También fue difundido el notable logro de McNaught y Asher, quienes predijeron la hora de la lluvia con un error de sólo 6 minutos, un valor muy pequeño.

En este trabajo queremos hacer notar que al igual que en cualquier gráfico x-y, la predicción de una lluvia de meteoros involucra a dos cantidades, la intensidad y la hora. La predicción de la hora fue excelente. Veamos la predicción de la intensidad.

Comparación de métodos.

En la tabla 1 se aprecia que hay solamente dos métodos que hacen predicciones de la intensidad y del tiempo a largo plazo: el Método de la Cola de Polvo, y el Método de las Isolíneas. El Método de las Isolíneas usa la THZ (Tasa Horaria Zenital) observada en apariciones previas, para dibujar líneas de igual intensidad de THZ alrededor del cometa. De hecho, estas líneas muestran por primera vez y a gran escala, la distribución del polvo que rodea al núcleo. La distribución muestra una “cordillera” o región de mayor intensidad, que se corresponde con las “colas de polvo” estudiadas por Sykes y Walker (Icarus, V. 95, p. 180, (1992)) y que se ha demostrado que contienen partículas muy grandes, con diámetros de hasta 0,5 cm. La Tierra ha entrado en esta región a partir del año 2000. Esta información y el perfil de la lluvia, son la base para la predicción.

A partir de la tabla 1 puede verse que el Método de las Isolíneas obtuvo la intensidad correcta, pero la hora incorrecta, mientras que el Método de la Cola de Polvo obtuvo la hora correcta, pero la intensidad incorrecta. Así que ambos métodos tienen un punto a favor y un punto en contra.

Una predicción adicional.

El Método de las Isolíneas hace una predicción adicional que no ha sido considerada en ningún otro trabajo. Comenzando en 2000 y siguiendo en los próximos años, la Tierra ha entrado en una región con mayor cantidad de partículas grandes. Éstas deberían producir meteoros

más brillantes y también cambiar el “índice de población”, r , de la lluvia, el cual mide la distribución relativa de tamaños de las partículas.

Predicción de la intensidad para los próximos años.

La situación para los próximos años es bastante interesante. Mientras que el Método de la Cola de Polvo predice una lluvia muy pobre para el año 2000, el Método de las Isolíneas predice una lluvia muy intensa de $5000 < \text{THZ} < 20\,000$, mejor que en 1999. Recientemente he revisado estos cálculos, con el resultado de que hay una pequeña probabilidad de que en 2000 la intensidad llegue a 50 000 meteoros por hora.

El Método de las Isolíneas obtuvo la intensidad correcta, pero la hora incorrecta, mientras que el Método de la Cola de Polvo obtuvo la hora correcta, pero la intensidad incorrecta

La razón de que la predicción sea tan ancha, es que la Tierra entra en una región con una densidad de partículas que varía mucho con la distancia, y no sabemos exactamente dónde estamos entrando en esta distribución.

La única dificultad para confirmar esta actividad (y la de 2002), es que la Luna interferirá con las observaciones. Puesto que corregir por la luz de la Luna no es nada sencillo, es muy probable que los valores observados en 2000 y 2002 sean límites inferiores de THZ. Para los años 2001 y 2002 el Método de las Isolíneas predice lluvias menores, disminuyendo en intensidad con los años. Por el contrario, el Método de la Cola de Polvo predice intensas lluvias en 2001 y 2002, ¡un resultado muy diferente al anterior! La predicción de intensidad en el Método de las Isolíneas se basa en un perfil de la lluvia. El perfil, como toda base de datos observacional, contiene errores estadísticos y hasta puede contener puntos que estén mal estimados. Sin embargo, es el único perfil de la lluvia que poseemos en este momento, y representa el conocimiento presente de la humanidad sobre las condiciones meteorológicas alrededor de este particular cometa. El perfil puede ser visto en la figura 3 del artículo de A&A.

Autores / Año	1999	2000	2001	2002	2006
McNaught y Asher (1999), (Carta a IMO, 9 de nov.)	500	20? +1500	15 000 30?	25 000	100
Método de la Cola de Polvo	-300				
Rao (Carta a <i>Meteorobs</i> , octubre 1999)	2000 a 6000				
Ferrín (A&A, V. 238, p. 295, 1999) Método de las Isolíneas	3500 -1000	5000 a 20 000	400 ± 100		
OBSERVADO (Arlt et al., WGN, 27:6, p. 286, Dec. 1999)	3700 ± 100				

Tabla 1: Comparación de las predicciones con las observaciones.

Año	Longitud solar predicha (J2000)	Hora predicha (TU)	Error de predicción (minutos)	Edad lunar (días)	THZ Predicha
2000	235,327	17 nov, 09h 20m	± 14	20d	3500 a 50 000
2001	235,374	17 nov, 16h 30m	± 31	1d	350 ± 100
2002	235,418	17 nov, 23h 43m	± 45	12d	150 ± 70

Tabla 2: Predicciones según el método de las isolíneas.

Predicción de la hora.

En la tabla 2 se muestran las horas predichas por el Método de las Isolíneas. Estas horas son muy diferentes a las del Método de la Cola de Polvo, que predice eventos aproximadamente un día más tarde.

Es un hecho comprobado mediante las observaciones que la lluvia se está presentando 64 minutos más tarde cada año.

Conclusiones.

Encontrarse con una discrepancia de este tipo es bueno para la ciencia, pues los modelos científicos muestran su validez a través de las predicciones. En poco tiempo sabremos cuál de los dos métodos discutidos tiene mayor poder predictivo.

El resultado presentado también es bueno para el resto de los investigadores, pues si bien ambos métodos discrepan entre sí, sorprendentemente están de acuerdo en que la lluvia de las Leónidas arreciará en los próximos años. Por tanto, ¡lo mejor está por venir!

Me reservo el derecho a revisar estas predicciones después de la lluvia de 2000, a fin de mejorarlas con los nuevos datos que se obtengan. Ω

Ignacio Ferrín
ferrin@ciens.ula.ve
Centro de Astrofísica Teórica
Universidad de los Andes
Mérída, VENEZUELA



Jesús Gerardo Rodríguez Flores | Sociedad Astronómica de La Laguna, México

Se cumplen 30 años del incidente del Apolo XIII. En un tiempo en el cual la civilización humana perdía el interés por los viajes lunares, un terrible accidente ocurrió a medio camino rumbo a la Luna. Para la sociedad y los medios, la misión se convirtió en una morbosa fuente de atracción del interés público. Para la NASA era un reto tecnológico con el fin de garantizar la vida de tres valiosos astronautas. Ésta es la verdadera historia del Apolo XIII...

El preámbulo.

Dos exitosas misiones los precedían. El famoso Apolo 11 había descendido en el Mar de la Tranquilidad en julio de 1969, y la misión Apolo 12 en el Océano de las Tempestades sin complicaciones. Las muestras de roca lunar traídas eran examinadas concienzudamente. Pero a pesar de que los astronautas habían sido debidamente entrenados en geología, muchos científicos se quejaban de que las muestras lunares traídas hasta la fecha bien podían ser viejos meteoritos caídos en la Luna, y no material original de nuestro satélite. Por este motivo las misiones Apolo ahora tendrían una variante: en lugar de descender en los *mares lunares* como las dos misiones anteriores, Apolo 13 descendería en un terreno elevado, la región del cráter Fra Mauro, donde seguramente podrían obtener auténtico material lunar.

Mucho se especuló durante un tiempo si el fatídico número de la misión, el número trece, habría influido con mala suerte al vuelo lunar

La tripulación de Apolo 13 estaría integrada por James Lowell, de 42 años, veterano de 572 horas en el espacio en misiones anteriores; Thomas K. Mattingly, de 34 años, piloto del módulo de comando; y Fred W. Haise, de 36 años, piloto del módulo lunar. También estaba la tripulación de reserva con John Young, de 39 años, comandante de misión; Jack L. Swigert de 38 años, piloto del módulo de mando, y Charles Duke Jr. de 34 años, piloto del módulo lunar.

Hacia apenas nueve meses del histórico paseo de Neil Armstrong y Edwin Buzz Aldrin por la Luna, y para entonces el público veía con tanta cotidianidad los vuelos

lunares que ya no sentía atracción por las misiones Apolo. Lo más relevante hasta entonces en la misión del Apolo 13, para el público superficial, habían sido los síntomas de infección de sarampión que algunos de la tripulación habían presentado. Charles Duke Jr., quien fuera el encargado de enlace (CAPCOM) con la histórica misión del Apolo 11, había contraído sarampión cinco días antes del lanzamiento del Apolo 13. Como los seis astronautas habían entrenado juntos los últimos tres meses, existía el riesgo de que el sarampión hubiera contagiado a otros miembros de la tripulación. Por ello tuvieron que someterse a análisis de sangre que demostraron que sólo Thomas K. Mattingly no había desarrollado anticuerpos contra el sarampión, por lo cual era posible que también estuviera infectado. El doctor Charles Berry, médico asignado por la NASA a la misión, recomendó la sustitución de Mattingly para evitar problemas de contagio a la tripulación. Aunque James Lowell intentaba volar con su tripulación titular, tuvo que aceptar la determinación de los médicos y Jack L. Swigert sustituyó en el vuelo a Mattingly.

En los dos proyectos espaciales norteamericanos que habían precedido al proyecto Apolo, el Mercury y Gemini, la cantidad de vuelos nunca llegaron a trece, por lo cual el número no se usó. Según relatan las *leyendas*, muchos sugirieron que el proyecto Apolo omitiera dicho número, pasando así del Apolo 12 al Apolo 14. Sin embargo esto pareció absurdo a hombres familiarizados a usar la razón científica y no la superstición. Lo único cierto fue que el número trece, irónicamente, siguió a la misión muy de vez en cuando.

Finalmente llegó el 11 de abril de 1970. Ese día, pasado mediodía, el imponente Saturno V despegaría para enviar rumbo a la Luna una nueva tripulación de astronautas estadounidenses. A diferencia del lanzamiento del Apolo 11, un año atrás, ya no se veía el millón de es-



Figura 1: Lanzamiento del Apolo 13 desde Cabo Kennedy en un cohete Saturno V. (NASA)

pectadores acampando en los alrededores de Cabo Kennedy; las cámaras de televisión estaban listas para transmitir el despegue, pero ya no por los reporteros titulares de las cadenas de noticias. Incluso las tribunas de honor, aquéllas saturadas de mandatarios y diplomáticos de todo el mundo hacía un año, ahora sólo eran ocupadas en la primera fila por familiares de los tripulantes, así como por el vicepresidente Spiro Agnew que acompañaba al canciller alemán Willy Brandt (que cumplía los puntos de su agenda protocolaria). Incluso el presupuesto de la NASA empezaba a sufrir la apatía de la nación. Sus futuros presupuestos serían recortados, con lo cual tuvieron que reducirse de ocho a sólo seis misiones tripuladas a la Luna. Los Estados Unidos ahora tenían otra prioridad, que no les daría tantas satisfacciones como la llegada a la Luna: la Guerra de Vietnam. Pero de eso no se lamentarían hasta más tarde. Al igual que Richard Nixon y su Watergate...

Finalmente se encendieron las toberas del cohete Saturno V, y lentamente fue levantándose sobre la rampa de lanzamiento 39A. El Apolo 13 ya iba rumbo a la Luna. Eran las 13:13 horas.

El persistente número 13.

11 de abril de 1970, 13:13 horas de Florida. El Apolo 13 despega en un cielo ligeramente cubierto de nubes. Formando parte del cohete Saturno V está el módulo lunar *Acuario* y el módulo de mando *Odisea*. En éste último se encuentra la tripulación: James Lowell, Jack Swigert

y Fred Haise. Las primeras etapas de la puesta en órbita se desarrollan sin novedades; sólo la tobera de la segunda etapa del Saturno V se extingue antes de lo previsto, pero el problema es compensado activando los motores cohete de la tercera etapa durante unos segundos más. Apolo 13 está en su ruta de vuelo prevista.

Ya orientados hacia la Luna, se activaron los pernos explosivos que sujetaban al módulo de mando *Odisea* con la tercera etapa del Saturno V. Libre el *Odisea*, giró 180 grados e insertó su nariz cónica en el habitáculo de la tercera etapa. Allí atracó el módulo lunar *Acuario*, y perfectamente sujetos ambos módulos, se separaron de la tercera etapa del Saturno V para realizar su vuelo lunar de manera independiente.

Los problemas graves empezaron el lunes 13 de abril.

Aquel día debía ser tranquilo, sin mucha actividad en la misión espacial. Hacia mediodía de Houston, los tripulantes empezaron la inspección del Módulo Lunar *Acuario*, en el cual un depósito de helio mostraba cierto aumento de presión, aunque tolerable. Hacia las 21:00 horas empezarían los problemas. Apolo 13 se encontraba en la zona de equilibrio de la gravedad terrestre y lunar, a unos 329 850 kilómetros de la Tierra, y la velocidad del Módulo de Mando *Odisea* había disminuido hasta 3 000 kilómetros por hora.

Ironías de la vida. Dos años atrás, Hollywood había hecho una serie de películas sobre desastres espaciales. Allí estaba *Marooned* en 1969, con Gregory Peck y Gene Hackman, sobre una cápsula con tres tripulantes que no podía regresar a la Tierra. Y un año antes, en 1968, la espectacular “2001, Odisea en el espacio” sobre una trágica misión tripulada a Júpiter. El módulo de mando del Apolo 13 había sido bautizado *Odisea*, muy en boga con esta película, y cuando la tripulación del Apolo 13 escuchaba en la cabina el tema de Strauss de “Así hablaba Zarathustra” (tema identificado con “2001”) fue cuando sobrevino la explosión a bordo.

Cuando la tripulación escuchaba en la cabina el tema de Strauss de “Así hablaba Zarathustra” (tema identificado con “2001”) fue cuando sobrevino la explosión

Las alarmas sonaron a bordo del módulo *Odisea*, y como *deja vú* el piloto del Módulo de Comando, Jack Swigert, repitió la misma frase de la película “2001”...

– Houston, tenemos un problema.

El Centro de Control de Houston inmediatamente intentó averiguar qué era lo que pasaba a bordo del Apolo. El comandante Lowell continuó informando:

– Tenemos una disminución de tensión en el distribuidor principal B.

Poco a poco más lecturas anómalas del equipo iban agregándose

– Nuestro depósito 02 Cr número dos esta en cero ¿Han comprendido?

Esta frase puso en tensión a los técnicos de Houston. Ese depósito contenía casi 150 kilolibras de oxígeno líquido

para alimentar las celdas de combustible que dotaban de energía eléctrica a los instrumentos de a bordo, los sistemas de supervivencia y propulsión de la nave, así como de agua potable a la tripulación. Por alguna razón, ahora el depósito estaba inexplicablemente vacío.

– Se acabó – comentó el comandante Lovell a sus compañeros. – El descenso se da por cancelado.

El piloto del módulo lunar informó de nuevas observaciones a Houston:

– Ahora tenemos también una bajada de tensión en el distribuidor principal A. Se trata de corriente alterna. Y cuando miro por la escotilla, me parece que perdemos algo, que estamos perdiendo algo que se va al espacio.

– Comprendido. Tomamos en cuenta que están perdiendo algo – repitió el responsable de enlace en Houston.

En ese momento, el piloto del módulo de mando, Swigert, informó de problemas con la orientación de la nave.

– Hay algo que nos pone en movimiento, sobre los ejes longitudinal y transversal, de modo que creo que la causa de ello es que estamos perdiendo algún gas o algo así. Debo utilizar la dirección manual, con el fin de estabilizar la nave; pero en cuanto lo hago, se presentan nuevamente las aceleraciones. ¿Pueden ustedes comprobar si alguno de los propulsores de estabilización está funcionando?

– Muy bien 13. Tenemos aquí mucha gente que se está ocupando de resolver ese problema. – respondió Houston.

– En cuanto sepamos algo se lo comunicaremos. Serán ustedes los primeros en saberlo.

A partir de ese momento la NASA desarrolló la movilización de científicos más impresionante de la Historia. Inmediatamente los diseñadores de la nave Apolo y diversos especialistas fueron enviados a Houston para auxiliar a la NASA.

– Se acabó – comentó el comandante Lovell a sus compañeros. – El descenso se da por cancelado.

Dentro del Aquarius.

Era una lástima. Lovell y Haise no serían los quinto y sexto astronautas que pisaban la Luna. Lo más penoso para Lovell era que con sus viajes en las misiones lunares Apolo 8 y 13, casi era seguro que la NASA no lo programaría para una nueva misión. Por lo regular, ningún astronauta era programado para más de dos misiones de un proyecto espacial.

Mientras, los encargados de misión en Houston elevaron una serie de recomendaciones a los astronautas que, con el tiempo, mostrarían su efectividad:

– ¡Ahorren la energía eléctrica! ¡Desconecten la banda de sonido! ¡Desconecten la calefacción y todos los dispositivos que consuman energía eléctrica y que no sean absolutamente indispensables!

Mientras tanto el Módulo de Mando *Odisea* era desocupado por los tres astronautas, quienes se refugiaron en

el Módulo Lunar *Acuario*. Los astronautas empezaron a transferir la información de las computadoras del *Odisea* al *Acuario* con la intención de no perder los datos de posición y navegación, que eran indispensables para manejar la nave. Al fallar la energía en el *Odisea* Jack Swigert, muy oportunamente, conectó las baterías del sistema de reingreso para evitar la pérdida de información sobre la posición del complejo Apolo 13 en el espacio exterior.

Los depósitos de oxígeno de emergencia fueron llenados muy oportunamente, puesto que el dispositivo de oxígeno del módulo de servicio del *Odisea* casi inmediatamente dejó de funcionar. Llegó un momento en el que la batería de reingreso del *Odisea* empezó a descargarse, y Swigert tuvo que desconectar todos los sistemas del módulo de mando. Toda luz en el *Odisea* se apagó: el Módulo de Mando estaba muerto.

Los astronautas se refugiaron en el Módulo Lunar *Acuario*, que se convirtió en un verdadero bote salvavidas. A bordo de él se contaba con un sistema de servicio autónomo: sistema de energía eléctrica, equipo de comunicación, computadoras, sistema de soporte de vida y dos motores cohete. Aún así, grandes dudas atormentaban a los técnicos de la NASA. Nunca antes se había intentado controlar al complejo Módulo Lunar-Módulo de Mando desde el primero de ellos. ¿Podría hacerse sin problemas? El *Acuario* había sido diseñado para soportar vitalmente a dos tripulantes durante un máximo de 70 horas, ¿podrían ampliarse sus capacidades para resguardar una tripulación de tres astronautas durante 80 horas? ¿Podría dotarlos de suficiente energía eléctrica y oxígeno? Los expertos de la NASA empezaron a investigar todas las posibilidades. El *Acuario* llevaba a bordo más *consumibles* que cualquier Módulo Lunar de las misiones anteriores. Esto era así porque evidentemente se suponía que permanecería más tiempo en la superficie lunar. Además, la exploración extravehicular del Cráter

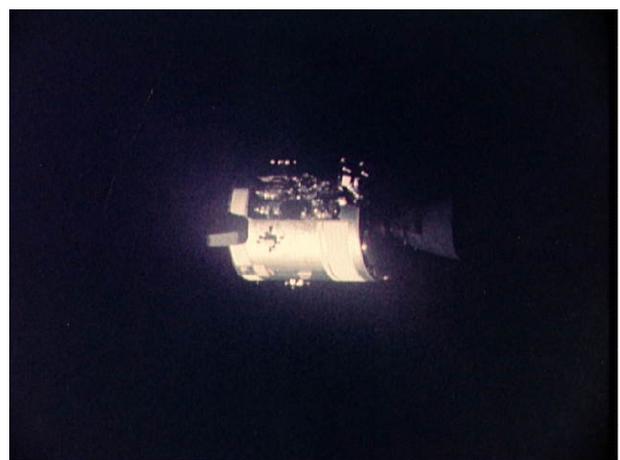


Figura 2: Esta vista del módulo de servicio dañado fue fotografiado por una cámara de televisión del módulo lunar. Como se puede ver, un panel completo del módulo de servicio fue expulsado al espacio por la explosión del tanque de oxígeno n° 2. (NASA)

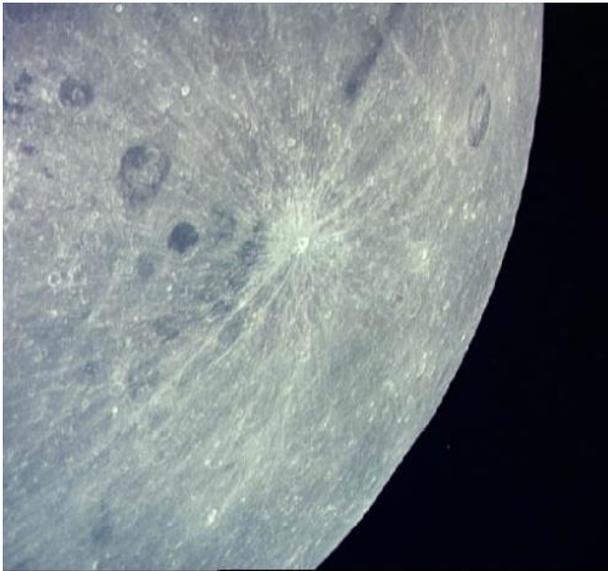


Figura 3: Cráter en la cara oculta de la Luna fotografiado por el Apolo 13. El cráter Joliot-Curie está situado entre el Mare Marginus y el cráter con radios. (NASA)

Fra Mauro tenía programadas dos excursiones por parte de los astronautas. Esto implicaba despresurizar y represurizar dos veces la cabina, lo cual consumía mucho oxígeno. Al no tener lugar el alunizaje, los técnicos de la NASA calcularon que el oxígeno del *Acuario* podría ser suficiente para los tres tripulantes si se regulaba a 0,23 kilogramos por hora.

Los técnicos del Centro de Control de Houston dictaron a los astronautas toda una lista de verificación de sistemas, que permitiera desconectar todos aquellos dispositivos no indispensables para la misión. Además, los dispositivos que permanecieran activados trabajarían con la menor cantidad de amperios/hora para ahorrar energía, sin que su función se viera comprometida. El Módulo Lunar contaba con cuatro baterías en su etapa de descenso y dos baterías en la etapa de ascenso. Previendo que la energía eléctrica de estas baterías también tendría que usarse para recargar las pilas del amerizaje del *Odisea*, tenían que administrarse con sumo cuidado.

Otra duda era si los dispositivos de obtención de agua del módulo lunar serían suficientes para dotar de agua no sólo a la tripulación, sino al sistema de enfriamiento del equipo electrónico de a bordo. Y por si fuera poco, el motor del Módulo Lunar había sido diseñado para el alunizaje y despegue de la superficie lunar, una actividad no tan demandante como impulsar al complejo del Apolo 13, con sus más de 46 toneladas. ¿Podría hacerlo?

Por todo Estados Unidos, gran cantidad de computadoras eran alimentadas con programas y datos que permitieran simular todas las posibilidades de traer de regreso a los tres astronautas.

Mientras una parte del equipo planteaba estas inquietudes, otros técnicos de Houston habían logrado averiguar grosso modo lo que había ocurrido. Todo había tenido lugar en la llamada Sección 4 del módulo de servicio.

Consistente en seis secciones, la cuarta sección era la encargada de proporcionar la energía eléctrica al complejo Apolo. Allí estaban las celdas de combustible, alimentadas por un gran depósito de hidrógeno y dos depósitos de oxígeno. Alguno de estos depósitos había explotado. Ahora resultaba imposible pensar en un descenso en la Luna; la prioridad era regresar la tripulación a la Tierra.

En el lado oscuro de la Luna.

El problema se complicaba debido a la órbita *híbrida* que el Apolo 13 había tomado para su viaje a la Luna. Esta órbita *híbrida* se había conseguido activando, en plena trayectoria, el motor cohete del Módulo *Odisea* (antes de la explosión). Sin embargo, dicha órbita bordeaba la Luna y no regresaba a las inmediaciones de la Tierra (a diferencia de las misiones Apolo anteriores). Por lo tanto, si no se activaban los cohetes del Módulo *Acuario*, las posibilidades de que los astronautas volvieran a la Tierra eran prácticamente nulas.

Las computadoras de la NASA trituraron millones de dígitos para buscar la solución al problema de la órbita de regreso al planeta. Finalmente, la solución fue activar el motor de descenso del módulo lunar, de tal forma que dieran la vuelta a la Luna a una distancia de 240 kilómetros en lugar de los iniciales 115. De esta manera, lejos de pasar a 550 kilómetros del planeta, la tripulación podía amerizar en el Océano Índico. La solución funcionó bien y el motor de descenso del *Acuario* se activó a la perfección gracias a la computadora de a bordo.

En la Tierra, y fuera de las instalaciones de la NASA, el planeta volvió a poner su vista en el programa espacial. Con una curiosidad casi morbosa, todo el mundo estaba al pendiente de la suerte de James Lowell, Fred Haise y Jack Swigert. El proyecto Apolo, tras casi un año de indiferencias, se había vuelto a poner de moda. Varios países, incluida la Unión Soviética, ofrecieron su ayuda.

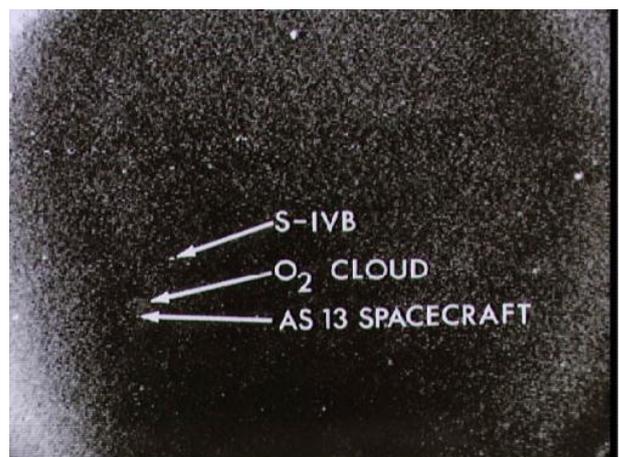


Figura 4: Imagen de televisión del Apolo 13 obtenida mediante una cámara acoplada a un telescopio Schmidt-Cassegrain de 40 cm de diámetro, durante su vuelta hacia la Tierra. (NASA)

El martes 14 de abril a las 18:15 horas de Houston, el Apolo 13 pasó por detrás de la Luna. Durante un tiempo, los astronautas observaron la superficie de la Luna, tal vez con nostalgia de no poder hollar su suelo grisáceo. Dos horas después activaban nuevamente el cohete para una corrección de trayectoria.

Fue entonces cuando surgió un nuevo problema. Una alarma indicó que el dióxido de carbono en la atmósfera de la cabina había llegado al límite de tolerancia. De no hacer algo, los astronautas podían morir envenenados con el dióxido de carbono para las tres de la tarde del miércoles. Para solucionar esto, los astronautas debían acoplar en el sistema ambiental un filtro de hidróxido de litio. Las sales de litio tienen la característica de absorber el dióxido de carbono de la atmósfera, permitiendo que ésta vuelva a ser respirable. El hidróxido de litio del *Acuario* era suficiente para absorber el dióxido de carbono exhalado por dos astronautas en 53 horas, pero con un tercer ocupante, la duración disminuía dramáticamente a 36 horas.

La tripulación acudió a uno de los depósitos del módulo de mando, pero surgió un nuevo problema: la abertura de los depósitos del *Odisea* era cuadrada, mientras que los del *Acuario* eran redondos. La tripulación tuvo que improvisar. A las 3:38 de la madrugada del miércoles 15 de abril, desmontaron tubos de plástico de los trajes espaciales e hicieron un empalme. A sugerencia de los técnicos de la NASA, lo reforzaron con cinta adhesiva que iban a emplear originalmente para cerrar las bolsas con muestras de material lunar. Con ello el problema del dióxido de carbono quedó solucionado.

Fred Haise, el piloto del Módulo Lunar empezó a presentar síntomas de fiebre. Sin embargo, esto no afectó su labor.

Mientras, la NASA preparaba una solución para otro problema. La marina estadounidense no tenía ninguna embarcación preparada para auxiliar al amerizaje de los astronautas en el Océano Índico, lo que los obligaba a alterar el lugar del descenso. Para ello idearon el “Impulso de Apresuramiento de Regreso a Casa”, el cual consistió en activar durante cuatro minutos y medio el motor del *Acuario* para acelerar lo suficiente al complejo Apolo, y que pudiera amerizar sin problemas en el Océano Pacífico. Las tres activaciones de los cohetes para corregir el curso obligaban a consumir agua para enfriar la tobera del cohete, por lo cual la existencia de agua a bordo había disminuido considerablemente hasta un tercio. Para los astronautas, el racionar el agua era un problema serio. Sólo podían consumir seis onzas por día, una sexta parte del consumo normal de agua de un adulto. El agua era esencial para que sus riñones desecharan por la orina las toxinas que el organismo acumula comúnmente. La permanencia de estas nocivas sustancias en el cuerpo puede provocar infecciones y altas fiebres. Fred Haise, el piloto del Módulo Lunar empezó a presentar síntomas de fiebre. Sin embargo, esto no afectó su labor.



Figura 5: Logotipo oficial del Apolo 13. (NASA)

El módulo de comando *Odisea* era sólo utilizado como lugar de reposo y dormitorio. Sin los sistemas de calefacción, la nave Apolo fue enfriándose poco a poco y los astronautas tuvieron que sufrir las consecuencias.

Fallar no es una opción.

Para el jueves 16 de abril, todo parecía listo para que la cápsula del Apolo 13 ingresara en la atmósfera. Sin embargo, algunos análisis de computadora demostraron que el ángulo de entrada de 5,5 grados era tan plano que seguramente la cápsula rebotaría en la atmósfera y se perdería para siempre en el espacio. Por otra parte, un ángulo de 7,5 grados era ya lo suficientemente pronunciado como para que la cápsula y sus tres tripulantes se desintegraran por la fricción atmosférica. Para evitar eso, era obligatorio una nueva corrección y que la cápsula entrara en la atmósfera con un ángulo de 6,5 grados, con un margen de error de menos de un grado. A las 10:31 horas, Lowell encendió los propulsores del Módulo Lunar para realizar una ligera corrección que les permitiera una trayectoria de ingreso más adecuada.

Aún restaban más de 24 horas para el reingreso. Mientras, los astronautas tuvieron que enfrentarse otro problema. Mientras Lovell hacía guardia en *Acuario*, de pronto sintió una vibración que atravesó el piso del Módulo Lunar. Al mirar por una de las ventanas circulares, observó una ya familiar nube de cristales de hielo que emergía de la etapa de descenso del *Acuario*.

– Ése fue el fin de nuestros problemas con el helio – comentó Lovell a sus compañeros.

El tanque de helio del módulo lunar, que había seguido tan inestable como desde los primeros días, finalmente explotó a las 1:59 horas.

Jim Lovell informó al Capcom de Houston, Jack Lousma, sobre lo ocurrido. Lousma, uno más de los astronautas de la NASA, informó al comandante del Apolo 13 que la telemetría en Houston captaba que la presión del depósito de helio descendía bruscamente.

– Bien, está bien –respondió Lovell–. Pero eso probablemente significa que vamos a tener problemas para restablecer nuestro giro de control térmico.

El helio se escapó al espacio exterior, y la fuga del gas fue semejante a tener un propulsor de la nave encendido. El complejo del Apolo 13 se desestabilizó y alteró el giro longitudinal que realizaba sobre su eje cada veinte minutos. Con el gas perdiéndose en el vacío, el giro del complejo se detuvo un instante e inmediatamente después se reanudó en sentido inverso hasta alcanzar una vuelta cada dos minutos. Los astronautas tuvieron que restablecer el giro original. El giro de Control Térmico Pasivo, o PTC, consistía en que el complejo Apolo girara lentamente para distribuir la temperatura por toda la nave. Una nave sin girar sobre su eje se calentaba considerablemente del lado expuesto a Sol, mientras del otro lado se congelaba debido al el frío del espacio exterior. Ambas temperaturas extremas podían dañar considerablemente el equipo de a bordo. La maniobra PTC había sido bautizada por los astronautas de misiones anteriores como “darle la vuelta al asado”.

El viernes 17 de abril, muy temprano, los astronautas empezaron a conectar un cable de la batería del módulo lunar al acumulador de descenso de la cápsula Apolo. Dicho acumulador había sido usado de emergencia a raíz de la pérdida de electricidad del módulo de servicio. Durante 15 horas se recargaría para su vital desempeño en el reingreso a la atmósfera. Hacia la una de la tarde se realizó la última corrección, y quince minutos después Swigert activó los pernos explosivos que separaron el módulo de servicio de la cápsula y el *Acuario*. El complejo giró 180 grados y la tripulación pudo ver como el averiado módulo de servicio pasaba lentamente frente a las ventanillas del *Acuario*. La causa de tantas desventuras estaba a sus



Figura 6: Fotografía de la Tierra obtenida por el equipo del Apolo 13 durante el viaje hacia la Luna. (NASA)



Figura 7: Regreso de la tripulación del Apolo 13 a la Tierra. La cápsula cayó en el Océano Pacífico a las 12:07 del 17 de abril de 1970. (NASA)

ojos. La sección 4 del módulo de servicio, donde antes estaban los tanque de hidrógeno y oxígeno, parecía un oscuro y tenebroso hueco. El resto del módulo de servicio también estaba averiado.

– Apenas puede comprenderse, pero está totalmente destrozado – comunicó Lowell a Houston.

– Todo el revestimiento, desde la antena de radio hasta los motores cohete, está desgarrado – dijo Haise.

Joe Kerwin, uno de los astronautas en tierra, se encontraba como CAPCOM en Houston y aprovechó para bromear con sus compañeros:

– Si no pueden tener un poco más de cuidado con una nave espacial, no les darán otra.

Reingreso y amerizaje.

Finalmente llegó el momento crítico del descenso. A petición del Gobierno estadounidense, todas las emisoras de radio y comunicaciones que trabajaban en la misma gama de frecuencias que los astronautas apagaron sus transmisores para evitar interferencias u obstrucciones en la señal. A las 10:43, hora de Houston, el Módulo Lunar *Acuario* se separó de la cápsula del *Odisea*. La atmósfera que salía por la escotilla del Módulo Lunar fue suficiente para que se alejara de la cápsula Apolo. La cápsula fue orientada en el ángulo correcto para reingresar en la atmósfera. Ahora el escudo térmico de la cápsula estaba orientado para hacer frente al impacto de los átomos de la atmósfera. Las incertidumbres aún no se disipaban. ¿Se habría dañado el escudo ablativo por la explosión del módulo de servicio? De ser así, el escudo se desintegraría antes de lo esperado y la cápsula Apolo con toda la tripulación se calcinaría irremediamente. A las 11:53, todas las comunicaciones con la cápsula Apolo se interrumpieron al iniciarse la fricción con las capas de la atmósfera; el excesivo calor y la ionización alrededor de la cápsula inutilizaron momentáneamente cualquier transmisión. Durante cuatro minutos y medio, nadie supo sobre la suerte

de los astronautas. ¡Era demasiado tiempo! ¡Ninguna cápsula Apolo había perdido el contacto por más de tres minutos! Parecía que la misión estaba destinada a terminar en tragedia. Finalmente, *Odisea* radió a Houston. A 9000 metros de altitud, los paracaídas ligeros de la cápsula se abrieron, y cuando se alcanzaron los 3000 metros de altura, unos tranquilizadores paracaídas blancos y anaranjados pudieron captarse por las cámaras de televisión a bordo del navío de rescate Iwo-Jima. Eran las 12:07 de la tarde del 17 de abril de 1970. La cápsula *Odisea* amerizó a sólo seis kilómetros de distancia del buque de salvamento.

¡Los astronautas del Apolo 13 habían sobrevivido a la mayor crisis espacial de toda la Historia!

Rebosantes de alegría, Lovell, Swigert y Haise fueron rescatados por los hombres-rana de la armada, y volaron en helicóptero hasta el Iwo-Jima. Aquellos valerosos hombres, acostumbrados a la adversidad del espacio, elegidos para admirar la belleza de la superficie lunar, sin duda alguna apreciaron como nunca lo bello y maternal que puede ser nuestro planeta Tierra.

Sólo Fred Haise experimentó problemas serios de salud. La atmósfera muy fría de la nave Apolo 13 le causó una cistitis aguda que le duró cuatro semanas.

Las causas.

Terminado el vuelo, los científicos de la NASA se pusieron en la tarea de determinar las causas de la explosión a bordo del Módulo de Servicio del *Odisea*. Se creó una comisión de investigación encabezada por Edgar Cortright, Director del Centro de Investigaciones de la NASA en Langley (Virginia) y otros catorce integrantes, entre ellos el astronauta Neil Armstrong. Para iniciar la investigación, la principal fuente de información fue la telemetría, es decir, todas las señales y medidas que la nave espacial transmitía a la Tierra para monitorear el funcionamiento de cada uno de los sistemas de la nave Apolo. De esta forma, se determinó que la explosión tuvo lugar a las 55:54



Figura 8: Retrato oficial de la tripulación del Apolo 13.

horas con 42 segundos desde el despegue. Al analizar los datos telemétricos de la sección cuatro del módulo de servicio, donde se encontraba el tanque de oxígeno que explotó, se detectaron una serie de lecturas anómalas. Los depósitos de oxígeno líquido, construidos de acero especial con un recubrimiento interno de teflón, habían presentado una presión anormal. Construidos para presiones de 60 a 65 atmósferas, se habían elevado a 70 antes de suceder el accidente. Luego, la presión disminuyó a cero al tener lugar la explosión.

¿Qué había pasado con el Depósito Número 2 de Oxígeno?

La tripulación del Apolo 13 se hubiera perdido irremediablemente si la explosión hubiera tenido lugar después de la separación de la nave

El Comité Cortright investigó el historial de dicho componente. Había sido la compañía North American la encargada de la construcción del Módulo Apolo, y ésta a su vez había delegado a Beech Aircraft la construcción de los depósitos de oxígeno. Al contener oxígeno líquido (a bajas temperaturas), los depósitos incorporaban un complejo sistema para la regulación de la temperatura, que contaba con ventiladores para hacer circular el oxígeno y un sistema de termostatos para ayudar a *caldear* el oxígeno cuando se necesitara aumentar la presión. North American entregó a Beech Aircraft las especificaciones técnicas del equipo, en las cuales destacaba el uso de dos interruptores térmicos de 28 voltios que se usaban para desconectar el termostato cuando la presión y temperatura del depósito era las adecuadas. Los 28 voltios a los cuales trabajaban dichos interruptores eran el voltaje suministrado por la corriente eléctrica de la nave Apolo. Sin embargo, cuando el gigantesco Saturno V permanece en su plataforma de lanzamiento, la corriente eléctrica es suministrada desde tierra a 65 voltios. Esto hizo modificar las especificaciones de todo el equipo eléctrico de la nave. Pero en un raro caso de negligencia, ni los técnicos de la NASA, ni los técnicos de ambas compañías aeroespaciales se percataron de que los tanques de oxígeno aún tenían interruptores de 28 voltios.

Cuando el Saturno V permaneció conectado a la corriente de 65 voltios en tierra, los dos interruptores se sobrecargaron y se produjo un cortocircuito. Ya en vuelo, con los dos interruptores inutilizados, el termostato no pudo desactivarse, con lo cual el oxígeno siguió incrementando su temperatura hasta que la presión dentro del depósito fue excesiva y explotó, inutilizando de esta forma los sistemas del módulo de servicio.

La Comisión llegó a la conclusión de que la tripulación del Apolo 13 se hubiera perdido irremediablemente si la explosión hubiera tenido lugar después de la separación de la nave *Acuario*, o durante el paseo Lunar. Para entonces las reservas de agua, electricidad, oxígeno y combustible no hubieran sido suficientes para regresar a la tripulación con bien. A raíz de estos problemas, la NASA postergó

durante dos meses el lanzamiento de la misión Apolo 14 y ordenó el rediseño de los depósitos de oxígeno. Además se incrementó la capacidad de combustible y agua en el módulo lunar, se instalaron más acumuladores, e incluso se dotó a la nave Apolo de termogeneradores eléctricos de radioisótopos, con los que se podía obtener electricidad del calor desprendido por material radiactivo. Con todos estos cambios en las naves Apolo, se podía tener la seguridad de que la NASA no volvería a enfrentarse a una emergencia tan dramática como fue el “frustrantemente exitoso Apolo XIII”.

Cuando el Apolo 17 llegó a la superficie lunar, Estados Unidos lamentablemente abandonó las misiones tripuladas a nuestro satélite natural

Apolo 14 despegó el 31 de enero de 1971 con el famoso comandante Alan Shepard (el primer estadounidense en el espacio), Edgar Mitchell y Stuart Roosa. Su misión ya no era alunizar en el cráter Censorius, sino en el altiplano Fra Mauro, el sitio de descenso del abortado vuelo del Apolo 13. El Módulo de Servicio del Apolo 14 llevaba entre muchas otras novedades un tercer depósito de oxígeno, perfectamente aislado de los demás tanques, producto de un diseño más cauteloso y previsor. Bajo esta nueva visión, la NASA pudo completar seis misiones lunares. Cuando el Apolo 17 llegó a la superficie lunar, Estados Unidos lamentablemente abandonó las misiones tripuladas a nuestro satélite natural, pero con la satisfacción de haber puesto a doce astronautas en su superficie para recuerdo de toda la humanidad.

Apolo 13, treinta años después.

¿Qué ha sido de los tres astronautas de la misión Apolo 13?

Antes que nada mencionaremos que el astronauta Ken Mattingly, el piloto titular del Módulo de Comando que fuera sustituido por Jack Swigert en la misión Apolo 13, nunca enfermó de sarampión, contra los temores de los médicos de la NASA. Para su fortuna, posteriormente pudo realizar un viaje a la Luna sin contratiempos en la Misión Apolo 16, que descendería en el cráter Descartes. En dicha misión, Mattingly fue el piloto del Módulo de Comando, y los dos astronautas que pisaron suelo lunar fueron John Young y Charlie Duke, los astronautas reservistas del Apolo 13. Posteriormente, al concluir el programa Apolo, Ken Mattingly se convirtió en piloto de pruebas del programa del Transbordador Espacial y volvió nuevamente al espacio en 1982, durante el cuarto vuelo del transbordador *Columbia*, y otro posterior.

El Piloto del Módulo Lunar *Acuario*, Fred Haise, quien no pudo caminar en la Luna al abortarse el alunizaje del Apolo 13, fue posteriormente programado como comandante del futuro Apolo 19. Para su infortunio, los recortes presupuestarios que sufrió la NASA provocaron que los

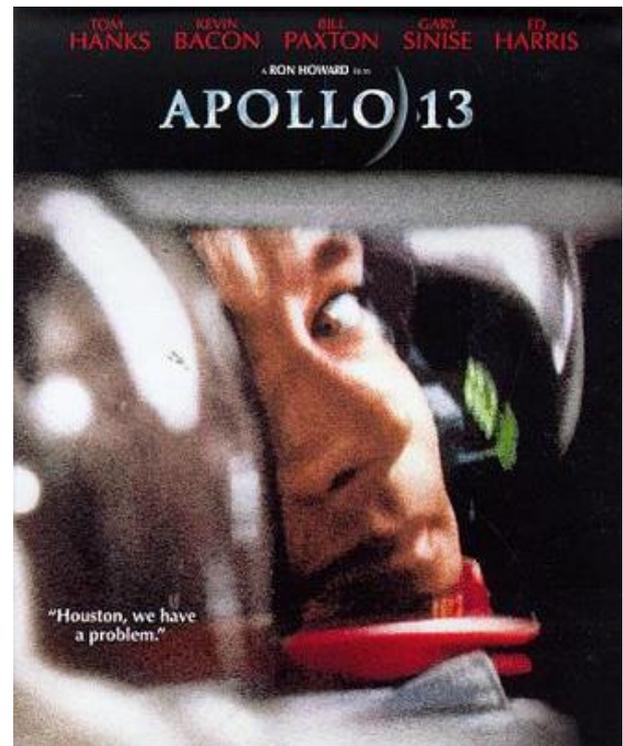


Figura 9: En 1996 se estrenó la película Apolo 13, Tom Hanks de protagonista, basado en un libro escrito por Jim Lovell. (Universal Pictures).

Apolo 18, 19 y 20 fueran cancelados, con lo cual Haise, al igual que Lovell, no pudo entrar a ese selecto club de seres humanos que han caminado en la superficie lunar. Posteriormente Haise continuó trabajando con la compañía Grumman, con quienes tiempo atrás había diseñado el Módulo Lunar que les había salvado la vida a él y a sus compañeros Swigert y Lovell.

Con el tiempo, Fred Haise se convirtió en piloto de pruebas del prototipo de los Transbordadores Espaciales: el orbitador Enterprise. En junio de 1979, Haise se retiró de la NASA y actualmente es presidente de Grumman Technical Services en Titusville, Florida. Allí reside con su esposa Patt.

Jack Swigert, el piloto de reserva del Módulo de Comando *Odisea*, tuvo un destino poco común. Swigert era el único soltero en la nómina de astronautas de la NASA. Para su suerte, cuando Charlie Duke enfermó de sarampión y Ken Mattingly era propenso a enfermar, Swigert viajó como relevo. Sin embargo, ya hemos visto que el vuelo del Apolo XIII distó mucho de ser placentero. Después del amerizaje del 17 de Abril de 1971, Jack Swigert no quiso tentar más a la suerte y abandonó la NASA para regresar a Colorado. En 1979 se convirtió en vicepresidente de BDM Corporation en Golden (Colorado). Posteriormente decidió probar fortuna en la carrera política, al igual que lo han hecho muchos ex-astronautas. Su intento por llegar al Senado fracasó, pero el 11 de noviembre de 1982 ganó las elecciones para la Cámara de Representantes. Sin embargo, un mes antes de las elecciones de no-

viembre, se le diagnosticó un especialmente agresivo caso de linfoma cancerígeno. Para su mala fortuna, tres días antes de la apertura de la Cámara de Representantes, el 28 de diciembre de 1982, Jack Swigert fue derrotado por el cáncer.

Por su parte, el Comandante del Apolo 13 James Lovell, abandonó la NASA en marzo de 1973. Trabajó en una compañía marina, y después en el área de las telecomunicaciones. Se convirtió en vicepresidente ejecutivo de Centel Corporation . En 1994 aparece un libro escrito en coautoría con Jeffrey Kluger titulado *Lost Moon: The Perilous Voyage of Apollo 13* (Perdidos en la Luna: El peligroso viaje del Apolo 13) y posteriormente retitulado “Apollo 13”, del cual se han extraído valiosas notas para la elaboración de esta monografía. Este libro de Lovell y Kluger ha sido la base para la elaboración del guión de William Broyles Jr. y Al Rinert para la exitosa película de Estudios Universal dirigida por Ron Howard. En “Apollo 13” actúan Tom Hanks como Jim Lovell, Kevin Bacon como Jack Swigert, Bill Paxton como Fred Haise y Ed Harris como Gene Kranz, el Director de Vuelo de la NASA que tuvo la responsabilidad de regresar sanos y salvos a la tripulación de la nave averiada.

Jim Lovell, comandante del Apolo 13 y David R. Scott, comandante del Apolo 15, fueron los asesores de la película, que fue hecha con la completa colaboración de la NASA. La cinta dirigida por Ron Howard, con una inversión de 40 millones de dólares, recaudó en sólo dos meses de exhibición más de 200 millones de dólares, demostrando una vez más el interés del público por la aventura y exploración espacial. Ω

Referencias

- [1] “*Apollo 13*”. Jim Lovell & Jeffrey Kluger. Pocket Books. EEUU. 1994.
- [2] “*Apollo by the numbers*”. Richard W. Orloff. 1996.
- [3] “*Apolo 13. Qué pasó realmente*”. Juan Antonio Guerrero. Revista MUY Interesante. Año XIII N° 3. México.
- [4] “*The Real Rocket Man. Apollo 13 Commander*”. Revista *Final Frontier*. Agosto 1995.
- [5] “*Apollo 13: A Race Against Time*”. CD-ROM. CounterTop Software. Redmond. WA. EEUU.

Jesus Gerardo Rodríguez Flores
Sociedad Astronómica de la Laguna
Gómez Palacio, Durango. México.
jgerardo@prodigy.net.mx
MegaCosmos
<http://www.astrored.org/noticias/megacosmos>

La Transformada de Fourier (I)

Francisco J. Tapiador | Laboratorio de Teledetección. Universidad de Valladolid y Sociedad Astronómica Syrma

Una de las herramientas matemáticas más útiles en ciencia es la transformada de Fourier (TF). Sus aplicaciones van desde la teoría de la señal hasta la Climatología, pasando por la Geografía e incluso la Biología. En relación a la Astronomía, hay muchos campos en los que es útil aplicarla. En este artículo y en su segunda parte trataremos de dos utilidades, referentes al campo aficionado: el análisis de series temporales y el tratamiento digital de imágenes. En esta parte hablaremos de la primera cuestión.

La transformada de Fourier es una operación que se realiza sobre funciones

A pesar de que su formulación pueda parecer difícil a aquellos que no disfruten de una educación matemática superior, los rudimentos de la transformada de Fourier pueden entenderse perfectamente si se pone la atención suficiente. Hay dos fases: comprender qué es lo que se hace con una función -pues lo que se *transforma* son funciones-, visualizando de alguna manera el resultado; y después, ser capaz de utilizar esta técnicas por nosotros mismos, para lo que no se necesita un conocimiento más profundo: hay programas informáticos que hacen las operaciones por nosotros. Una tercera etapa consistiría en ser capaces de manejar la TF analíticamente, es decir, con sus expresiones matemáticas. Esta tercera etapa requiere de una base universitaria, pero no se pretende aquí que seamos capaces de diseñar nuestros propios filtros digitales, sino más bien que sepamos aplicar los que ya existen.

La transformada de Fourier es una operación que se realiza sobre funciones. Es decir, vamos a coger dos variables, la una dependiente de la otra -una función- y la vamos a convertir en otra variable que depende de una nueva -otra función-.

A la primera función la llamamos $f(x)$, o si preferimos, Y . Por definición, la transformada de Fourier de Y es:

$$\text{Fourier}(Y) = \int_{-\infty}^{\infty} Y e^{-i2\pi ux} dx = f(u)$$

¿Qué nos dice esta expresión? Es una especie de *suma infinita* -una integral- de la función de partida por el número e elevado a la unidad imaginaria i que multiplica a π , a la nueva variable u que decíamos, y a x . Ya tenemos otra función, $f(u)$ que depende de u . Si aplicamos una conocida equivalencia que debemos a Euler -léase óiler-, se puede transformar lo anterior en:

$$\text{Fourier}(Y) = \int_{-\infty}^{\infty} Y (\cos 2\pi ux - i \sin 2\pi ux) dx$$

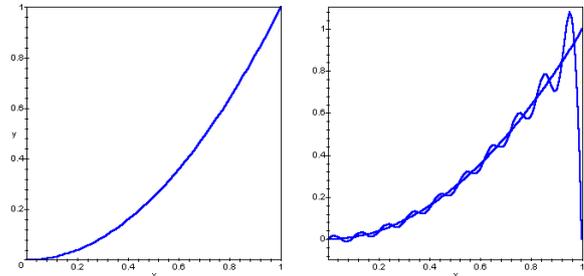


Figura 1: $f(x) = x^2$

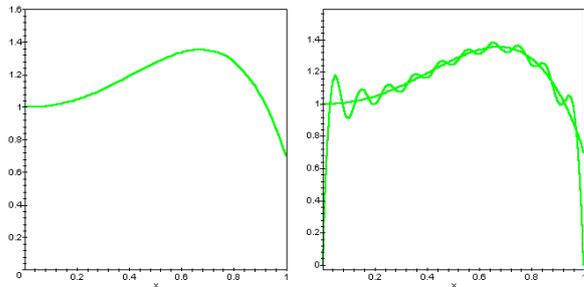


Figura 2: $-3x^4 + 1, 7x^3 + x^2 + 1$

Lo que hemos hecho es mirar de otra manera la exponencial elevada a un complejo. Ahora tenemos trigonometría, y es más fácil entender lo que se le hace a la función.

Lo que Fourier demostró en realidad es que cualquier función que cumpla una serie de condiciones razonables (las *condiciones de Dirichlet*) es equivalente a su transformada. Estas *condiciones razonables* se cumplen para la mayoría de las funciones con las que vamos a topar, por lo que se puede decir que la TF se puede aplicar casi siempre en el análisis de series temporales en Astronomía.

¿Y qué tiene de bueno que una función sea equivalente a su TF? Lo veremos con unos ejemplos.

Supongamos que tenemos la función $f(x) = x^2$, es decir, un polinomio sencillo, definido entre 0 y 1 por simplicidad. Si aplicamos la TF y dibujamos el resultado en el mismo plano en que dibujamos $f(x)$, nos queda el gráfico 1.

Hemos transformado una función en una suma de senos y cosenos que *encaja* bastante bien con ella. Hasta aquí, poco impresionante; la función era muy sencilla y hemos ganado poco.

Lo interesante viene cuando aplicamos la transforma-

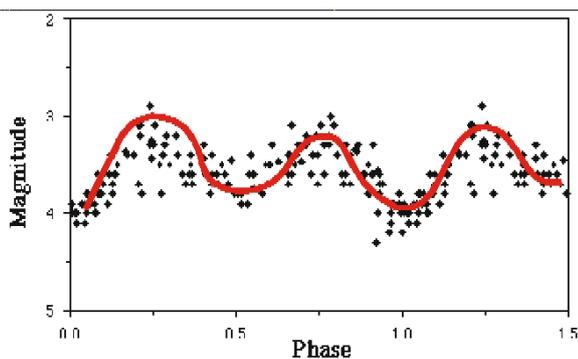


Figura 3: Curva de luz de una estrella variable periódica.

da a funciones más complejas. Para una función como $-3x^4 + 1,7x^3 + x^2 + 1$ en la gráfica 2, que ya no es tan trivial, tenemos que se sigue realizando un buen ajuste, transformando una expresión polinómica en una simple suma de senos y cosenos.

¿Y qué pasa si no conocemos la expresión analítica de la función de partida?. Llegamos al quid de la cuestión. No siempre vamos a tener polinomios, o a conocer como varía $f(x)$ en función de x . En las series temporales lo que tenemos es una *tabla de valores*, un número, a veces muy grande, de pares de números que se pueden reflejar en una gráfica.

Pero no sabemos qué sucede si tomamos un valor para la x que no esté en la tabla. Y precisamente, eso es lo que nos interesa: saber qué pasará entre los valores que tenemos -interpol- o, más interesante, más allá de ellos -extrapol-.

Si hemos realizado 200 observaciones de una estrella variable irregular, queremos saber qué brillo va a tener el miércoles de la semana que viene. Si hemos calculado el número de Wolf, querríamos saber cuál va a ser el mes o el año que viene. Si hemos accedido a la web de la NASA y nos hemos traído una tabla de temperaturas en Marte, querríamos ver qué pauta sigue su variación para establecer un modelo. Hay que apresurarse a decir que la TF no resuelve del todo estos problemas: es un medio de aproximarse a ellos, mucho más eficaz que otros.

El ajuste con polinomios puede hacerse con programas comunes, como Microsoft Excel o StarOffice

Por ejemplo, en el caso de una variable como la del gráfico 3 podríamos intentar realizar un ajuste polinómico. El error que se comete en el mejor de los casos, con un polinomio grandecito de grado 6, es muy superior al que se comete calculando la serie de Fourier (el ajuste con polinomios puede hacerse con programas comunes, como Microsoft Excel o StarOffice). Si lo intentamos con U Geminorum, con una gráfica como la de la figura 4, no vamos a tener tanta suerte para encontrar un buen ajuste polinómico (nótese que las dos gráficas son diferentes). Necesitamos algo operativo y más o menos automático.

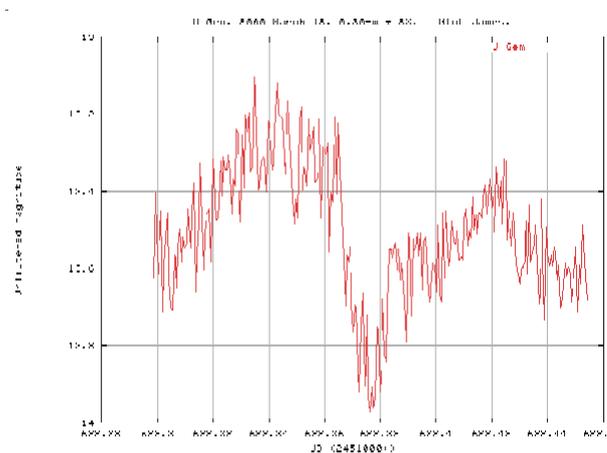


Figura 4: Curva de luz de U Gem.

El cómo se calcula la TF de Fourier a partir de datos sueltos, y no de una expresión analítica, no es complicado si no se entra en formalismo matemático. En síntesis, lo que se hace es cambiar la integral (que podemos ver como una suma infinita a lo largo de una recta continua) por una suma infinita a lo largo de una recta que llamamos *discreta*, o sea, discontinua. A eso se le llama serie. Se habla entonces de la serie de Fourier de la función y de la transformada discreta de Fourier (TDF).

La serie de Fourier tiene infinitos términos, de los cuales en la práctica sólo podemos calcular unos pocos. Lo que sucede, a grandes rasgos, es que según se añaden nuevos términos se gana en precisión, es decir, la TDF se acerca más a la función origen. A éstos sumandos se les llama en la jerga *armónicos*. Es decir, si decimos que la TDF de la función $f(x)$ es $f(u)$ con tres armónicos, esto quiere decir que hemos cortado a partir del cuarto sumando. En la gráfica 5 hay tres representaciones además de la de la función, cada uno de los cuales tiene más armónicos que el anterior. Según aumentamos el número de sumandos, se ve cómo nos ajustamos mejor a la función.

¿Cómo podemos calcular la TDF? Los programas de cálculo simbólico, como Matlab o Maple la incluyen, por supuesto. Paquetes estadísticos, como el SPSS la poseen también. Si nos gusta programar, podemos intentarlo nosotros mismos: el código está en el gráfico 6 en forma de función de C++ (hay una versión más rápida para realizar el cálculo, al Transformada Rápida de Fourier, que veremos en otra ocasión). Se trata de un programa que realiza las operaciones sobre imágenes, al que sacaremos mayor partido en la segunda parte de este artículo, pero puede ser utilizado para ajustar series temporales con pequeñas modificaciones.

Para finalizar esta primera parte, señalar algunas actividades que se pueden realizar. En la página Web del SIDC, entre otros lugares, se pueden encontrar registros históricos del número de Wolf. Cualquiera puede bajarse los datos y empezar a trabajar con ellos. En el Grupo Universitario de Astronomía de Valladolid estamos estudiando en este momento las relaciones entre la variación

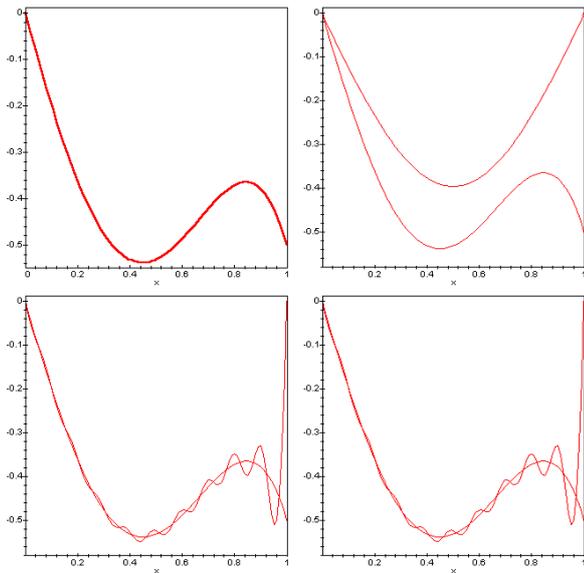


Figura 5: Gráfica con sus ajustes sucesivos.

de éste y diversos ámbitos geográficos, como el clima. Se ha visto que, en algunos aspectos, el análisis de Fourier es útil. En otros trabajos, como el análisis de las temperaturas medias mensuales en diversos puntos del territorio, se ha demostrado que es el método más satisfactorio de ajuste. Ω

Francisco Javier Tapiador
 tapiador@latuv.uva.es
 Departamento de Física Aplicada I
 Universidad de Valladolid (España)

```

/* Rutina en C++ para el cálculo de la
transformada de Fourier de imágenes

Francisco J. Tapiador. 24 de abril de 2000
Método clásico. Lento pero fácil de comprender
Sólo para imágenes cuadradas
*/

#define PI 3.141593
#define xydim T
// T es un valor fijo definido por el usuario.
// Puede también pasarse a la función.

void Fourier1(imag, freal, fimag) {
// recibe 'imag' como una matriz bidimensional en
// la que guardan los valores 'x' e 'y'
// 'freal' la parte real del resultado y 'fimag'
// la imaginaria
double imag[][xydim];
double freal[][xydim];
double fimag[][xydim];
double phi, sum1, sum2;

for (int i = 0; i < xydim; i++)
for (int j = 0; j < xydim; j++) {
sum1 = 0;
sum2 = 0;
for (int x = 0; x < xydim; x++) {
for (int y = 0; y < xydim; y++) {
phi = 2 * PI *(i * x + j * y) / xydim;
sum1 = sum1 + imag[x][y] * cos(phi);
sum2 = sum2 + imag[x][y] * sin(phi);
}
}
freal[i][j] = sum1 / xydim;
fimag[i][j] = -sum2 / xydim;
}
}

```

Figura 6: Algoritmo en C++ de una función para el cálculo de la serie de Fourier.



Museo Español del Espacio

Gabriel Rodríguez Alberich | Una visita a la Red

“Cada vez que hablemos de hombres valientes o de grandes hazañas, hagamos que sus nombres sean recordados para siempre”

Con esta frase y una bonita imagen de una puesta de sol, Óscar Augusto Rodríguez nos presenta la página web destinada a difundir electrónicamente el gran proyecto que se trae entre manos desde 1997.

Óscar Augusto es uno de esos divulgadores natos. Es un apasionado de la astronáutica (la parte de la astronomía dedicada a la conquista del espacio y los artefactos utilizados para ello), y desde 1994 está empeñado en acercarnos esta apasionante ciencia al resto de los ciudadanos españoles. Para ello ha colaborado con medios de comunicación, realizado exposiciones y conferencias, y desde 1997 se ha embarcado en un ambicioso proyecto: la creación del primer museo español dedicado a la aventura del ser humano por alcanzar las estrellas. Este proyecto en sí es otra aventura, ya que este gaditano está buscando financiación para la construcción del museo entre organismos públicos y empresas privadas de Cádiz.

El proyecto contempla la construcción de dos edificios

(hay imágenes hechas por ordenador en la página web) en los que se relatarían, mediante exposiciones de material y audiovisuales, las hazañas del hombre en su conquista del espacio, desde sus inicios en las civilizaciones clásicas hasta la actualidad. Ya hay diseñado un plan de exposiciones que se puede consultar en la página web, que contempla los inicios astronómicos del hombre en la mitología antigua, los avances en física de mediados de milenio, los intentos pioneros en alcanzar el espacio, conquista de la Luna, etcétera. Toda la página web está aderezada con multitud de imágenes de astronautas, entre las que cabe destacar una en la que aparece Óscar Augusto con el astronauta español Pedro Duque.

La iniciativa de Óscar Augusto ha recibido multitud de apoyos por parte de organizaciones con tanto nombre como la NASA, las Fuerzas Aéreas Estadounidenses y la ESA, y por parte de individuales como los astronautas españoles Pedro Duque y Miguel López-Alegría, o Valeriano Claros, responsable de la Estación de Seguimiento de Satélites de la ESA, en Villafranca del Castillo (Madrid). En la página web se detalla un generoso listado

de organismos que colaboran con el proyecto, aportando material documentativo y de exposición para lo que de seguro será en el futuro el primer Museo Español del Espacio.

Direcciones de interés:

- Museo Espacial
<http://www.astrored.net/museo-espacial>

Efemérides de Astronomía con Java

Para un astrónomo aficionado a la observación, posiblemente la hoja de efemérides sea el instrumento más valioso y cotidiano que utiliza durante sus escapadas, sin contar con sus ojos y las extensiones de éstos (esto es, el telescopio y los prismáticos). Son útiles para enterarse de los eventos astronómicos destacados que van a tener lugar próximamente, y proporcionan los datos necesarios para su localización en la bóveda celeste.

Lo que pasa con estas tablas es que su información caduca, y además no es universal, pues depende de la situación geográfica del observador. Datos como el orto y el ocaso de un planeta, que son la hora en Tiempo Universal a la que éste sale y se pone por el horizonte, dependen de la latitud y la longitud del observador. Esto obliga a tener unas efemérides locales siempre actualizadas.

Para el astrónomo amateur que no tiene quien le proporcione hojas de efemérides, para el astrónomo aventajado que quiere datos de cuerpos celestes que no suelen aparecer en estas tablas, o simplemente para el que quiere tener unas efemérides a medida, la posibilidad de calcular todos estos datos in situ se antoja imprescindible.

Es por esto que existen programas informáticos dedicados a esto, como son el Windows Ephemerid Tools para Windows, o el X-Ephem para Linux. Pero desde hace un tiempo también podemos hacerlo en Internet, gracias a Joaquín García Ferrer, que ha colocado en la Web una página desde la que podemos generar efemérides a golpe de ratón.

Los cálculos los realiza el ordenador del usuario mediante código programado en Javascript. La ventaja de esto es que es posible para un programador que conozca este lenguaje leer el código fuente del script, y aprender los métodos matemáticos utilizados para calcular los datos. Además, Joaquín García proporciona explicaciones detalladas de los conceptos que entran en juego y los métodos de cálculo utilizados.

En esta web afiliada a la comunidad AstroRED se pueden realizar cálculos sobre la posición de los planetas y la luna, su orto y ocaso, ángulo entre dos astros arbitrarios, posiciones cartesianas de los satélites galileanos, conversión entre multitud de coordenadas, fechas julianas, etcétera. También se incluye una cuenta atrás que indica el tiempo que queda para la llegada del siglo XXI, y se explica por qué empieza en el año 2001, en vez de en el 2000, como la intuición podría indicarle a muchos. Sin embargo, si lo que buscamos son datos de asteroides

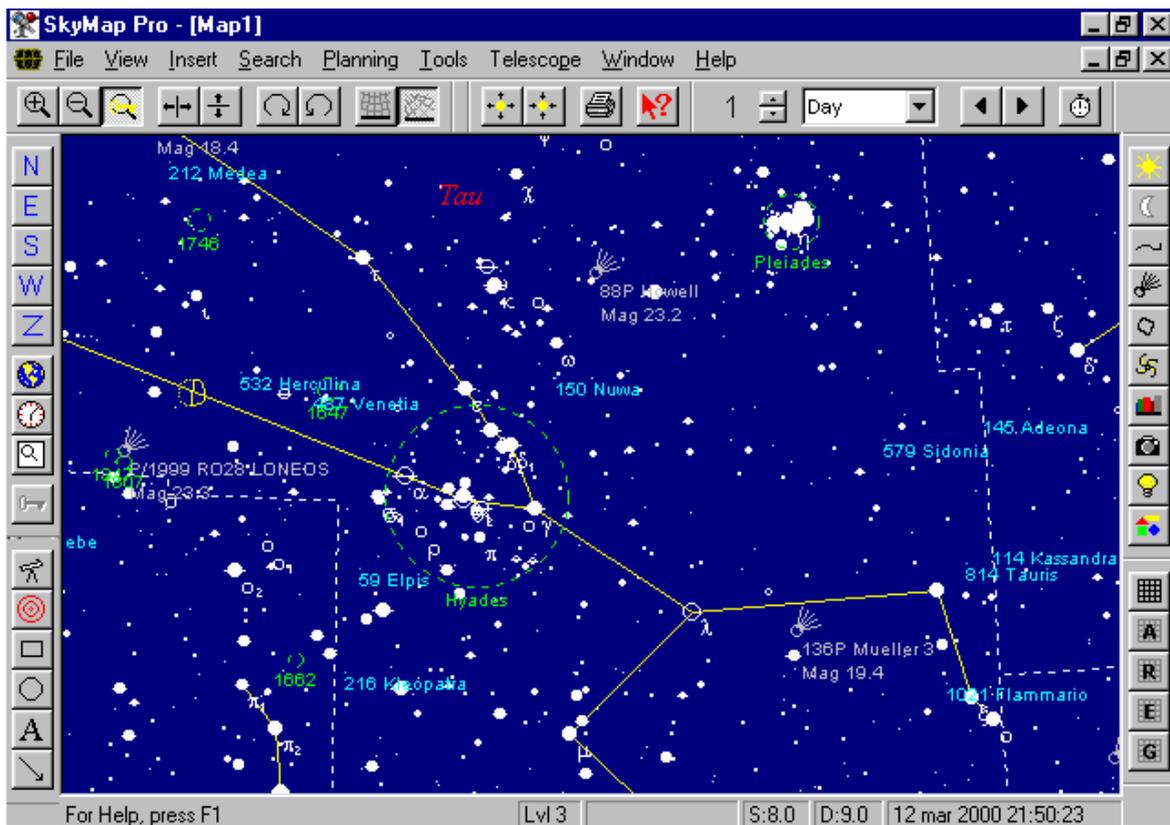
o cometas, o casos especiales como ocultaciones y conjunciones, tendremos que recurrir a programas informáticos más completos como los indicados arriba.

Direcciones de interés:

- Efemérides de Astronomía con Java
<http://www.astrored.org/efem/java>
- “Comprendiendo las efemérides astronómicas”, artículo publicado en el *Astronomía Digital* 5.
<http://digital.astrored.org/5/efemerides.html>
- X-Ephem
<http://www.ClearSkyInstitute.com/xephem>
- WET
<http://www.nova-astro.com>

Ω

Gabriel Rodríguez Alberich
chewie@asef.us.es
Astronomía Digital



SkyMap Pro 6: Mucho más que un planetario

Miguel A. Vallejo | España

Por nuestros ordenadores han pasado multitud de programas que simulan los movimientos de la esfera celeste. Este, a primera vista, parece uno más de ellos, pero no tardaremos mucho en descubrir todo el arsenal que se oculta debajo de su simple apariencia.

Introducción.

SkyMap Pro 6 es una poderosa herramienta creada por Chris Marriott, que proporciona al aficionado a la astronomía, información y características que hasta hace solo unos pocos años, estaba restringida a un selecto grupo de astrónomos profesionales. Combina increíbles capacidades para la manipulación de las enormes bases de datos astronómicas, así como impresionantes características para la realización de mapas completamente personalizables de cualquier zona del cielo.

Es un programa hecho para aficionados, pero con características más que profesionales, sin embargo, no está especializado en ningún campo: SkyMap Pro 6 es ideal tanto para observadores visuales como para observadores CCD o fotográficos, buscadores de asteroides o de supernovas, observadores planetarios o cometarios, e incluso cazadores de eclipses u ocultaciones: Todos van a encontrar en SkyMap Pro 6 una herramienta imprescindible para realizar sus tareas.

Mencionar todas las características que nos ofrece SkyMap Pro 6 ocuparía prácticamente un libro, por ello, van a resumirse en las más interesantes para los aficionados.

Catálogos incluidos.

Los catálogos estelares incluidos con el programa son el Tycho, Hipparcos, Yale Bright Star Catalog (BSC), Hubble Guide Star Catalog (GSC), General Catalog of Variable Stars (GCVS), y el archiconocido Washington Visual Double Star Catalog (WDS). Para cielo profundo, incluye el famoso Saguario Astronomy Club (SAC), Catalog of Principal Galaxies (PGC), Third Reference Catalog of Bright Galaxies (RC3), el Lyon-Meudon extragalactic database (LEDA) y el Strasbourg Catalog of Galactic Planetary Nebulae. Como se puede ver el arsenal que ofrece el programa es sumamente apetecible, pero... ¿Y si necesito algún otro catálogo?

No hay problema, una de las mejores características que nos brinda este programa es la posibilidad de incluir, cualquier tipo de catálogo astronómico en el programa, con la única condición de que la información del catálogo este en un fichero ASCII tabulado. De esta forma, el programa no solo dibujará el objeto en pantalla, sino que además, será capaz de mostrarnos todas las características de ese objeto que aparezcan en nuestro catálogo. De esta forma, podemos coger de Internet un catálogo de pulsares, de radiogalaxias, de quasares, etc. y hacer que SkyMap Pro 6 nos lo trate, pinte y maneje como si de un catálogo mas se tratara. ¿No es maravilloso?

Sistema Solar.

En los objetos del sistema solar, tampoco se queda corto. Aparte de calcular todas las posiciones de los planetas, también es capaz de calcular las posiciones de los principales satélites planetarios de Júpiter, Saturno y Urano, y pintarlos en el mapa como un objeto mas, por lo que es posible ver y buscar conjunciones y/o ocultaciones de estrellas por estos, así como también de los anillos de Saturno y la división de Cassini. También es capaz de dibujar el ángulo de fase con el cual es visible un planeta, así como los polos y el ecuador: Una gran ayuda a la hora de realizar dibujos a mano alzada.

En la cuestión de los asteroides, es capaz de leer tanto la base de datos de elementos orbitales del observatorio de Lowell (astorb.dat) como los elementos oficiales publicados por el Minor Planet Center (MPCORB). Además, es posible añadir, borrar y/o modificar los elementos orbitales de cualquier asteroide, así como seleccionar que asteroides deseamos estudiar, para ahorrar tiempo de cálculo.

Aquí es importante destacar un pequeño, pero MUY importante detalle. El autor nunca ha buscado hacer el programa mas rápido calculando posiciones orbitales, sino el mas preciso. La precisión alcanzada en el calculo de la posición de los objetos del sistema solar es exquisita: Por ejemplo, el error máximo producido en las posiciones planetarias esta en el orden de las milésimas de segundo

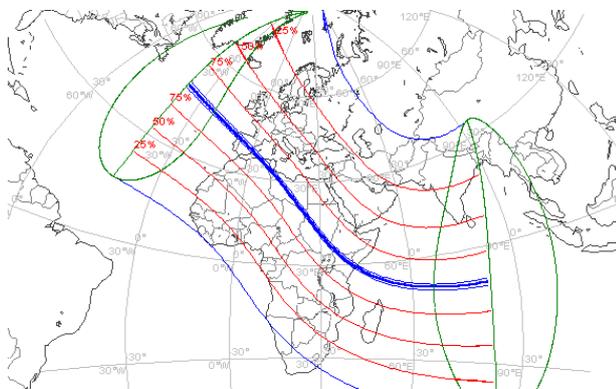


Figura 1: Mapa realizado con SkyMap Pro 6 del próximo eclipse anular que ocurrirá el próximo 5 de octubre del 2005.

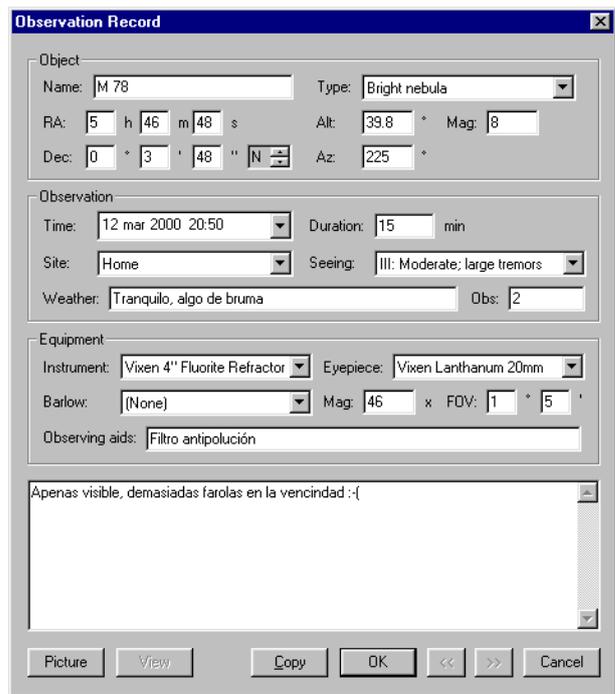


Figura 2: Ejemplo de una observación registrada en la base de datos de observaciones.

de arco. Aun así, calcular las posiciones de 40.000 asteroides en un viejo Pentium 150 con 64 Mb de RAM anda por los 40 - 45 segundos.

Similares prestaciones a las presentadas por los asteroides, nos encontramos con los cometas, siendo posible filtrar el cálculo a cometas que estén un número de días antes o después del perihelio, lo que evita calcular cometas que son extremadamente débiles y/o lejanos para nuestros telescopios.

También es capaz de calcular y dibujar las órbitas de los cuerpos que giran en torno a la Tierra, como los satélites artificiales, utilizando el formato de dos líneas (TLE) para obtener sus elementos orbitales.

Cartografía celeste.

La realización de mapas de cualquier zona de la bóveda celeste es una tarea muy sencilla. El programa utiliza diferentes niveles para definir que objetos y que características serán dibujadas en cada mapa. Hay diez niveles totalmente configurables por el usuario, que se corresponden con diez niveles de zoom, que son utilizados por el programa como punto de partida para poder dibujar un mapa. En cualquier momento, se pueden sobrescribir estos valores y crear mapas con características determinadas o de cierto interés.

Todo lo que aparece en el mapa es configurable, el tamaño con el que se representan las estrellas, las etiquetas con las que aparecerán los diferentes elementos, los colores de los diferentes objetos, absolutamente todo. Si estamos familiarizados con las cartas sobre papel realizadas por

Will Tirion en su Sky Atlas 2000, veremos que el convenio de símbolos utilizados es el mismo, por lo que veremos las estrellas dobles señaladas por una línea horizontal, las variables por un círculo, los cúmulos globulares por un círculo con una cruz, etc. Un detalle importante, es que el programa tiene en cuenta el movimiento propio de las estrellas, por lo que podremos observar, el movimiento de estrellas como, por ejemplo, la estrella de Barnard de un año a otro.

Una vez creado un mapa, podemos personalizarlo a nuestro gusto, pudiendo escribir en el notas, dibujar el campo de un ocular, de una cámara CCD, trazar líneas, etc. Una característica también muy útil, es que a partir de un mapa creado, se pueden hacer listados de todos los objetos presentes en el, como estrellas dobles, variables, cielo profundo, etc.

Otra característica muy útil, es colocar como fondo en el mapa creado una imagen real de la zona del cielo que estamos estudiando. Para ello, el programa puede utilizar varias fuentes: Los CD del Real Sky o del Digitized Sky Survey (DSS), un fichero FITS, o si tenemos conexión a la red, puede traer las imágenes directamente desde la web del DSS o desde alguno de sus múltiples mirrors.

Ayudas a la observación.

SkyMap Pro 6 incluye una buena colección de utilidades y herramientas que nos van a permitir planificar y guardar ordenadamente todas nuestras observaciones. Para ello, el programa nos proporciona una base de datos, en la cual podremos anotar todas los detalles relativos a una observación determinada, como ocular e instrumento empleado, condiciones meteorológicas, etc. Esta base de datos, realizada con el motor de bases de datos JET de Microsoft, puede ser consultada con todas las opciones que se nos puedan ocurrir y es un buen sustituto a las anotaciones que solemos guardar en incontables blocs de notas.

Además, para planificar las observaciones, podemos hacer una lista de los objetos de nuestro interés, que el programa nos los ordenara por orden de culminación y nos dará las mejores fechas y horas para realizar la observación deseada. También tenemos pequeñas opciones para calcular horas de orto y ocaso del sol, la Luna, planetas e incluso unas tablas de datos con todos los eclipses de Sol y Luna entre los años 2000 antes de Cristo y 3000 de nuestra era, además de los tránsitos de Mercurio y Venus.

La inclusión de los cálculos sobre los eclipses de Sol y Luna es una de las características mas destacables que han aparecido en esta versión del programa. Así, podremos ver si un eclipse será visible o no desde nuestra posición y en qué condiciones. Además, el programa es capaz de dibujar mapas terrestres con el camino de la sombra de la Luna (en el caso de los eclipses solares), con toda la información necesaria para poder ir en busca de la ansiada línea de totalidad. En los eclipses de Luna, es capaz de dibujar la umbra y la penumbra terrestre en el firmamento, por lo que se puede observar claramente como la Luna va realizando las diferentes etapas del eclipse.

Por ultimo, el programa también es capaz de manejar los telescopios computerizados mas comunes en el mercado. El autor, en su web, dispone de kit de desarrollo disponible para todos aquellos que deseen expandir la lista de telescopios soportados a nuevos modelos o versiones, siempre que el manejo de estos se pueda realizar a través de un puerto serie. El programa es capaz de apuntar el telescopio a cualquier objeto (si este lo soporta) o en el caso de círculos digitalizados, mostrarnos el punto de la bóveda celeste al cual esta apuntando el telescopio.

Actualizaciones, bugs y soporte técnico.

Muchas de las características que hacen que SkyMap Pro 6 sea un programa con tal grado de perfección, no están en el programa en sí, sino en su autor, Chris Marriott, el cual siempre está atento a los bugs que encuentran los usuarios, así como a las posibles mejoras o cambios que sean posibles realizar para mejorar el programa. Yo mismo descubrí varios bugs en las versiones 4 y 5 del programa que tardaron *horas* en ser corregidos con los correspondientes Service Packs. Algo muy de agradecer.

Actualmente sale un nuevo Service Pack cada tres meses aproximadamente, pero ya se corrigen muy pocos bugs (el programa ha alcanzado un nivel de perfección difícilmente creíble en la informática actual), siendo la mayoría de las actualizaciones nuevas características y/o comportamientos que los usuarios deciden por unanimidad.

Conclusión.

Estamos ante lo que siempre ha sido el sueño del astrónomo aficionado. Toda la potencia de este programa, de la que aquí solo he podido mostrar una parte ínfima, unido a su bajo precio, y a su extraordinaria política de actualizaciones, hará que nos transformemos en unos devotos de este programa.

SkyMap Pro 6, es uno de esos programas, que una vez que aterriza en nuestro disco duro, ni se nos pasa por la cabeza el desinstalarlo. Ω

Referencias

- [1] Página principal del programa
<http://www.skymap.com>
- [2] Página del Minor Planet Center
<http://cfa-www.harvard.edu/iau/mpc.html>
- [3] Página de la base de asteroides del observatorio de Lowell
<http://www.lpl.arizona.edu/users/nolan/astorb.html>

Miguel A. Vallejo
ea4eoz@jazzfree.com

Astrofísica digital: Espectros estelares

Ángel Rafael López | Agrupación Astronómica de Córdoba, España

Bajo las siglas CLEA (*Contemporary Laboratory Experiences in Astronomy*) se engloban una serie de programas destinados a introducir en el mundo de la práctica observacional a estudiantes, generalmente de astrofísica. En esta ocasión, el autor nos guía por el módulo dedicado al estudio de espectros estelares.

Introducción.

Las prácticas de Astronomía CLEA (*Contemporary Laboratory Experiences in Astronomy*) resultan una manera didáctica y amena de introducir algunos conceptos astrofísicos básicos para estudiantes y aficionados. A través de una serie de ejercicios prácticos, el alumno aprende a manejar un observatorio virtual, con el que se podrá estudiar desde la evolución de las estrellas hasta encontrar un valor para la constante de Hubble, aprendiendo cómo funciona la fotometría o la espectroscopía, por ejemplo. Los programas son muy sencillos de manejar; eso sí, están en inglés.

Durante el último año los hemos usado para las clases de Astronomía, teniendo una gran aceptación. Así, abrimos esta nueva sección en el boletín informativo, para describir a grandes rasgos cómo funciona cada programa, además de un ejercicio práctico. Por motivos de espacio, aparecerá sólo lo considerado más importante. No obstante, puedes bajarte el texto completo desde el web de la Agrupación Astronómica de Córdoba.

Las prácticas de Astronomía CLEA resultan una manera didáctica y amena de introducir algunos conceptos astrofísicos básicos

Esta práctica está dedicada al estudio de los espectros estelares. Se pretende comprender cómo se analiza la luz de las estrellas mediante un espectroscopio, así como aprender a clasificar el espectro de varias estrellas dentro del diagrama HR, que ayuda a conocer el estado evolutivo de cada estrella.

Toma de espectros.

En primer lugar, abrir el programa `cle_spe.exe`. Aparecerá una pantalla con el símbolo de CLEA. Pulsaremos en *Log In...* para escribir los nombres de los estudiantes que van a realizar la práctica en una ventana que nos aparecerá (máximo 4 personas). Pulsamos la tecla *O.K.* cuando los hayamos introducido. El programa nos consultará si hemos concluido de escribir los nombres. Si es así, pulsaremos *yes*.

A continuación, se abrirá la pantalla principal de esta práctica. Volviendo a los botones colocados arriba a la izquierda, pulsamos *Run...* y, dentro de éste, seleccionamos



Figura 1: Logotipo del proyecto CLEA.

la opción *Take Spectra* para poder acceder al observatorio virtual.

El observatorio virtual es una pantalla que incorpora los elementos necesarios para esta práctica, simulando a un observatorio real. Está representada en la figura 2. El telescopio que dispone nuestro observatorio virtual es un reflector de 0,4 m (16 pulgadas). Las distintas funciones que puede efectuar el observatorio son las siguientes:

La columna de la izquierda está dedicada a las funciones del telescopio. Éstas son:

- *Dome*: Sirve para abrir y cerrar la cúpula. Inicialmente, se encontrará cerrada. Mientras no la abramos, no podremos usar ninguna de las demás funciones.
- *Tracking*: Debemos usar esta opción para poner en funcionamiento el motor de seguimiento del telescopio. Al comenzar la sesión, estará apagado (OFF). Debemos pulsarlo para poder comenzar a tomar medidas.
- *Slew Rate*: Es la tasa de velocidad con la que se puede mover el telescopio con los mandos lentos. Puede tomar los valores de 1, 2, 4, 8 y 16. Para cambiarla, tan sólo basta pulsar sobre el botón.
- *N, E, W, S*: Son los mandos lentos del telescopio.

Pulsando una vez sobre cualquiera de ellos, el telescopio se dirigirá un paso hacia la dirección indicada. La longitud de este salto es la que se ha indicado en el botón Slew Rate. Si mantenemos alguno de ellos pulsado continuamente, el telescopio se moverá uniformemente en dicha dirección.

- *Right Ascension y Declination*: Nos indica la posición del cielo en la que se encuentra el centro del campo de nuestro telescopio.
- *Monitor*: Una luz roja encendida nos indica que el telescopio se encuentra disponible para la observación. Debajo de este botón aparece el instrumento que estamos usando (el buscador, *Finder*, o el espectrógrafo, *Instrument*), así como el tamaño angular del campo que se recoge (2° 30' en caso del buscador, y 15' si usamos el espectrógrafo). Pulsando sobre el botón *Monitor* cambiaremos del buscador al espectrógrafo.
- *Set Coordinates*: Usaremos esta opción para variar a voluntad las coordenadas del centro del campo, pero no serviría de mucho, porque el programa sólo lleva incorporada dos pequeñas zonas del cielo.

En la columna de la derecha, aparecen las opciones del instrumento, en este caso el espectrógrafo. Como se necesita una pantalla especial para el análisis, sólo aparecerá el botón *Take Reading* que pulsaremos para tomar el espectro de la estrella, una vez centrada.

Una vez familiarizados con los distintos mandos que dispone el observatorio virtual, pasamos a tomar los espectros de distintas estrellas. El procedimiento es el siguiente:

- Una vez abierta la cúpula y conectado el seguimiento del telescopio, debemos elegir una estrella para tomarle el espectro. Con los mandos lentos, la centramos en el interior del recuadro rojo que aparece en el centro del campo. Por el momento, estamos

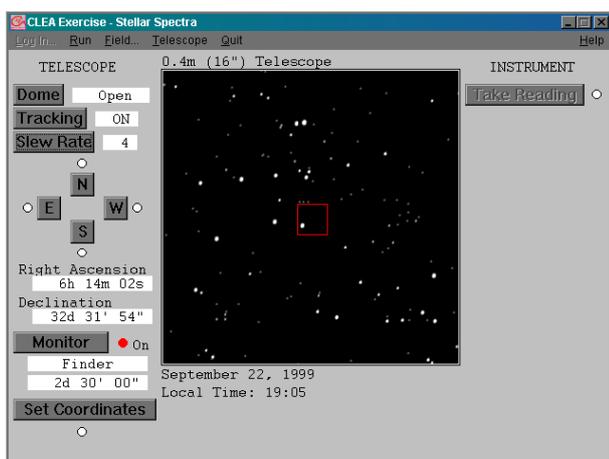


Figura 2: Aspecto del observatorio virtual una vez abierta la cúpula y conectado el seguimiento.

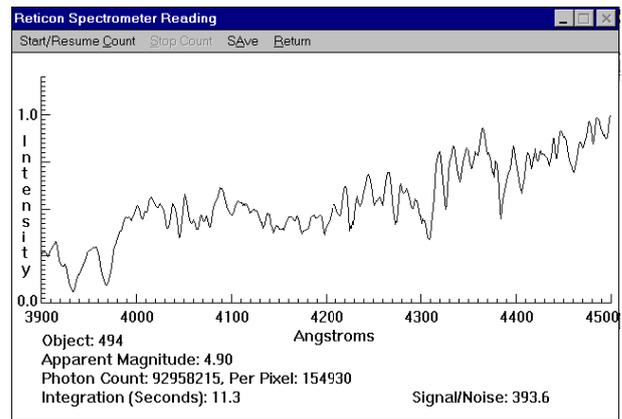


Figura 3: Aspecto de una ventana del espectrógrafo una vez se ha obtenido el espectro de una estrella.

usando el buscador del telescopio. Precisamente, este cuadro rojo nos marca el campo que abarca realmente el telescopio que disponemos. Cuando consigamos tener la estrella dentro del recuadro rojo, pulsamos el botón de monitor para pasar a la visión a través del telescopio.

- La visión a través del telescopio nos dará menos estrellas (por ser un observatorio virtual, que sólo dispone de una pequeña base de datos con estrellas relativamente brillantes). En el centro del campo aparecerán ahora dos rayas rojas verticales, que representan la rendija del espectroscopio. Usando tanto los mandos lentos como el mando slew rate, debemos colocar a la estrella justo en el centro de esta rendija. Si no la colocamos correctamente, al tomar la medida con el espectroscopio sólo nos saldrá una señal de ruido, que no sirve (en este caso) para nada. Por lo tanto, debemos ser cuidadosos a la hora de centrar la estrella.
- Cuando tengamos la estrella centrada, el instrumento estará listo para tomar las medidas. Pulsamos el botón *Take Reading*. Aparecerá una nueva pantalla, con el nombre de *Reticon Spectrometer Reading*, como se aprecia en la figura 3. Esta pantalla está compuesta en su mayor parte por dos ejes cartesianos: en el horizontal, se coloca la longitud de onda, medida en angstroms, desde 3900 a 4500 Å (principalmente, la zona del espectro de la luz visible). En total, el instrumento puede medir 600 longitudes de onda distintas (sensibilidad de ± 1 Å), y cada una la detecta un pixel. En el eje vertical, se coloca la intensidad I de la luz incidente. Ésta se mide desde 0 (no se detecta nada de luz) hasta 1 (toda la luz), por lo que tenemos a la intensidad normalizada. Pulsamos el botón *Start/Resume Count* para iniciar el experimento.
- Cuando se pulsa el botón *Start/Resume Count*, el instrumento comienza a funcionar, y poco a poco se va dibujando el espectro de la estrella que estamos

estudiando. Dependiendo de la magnitud de la estrella, este espectro tardará más o menos en formarse. En cuanto el instrumento comienza a funcionar, proporciona los siguientes datos:

- *Object*: Da la clasificación de la estrella, según un catálogo que el programa dispone. En este caso, se trata de la estrella 494.
- *Apparent Magnitud*: Magnitud aparente de la estrella, es decir, el brillo con el que se ve la estrella desde la superficie de la Tierra. Ahora es 4,90.
- *Photon Count*: Número de fotones que el detector ha contado. En el ejemplo, es de 92 958 215.
- *Per Pixel*: Por pixel, esto es, el número de fotones que ha contabilizado por pixel de la cámara. Como la cámara tiene 600 pixels, nos dará el número anterior entre 600; en este caso 154 930.
- *Integration (Seconds)*: Tiempo de integración, en segundos. Es decir, el tiempo que el espectrógrafo lleva recibiendo radiación. Aquí son 11,3 segundos.
- *Signal/Noise*: Relación entre la señal y el ruido de fondo. Cuanto menor sea este número, mejor, puesto que nuestros datos estarán menos contaminados. En la figura 3 esta relación es de 393,6. Cuanto más tiempo esté el espectrógrafo tomando medidas, mayor será este número. Por lo tanto, para estrellas brillantes, unos 10 segundos de integración son suficientes.

- Una vez obtenido correctamente el espectro, sólo nos queda salvarlo pulsando en la opción Save, y pulsar Return para volver a la pantalla del observatorio. Escogemos otra estrella y repetimos el procedimiento.

El nombre del archivo con el que se salvan los datos se forma uniendo las iniciales del alumno más 3 números que

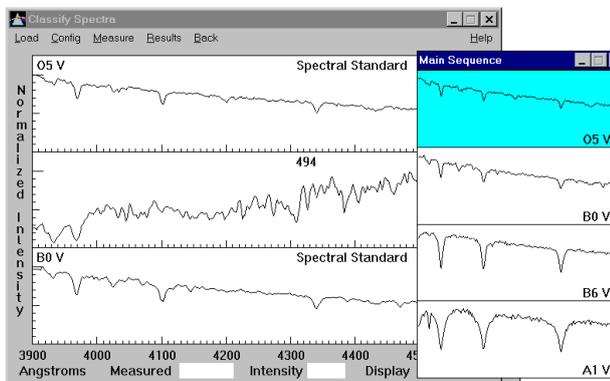


Figura 4: Ventana de clasificación de espectros con la ventana de la secuencia principal.

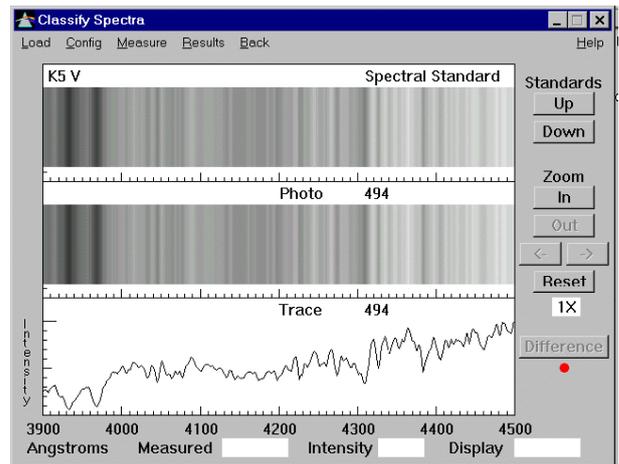


Figura 5: Espectro de la estrella 494 en escala de grises.

cada cual elige para cada espectro, con la extensión .CSP. Por ejemplo, ARL000.CSP representa el espectro 000 del alumno con iniciales ARL (Ángel Rafael López). Éste nombre es el que se ha introducido en el login, antes de iniciar la práctica. Además, este archivo se puede editar. Usando cualquier editor (bajo DOS, Windows o Linux), podemos ver los datos del espectro.

Clasificación de los espectros.

Una vez obtenidos todos los espectros que necesitamos, seleccionamos la opción *Classify Spectra* dentro del menú *Run*. Se nos abrirá una nueva pantalla, donde podremos clasificar el espectro de la estrella. Esta pantalla se encuentra dividida en tres zonas, donde se colocarán espectros estelares como se muestra a continuación. La parte derecha de la pantalla recoge algunas funciones útiles a la hora de estudiar el espectro problema. Cargamos el nombre del archivo del primer espectro que queramos medir. Seleccionamos, en el menú *Load*, la opción *Unknown Spectrum*, y dentro de él, elegimos *Saved Spectra (*.CSP)*. Por ejemplo, continuamos con *ARL000.CSP*. Se dibujará en la zona central, como representamos en la figura 4.

Para encontrar el espectro que mejor se acerque al nuestro, abrimos el atlas de espectros estándares que dispone el programa, seleccionando la opción *Atlas of Estandar Spectral* dentro del menú *Load*. Para comenzar, seleccionaremos la *Secuencia Principal* de estrellas, pues es casi seguro que es donde nuestra estrella se encuentre. Así, seleccionamos *Main Sequence* en la nueva ventana que se nos ha abierto.

Inmediatamente, nos aparece una nueva ventana con los espectros más importantes de la secuencia principal: desde el O5 V hasta M5 V (saltando de 5 en 5). Además, se llenan las zonas superior e inferior con dos espectros contiguos. En el caso de la figura 4, aparecen O5 V y B0 V.

Sólo nos queda ir pasando de espectro en espectro (mediante los botones *up* y *down*, a la derecha) de la secuencia principal y, por comparación, ver cuál se aproxima más a

nuestra estrella. Podemos ayudarnos de la opción *Difference* que aparece abajo a la derecha, con la que se resta al espectro estándar que tengamos en la zona superior, el espectro problema, apareciendo esta sustracción en la zona inferior. Cuanto más se aproxime esta diferencia a una línea recta más se parecerá el espectro problema al espectro estándar. En el caso de la figura 4, encontramos que el espectro de la estrella 494 es K5 V.

Otra de las cosas que podemos hacer es obtener el espectro en escala de grises, como se muestra en la figura 5. Esto se consigue seleccionando, dentro de la opción *Display* del menú *Config*, el punto *Comb (Photo & Trace)*.

Además podemos ver a qué elemento o transición atómica corresponden las distintas líneas espectrales. La relación con las líneas espectrales que encontramos en la zona del visible se encuentra en la tabla 1.

Å	Elemento
3759,87	O III
3819,607	He I
3933,682	Ca II (línea K)
3964,729	He I
3968,492	Ca II (línea H)
3970,072	H I (H Epsilon)
4026,191	He I
4030,76	Mn I
4045,825	Fe I
4068	C III
4073	O II
4088,85	Si IV
4097,33	N III
4100,04	He II
4101,748	H I (H Delta)
4120,82	He I
4130,89	Si II
4143,76	He I
4143,878	Fe I
4226,740	Ca I
4300	CH Metales (Banda G)
4317,14	O II
4340,475	H I (H Gamma)
4383,557	Fe I
4387,929	He I
4471,479	He I
4471,68	He I
4481,2	Mg II
4541	He II
4552,62	Si III

Desarrollo Teórico: El diagrama HR.

Alrededor de 1910, Ejnar Hertzsprung y Henry Norris Russell estudiaron la relación entre las magnitudes absolutas y los tipos espectrales de las estrellas. El diagrama que muestra estas dos variables recibe el nombre de Diagrama de Hertzsprung-Russell, o diagrama HR. Se ha

convertido, desde entonces, en una ayuda muy importante para el estudio de la evolución estelar.

El eje vertical es una medida de la energía que libera la estrella (muy relacionada con su magnitud absoluta), mientras que la abscisa nos informa del color o, equivalentemente, la temperatura de la superficie visible. Así, en el eje horizontal se puede encontrar expresado tanto en unidades de temperatura, en colores, o clase espectral. Muchas veces, sobre todo a la hora de clasificar a las estrellas, es esta última la que se toma. Están establecidas según las características de los espectros que se obtienen de las estrellas. Por motivos históricos, las clases espectrales son (de mayor a menor temperatura superficial): O, B, A, F, G, K y M.

La letra M se subdivide en las letras N, R y S. Esta secuencia se puede recordar fácilmente con la frase *Oh, Be A Fine Girl, Kiss Me!*. El intervalo entre una clase y otra se divide en otras 10 partes. Así, el Sol es una estrella del tipo G2. Las estrellas más calientes pertenecen a la clase O5, con temperaturas superficiales de 40 000 K, y las más frías a la clase M8, con unos 2400 K.

Las principales características (líneas de absorción) que definen los espectros de cada una de las clases son:

- O: Helio ionizado
- B: Helio neutro; aparece el hidrógeno.
- A: Domina el hidrógeno; hay materiales ionizados.
- F: Hidrógeno débil; calcio ionizado.
- G: Domina el calcio ionizado; hidrógeno muy débil; metales neutros.
- K: Dominan los metales neutros.
- M: Bandas moleculares; particularmente óxido de titanio.

Se puede ver cómo a medida que disminuye la temperatura, disminuye el estado de ionización de las estrellas,

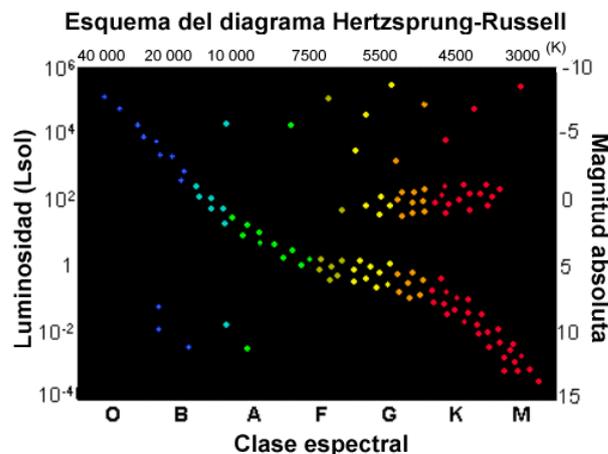


Figura 6: Diagrama Hertzsprung-Russell.

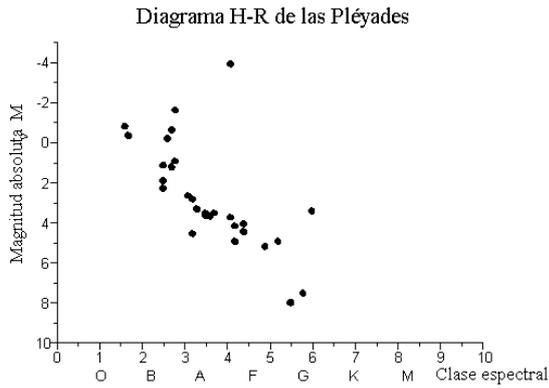


Figura 7: Diagrama HR que se consigue mediante el análisis espectral de esta práctica. Observar las diferencias y las analogías con el diagrama real de la figura 8.

que es donde se originan las líneas de absorción. Las clases espectrales están estrechamente relacionados con el color de las estrellas. Las estrellas de tipo M las vemos rojas, las K anaranjadas, las G y las F amarillas, las A y las B blancas (aunque si siguiéramos la sucesión del espectro de luz blanca correspondería verlas verdes, pero en esta región se sitúa el máximo de sensibilidad nocturna del ojo humano, por lo cual, y al recibir fotones de casi todos los colores en cantidades comparables, la mezcla se nos aparece blanca), y las O azules.

Las clases de luminosidad están relacionadas con la intensidad luminosa intrínseca de las estrellas. Dentro de una misma clase espectral (con una misma temperatura superficial y color) las estrellas pueden tener características físicas diferentes, en especial en cuanto a su diámetro. Dos estrellas con la misma temperatura emiten la misma energía por unidad de superficie, pero si una es mucho más grande, la energía total emitida será también muy superior.

Las principales clases de luminosidad son:

I	Supergigantes
II	Gigantes luminosas
III	Gigantes
IV	Subgigantes
V	Secuencia principal
VI	Subenanas
VII	Enanas blancas

La clase de luminosidad se añade a la clase espectral a la hora de designar una estrella: el Sol es así una estrella del tipo G2V.

El color se indica como una diferencia entre las magnitudes de dos bandas espectrales, usándose también la fotometría como medio de conocer la magnitud absoluta de una estrella (y con ésta, a veces de forma algo complicada, podemos obtener la luminosidad), pero teóricamente se usa la temperatura efectiva, T_{eff} , que es una construcción teórica. La relación entre la luminosidad, el radio total estelar y la temperatura efectiva es:

$$L = 4\pi\sigma R^2 T_{eff}^4 \quad (1)$$

donde la constante de Stefan-Boltzmann es

$$\sigma = 5,6705 \times 10^{-5} \text{ erg cm}^{-2} \text{ K}^{-4} \text{ s}^{-1}. \quad (2)$$

Hay varias maneras de definir el radio y la temperatura efectiva de la estrella, pero en esta ocasión R es el radio de la superficie visible (la fotosfera) y T_{eff} la temperatura en dicha superficie. Así, (1) es la luminosidad radiante de cuerpo negro emitida por la superficie de una esfera de radio R que posee una temperatura T_{eff} en la superficie. La temperatura efectiva del Sol es de $T_{eff\odot} = 5780 \text{ K}$. En unidades solares para L y R , (1) se escribe:

$$L/L_{\odot} = 8973 \times 10^{-16} (R/R_{\odot})^2 T_{eff}^4 \quad (3)$$

Normalmente, se usa la versión $L-T_{eff}$ para el diagrama HR. Así, será muy fácil trazar líneas de radio constante sobre el diagrama. El diagrama HR no proporciona más información que L , T_{eff} y R . No nos dice nada, al menos directamente, de la masa estelar, la composición o el estado de evolución.

Un ejemplo del diagrama HR lo indicamos en la figura 9. Muestra rangos típicos de luminosidad y temperaturas efectivas y tres líneas de radio constante (que pueden deducirse de (1) y (2)). Las estrellas más brillantes (Rigel, Deneb, Betelgeuse, Antares, Aldebarán...) y las más cercanas a la Tierra (Sirio, 70 Oph, Wolf 630..) también

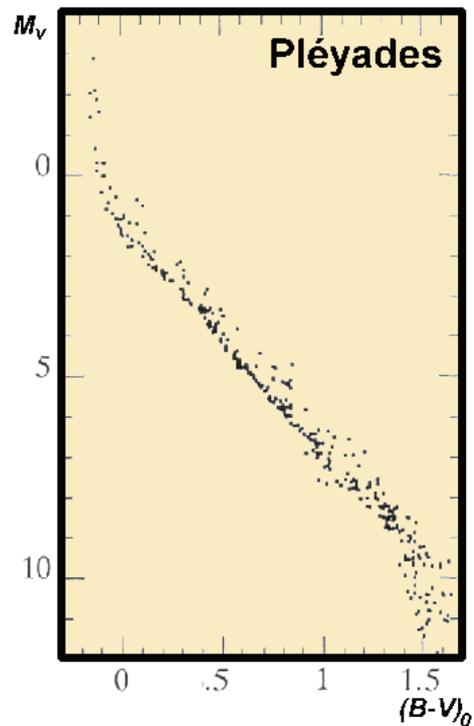


Figura 8: Diagrama HR (usando fotometría) del cúmulo abierto de las Pléyades, en Tauro.

se indican en la figura. Se aprecia claramente cómo la mayoría de estas estrellas se encuentran en torno a la secuencia principal. Arriba a la derecha están las gigantes y las supergigantes (Betelgeuse o Antares), mientras que la zona de la parte inferior y a la izquierda de la secuencia principal pertenece a la región de las enanas blancas (Sirio B). También se muestran la posición de estrellas con radios de $10\text{-}2 R_{\odot}$, $1R_{\odot}$ y $100 R_{\odot}$.

Como el radio estelar, la luminosidad y la temperatura superficial de la estrella son muy variadas; se debería esperar que las estrellas deben encontrarse uniformemente distribuidas en el diagrama HR. Sin embargo, en realidad se encuentra que las estrellas se sitúan en su mayoría (alrededor del 90%) en una curva diagonal que recibe el nombre de secuencia principal. El Sol se sitúa aproximadamente en la mitad de esta secuencia principal.

Desarrollo práctico.

- En primer lugar, siguiendo los pasos que se dieron anteriormente, tomamos los espectros de dos o tres estrellas, escogidas al azar.
- A continuación, usamos la pantalla de clasificación de espectros para determinar el tipo espectral de cada estrella. ¿En qué estado evolutivo se encuentra cada una? ¿Cuáles son las principales líneas espectrales que se detectan?
- Una vez familiarizados con el programa, seleccionamos el campo de las Pléyades en el Observatorio Virtual. Vamos a fabricar un burdo diagrama HR siguiendo los siguientes pasos:

Tomamos el espectro de todas las estrellas posibles. Apuntamos las siguientes características de cada una: el número de la estrella que da el catálogo y la magnitud visual.

En la pantalla de clasificación de espectros, seleccionamos cada uno de los espectros que hemos obtenido, y determinamos su clase espectral.

Asignamos a cada clase espectral un número x , de la forma que se explica a continuación: las estrellas O son 1, las B son 2, y así sucesivamente, hasta la clase espectral M, que será 7. De esta forma, una estrella de tipo espectral F7 tendrá un valor de $x = 4,7$

Para calcular la magnitud absoluta de la estrella, como sabemos que las Pléyades se encuentran a unos 240 años luz de la Tierra, usando la relación:

$$M = m + 5 - 5\log(d) \quad (4)$$

con M = magnitud absoluta, m = magnitud visual, d = distancia.

No debemos de olvidar pasar la distancia de años luz a parsecs. El valor que obtengamos de la magnitud absoluta, M , lo llamaremos y .

Representamos las estrellas en el diagrama (x, y) , que será un diagrama HR de las Pléyades.

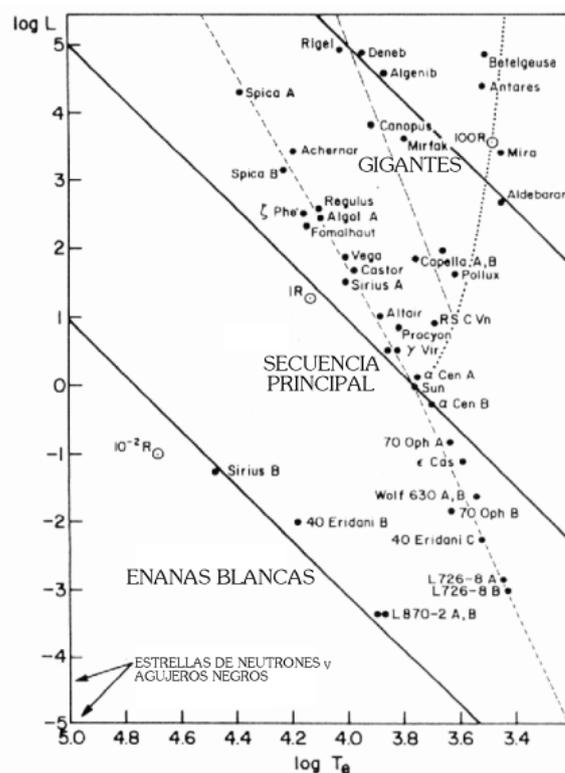


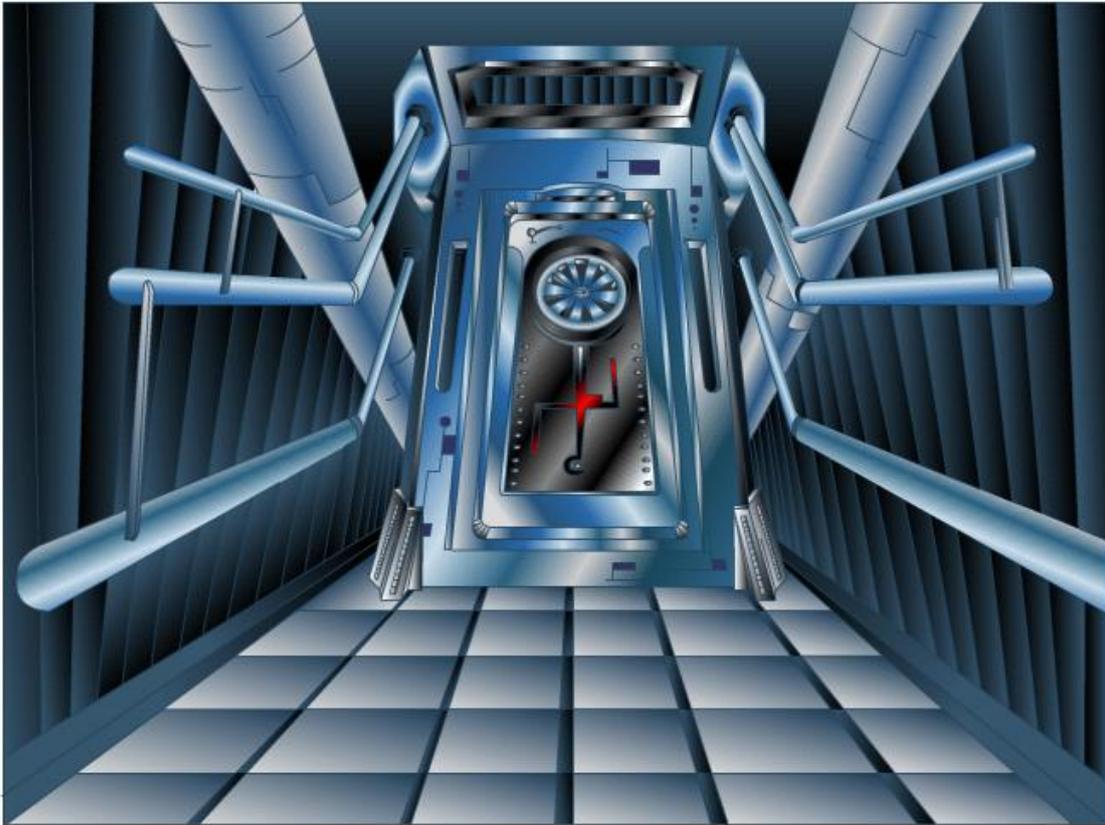
Figura 9: Un diagrama HR ilustrativo, que muestra las estrellas más brillantes y las más cercanas a la Tierra.

Compara el diagrama HR obtenido de esta forma con los diagramas reales. ¿Qué analogías y diferencias existen? ¿Por qué no sale del todo bien el diagrama HR? ¿Cómo se puede mejorar? A partir de los resultados, ¿en qué estado evolutivo se encuentran las Pléyades? Ω

Referencias

[1] Página web del proyecto CLEA
<http://www.gesttysbur.edu/project/physics/CLEAsoft.overview.html>

Ángel Rafael López Sánchez
 aacordoba@astored.i-p.com
<http://www.uco.es/i52caca/jAAC/>
 Apartado 701 14080 Córdoba (ESPAÑA)



El viajero redundante

Gabriel Rodríguez Alberich | Astronomía Digital

I.

Las paredes de aquel interminable pasillo del edificio Piavol emitían una luz blanca y brillante que llenaba de forma homogénea toda la planta. Esta falta de geometría molestaba a Otto Lapop. Los científicos nunca habían tenido buen gusto.

–Está muy lejos. –se repetía constantemente. Otto creía que nunca iba a llegar al Departamento de Análisis Cuántico, situado en lo más alto del gran complejo Pia. Dos mil metros de aluminio y plastigel le separaban del suelo urbano, nivel que había abandonado hacía ya media hora. Pia representaba la vanguardia de la investigación científica europea. Aquel amasijo metálico reunía tanto talento como para derrumbar las teorías físicas una vez cada medio año.

–Demasiado lejos. –o quizás se refería al viaje.

Ir a la Tierra era mucho más que esas excursiones turísticas a Io y Ganímedes. La idea de hacer un viaje tan largo no le hacía mucha gracia, pero ser nombrado embajador europeo en la Tierra era algo que no se podía rechazar. Ganaría tres veces su sueldo actual y conocería el mítico

Planeta Azul (Otto se preguntaba por qué llamaban así a un planeta que se veía gris en las fotografías de los libros).

Pero lo que realmente inquietaba a Otto no era la distancia, sino la manera en que tenía que cubrirla. El Gobierno de Europa había firmado un acuerdo con los científicos para que todos los viajes oficiales se hicieran mediante teletransportación. Así se promocionaría el uso del nuevo método que, según Pia, estaba destinado a revolucionar todo el sistema de transporte. Si la teletransportación se extendía por todo el mundo, Pia ganaría muchísimos fondos para poder derrumbar teorías a mayor velocidad.

Según había leído en uno de los folletos que le dieron al entrar en el edificio Piavol, el teletransportador consistía en un analizador cuántico que estudiaba la configuración atómica de tu cuerpo y lo desintegraba, traducía a código binario la información y la enviaba mediante ondas de radio al lugar de destino, donde un receptor interpretaba el código y un complejo sintetizador atómico reconstruía tu cuerpo de vuelta al mundo material.

A Otto le producía especial turbación la parte de la 'desintegración', pero sus colegas le habían explicado que era tan inocuo que no se podía saber cuándo habías llegado

al otro lado.

Por fin había llegado a la puerta cuyo rótulo indicaba “Dpto. de Análisis Cuántico”, y Otto la encontró abierta. Al otro lado de ésta se encontró con una plaga de operarios vestidos de azul, muy atareados manipulando grandes máquinas con habilidad. Los instrumentos zumaban y ronroneaban al tiempo que aparecían un sinfín de luces y mensajeros en sus indicadores, que unos officiosos técnicos se apresuraban en apuntar sobre sus blocs de papel electrónico, como un enjambre de abejas afanadas en recolectar su miel. Mientras Otto contemplaba absorto aquella escena, un hombre uniformado en bata garza se le acercó diciendo:

–¿Sí?

Otto despertó:

–Hola, me llamo Otto Lapop.

–Ah, sí, el cónsul.

–Soy embajador...

–Sí, claro. Mi nombre es Liafan Cass. Acompañeme, Sr. Lapop.

Otto siguió los pasos presurosos del científico. Comenzaron a cruzar la estancia, sorteando todo tipo de artefactos retumbantes y cruzándose con los ingenieros que las operaban con desaliento.

–¿Le gusta esto? –preguntó Cass en medio del alboroto.

–¿A qué se refiere?

–Al centro Pia. ¿Qué le parece?

–Bueno, es... grande. Me ha costado un buen rato llegar hasta aquí.

–Sí, lo es en efecto. Y no sólo en extensión y volumen, sino en importancia.

–Una cosa tan grande tiene que ser importante, sin duda. –dijo Otto con ojos burlones.

–En pocos años se ha convertido en el patrón de cómo hay que hacer las cosas en ciencia.

–Vaya...

–Toda la investigación está centralizada aquí, en el complejo Pia. Gracias a él Europa es la primera potencia científica del Sistema Solar. Y no sólo eso. Estamos en un punto en el que la ciencia avanza más rápidamente que nunca en la historia.

–Me alegro por ustedes.

–Alégrese también por usted mismo, Sr. Lapop. Esto es algo muy importante para la Humanidad.

–Este chiflado siente auténtica devoción por la ciencia. –pensó Otto para sus adentros. Luego hizo un gesto de aprobación.

–¿Sabe? Usted va a estrenar nuestro primer modelo comercial de teletransportador. –prosiguió Cass.

–¿En serio? –respondió Otto acaloradamente– ¿Y están seguros de que, uh, funciona correctamente?

–¿Eh? Oh, claro. El funcionamiento es idéntico al de todos los modelos. Básicamente, lo único que cambia es el envoltorio. Además, todos los teletransportadores son comprobados antes de utilizarlos con seres humanos.

Otto no parecía mucho más aliviado. Siguió caminando a través de la gran sala, y ahora rodeaban una de las máquinas más grandes.

–Verá –prosiguió Cass–, se trata de un replicador atómico completamente autónomo, que tiene el tamaño de un aeromóvil pequeño. Tan sólo pesa 250 kg. Estoy seguro de que en poco tiempo habrá uno de éstos en todas las calles de las ciudades.

Los ojos de Cass parecieron salirse de sus órbitas.

–Sr. Lapop, en menos de dos años, todos los aeromóviles, naves espaciales y cualquier medio de transporte convencional serán sólo chatarra o pasto de los coleccionistas nostálgicos. El teletransporte se presenta como un sustituto barato, limpio y rápido.

–Yo creo que seré uno de esos nostálgicos –replicó Otto–. Prefiero seguir yendo al trabajo en aeromóvil. Me siento más seguro en uno de esos cacharros.

La idea de Cass de un mundo sin distancias no le agradaba.

–Oh, no, no. Le aseguro que cuando pruebe el teletransporte cambiará de idea. Le digo a usted que la probabilidad de morir estrellado en cualquier transporte convencional es varios órdenes de magnitud mayor a la de morir en un replicador atómico. Hasta ahora, ningún animal o ser humano ha sufrido daño alguno con esta tecnología.

Llegaron al lado contiguo de la sala. Allí yacían de pie tres técnicos de bata azul con las manos agarradas a la espalda, que miraban a Otto con aire complaciente.

–Vaya, parece que mi viaje tiene una gran audiencia. –dijo Otto mirando a los espectadores con gesto cáustico.

–Estos son mis colegas Perz, Jom y Frist.

Los tres ingenieros estrecharon la mano de Otto y volvieron a colocarse en sus posiciones originales.

–Somos el equipo que ha diseñado esta versión miniaturizada del replicador atómico. ¡Estamos ansiosos por verlo funcionar! –los ojos de Cass estaban vidriosos.

Otto miró hacia donde apuntaba el dedo de Cass, y contempló el artilugio que le iba a llevar a la Tierra. Se trataba de un cubículo metálico, del tamaño de un armario, que estaba completamente cubierto de cables ópticos a excepción de la parte por donde se tenía que abrir la puerta que daba acceso a su interior.

Cass, al observar el desconcierto en la cara de Otto, añadió:

–Por supuesto, éste no será el aspecto de la versión final y estilizada.

–¿De veras cree que me meteré dentro de eso? –dijo Otto, incómodo.

–Oh, no tiene por qué preocuparse del aspecto del replicador. Le aseguro que funciona a la perfección. Debe usted maravillarse, está frente al mayor logro en ingeniería que ha alcanzado la Humanidad.

–Bien –Otto se encogió de hombros–, hagamos esto cuanto antes.

–De acuerdo, le explicaré cómo funciona el teletransportador. Queremos que cualquiera pueda utilizarlo, y por lo tanto su manejo es tremendamente sencillo. El interior del habitáculo está equipado con una consola táctil,

en la que una interfaz gráfica le servirá para elegir el destino del viaje.

–Espero saber manejarla.

–En realidad, el funcionamiento de la interfaz es casi idéntico al que hay que utilizar para definir un viaje automático en un aeromóvil, a excepción de que el destino no se fija mediante coordenadas, sino que es discreto, ya que hay un número limitado de receptores de teletransportación.

Tras unos ejemplos que Cass le mostró en una terminal cercana al teletransportador, Otto quedó convencido de la sencillez de manejo del sistema de localización de destinos.

–Bien, creo que podré hacerlo. ¿Algo más? –preguntó Otto.

–Sólo desearle buen viaje. Y arréglese esa corbata, en la Tierra le espera una comitiva de bienvenida y un enjambre de periodistas. –dijo Cass en tono cordial.

–¿No le puede decir al replicador que me la arregle él, y que de paso me haga una cara más guapa? –repuso Otto con una sonrisa sardónica.

–¡Oh, muy ingenioso! –la risa de Cass mostró sus grandes dientes– Pero eso es imposible, de momento. Un teletransportador sólo sabe hacer réplicas de un volumen determinado de materia. Una reestructuración molecular tan compleja como apretar el nudo de su corbata supone una cantidad de cálculos tan enorme que desborda toda la capacidad del mejor computador.

–Bueno, entonces haré ese cambio molecular yo mismo. –y Otto se ajustó el nudo de la corbata reflejándose en la superficie cromada de uno de los artefactos cercanos.

–Estoy listo. ¿Puedo irme ya? –añadió.

–Entre usted cuando quiera, el teletransportador está listo –dijo Cass.

Otto abrió la compuerta del teletransportador y se volvió para alzar su mano en señal de despedida a los espectadores, que le devolvieron el saludo. Luego entró y cerró la puerta. Una luz mortecina de color ámbar iluminaba el interior. En el centro de los dos metros cuadrados de habitáculo se encontraba un asiento, y justo enfrente refulgía una pantalla táctil de papel electrónico. Otto se sentó y comenzó a manipular con pericia el localizador de destinos, hasta que seleccionó el deseado, y apareció en la consola el mensaje:

Receptor “Embajada Europa en Tierra” seleccionado.
¿Teletransportar? Continuar. Cancelar.

El tembloroso dedo de Otto pulsó sobre ‘Continuar’.

Luego todo ocurrió en un instante.

II.

Otto despertó y se encontró con que estaba tirado en el suelo del habitáculo. La luz ámbar había vuelto. Casi ciego y con un tremendo dolor de cabeza, trató de incorporarse, pero se dio cuenta de que no podía mover las piernas. Antes de que pudiera maldecir a toda la comunidad científica, la puerta del teletransportador se abrió.

Otto alzó la vista y pudo distinguir una figura. Era Liafan Cass, que miraba a Otto con gesto severo, acompañado de dos guardas de seguridad de Piavol uniformados de negro.

–¿Qué demonios ha pasado? ¡Me prometieron ustedes que esto era completamente seguro y que era imposible herirse aquí! –gritó Otto con furia.

–El viaje ha sido todo un éxito, señor, excepto por un error menor que no costará trabajo reparar. –dijo Cass con un tono robótico, como el que le habla a su aeromóvil.

–¿Cómo dice?! ¿Un éxito? Sigo en Europa, y lisiado, mequetrefe.

–No, señor. Otto Lapop ha llegado sano y salvo en la Tierra. En estos momentos estará siendo entrevistado por la prensa.

–¡Pero YO soy Otto Lapop, demonios! –Otto no podía creer lo que escuchaba.

–Siento decirle que el vaporizador de materia tuvo una avería y falló al eliminar la copia local de Otto Lapop. Es usted redundante, pero no se preocupe, el vaporizador ya está reparado.

–¡Un momen...!

A una señal de Cass, uno de los guardas disparó a la cabeza de Otto con su pistola.

III.

Tras un largo día de entrevistas y comitivas, Otto Lapop descansaba en el sillón de su gran despacho, contemplando el ocaso a través del gigantesco ventanal. Tomó un sorbo de su bebida y pensó:

–Bueno, después de todo, el teletransporte no está tan mal. Ω

Dibujo cortesía de Julio César Espada. Realizada en Flash para Astronomía Digital .

Gabriel Rodríguez Alberich
chewie@asef.us.es
Astronomía Digital

·AstroRED·

ASTRONOMÍA DIGITAL