

¿ESPECTROSCOPIA PARA TODOS?

JESÚS Á. RODRÍGUEZ, CARLOS GUIRAO Y GERARDO ÁVILA

Finalmente, la espectroscopia astronómica está abriéndose hueco entre los aficionados. Obtener espectros con instrumentos sencillos ha pasado de ser una tarea complicada a un objetivo realizable. Si a este escenario añadimos la evidente disminución en los precios de los detectores, motivada en gran medida por el uso de webcams, podemos asegurar, sin lugar a dudas, que actualmente es posible realizar contribuciones de verdadero valor científico con una instrumentación económica.

Además, la disponibilidad de programas y utilidades de dominio público está simplificando las rutinarias labores de reducción de datos. En definitiva, la tecnología actual permite al aficionado entrar en un campo que hasta la fecha le era difícil de alcanzar. Las posibilidades que ofrecen este conjunto de elementos desde el punto de vista didáctico, educativo y científico, son dignas de consideración.

En nuestro artículo presentamos algunas sugerencias para conseguir resultados susceptibles de análisis, y una breve descripción del proceso de instalación y ajuste de un espectrógrafo.

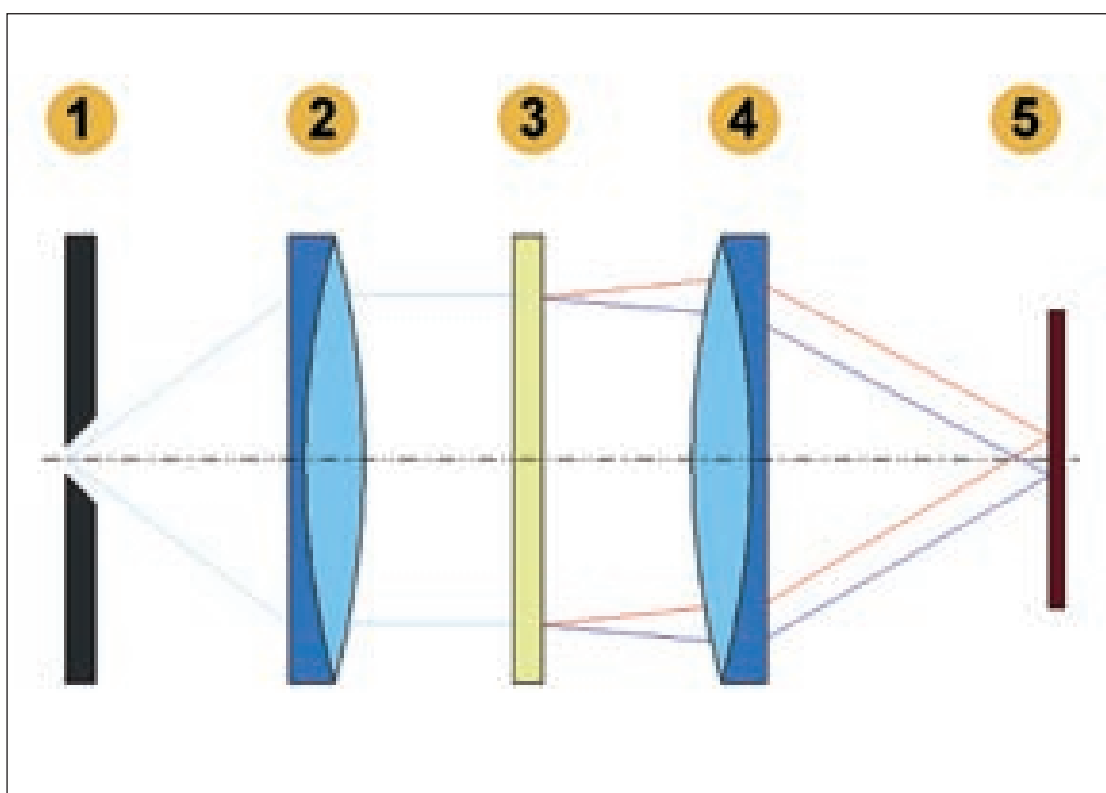


Figura 1. Distribución básica de un espectrógrafo típico. 1: Rendija. 2: Colimador. 3: Elemento dispersor. 4: Lente objetivo. 5: Detector CCD. (Excepto donde indique, todas las imágenes son cortesía de los autores)

INTRODUCCIÓN

Es ampliamente sabido que la espectroscopia es la más poderosa herramienta con la que cuentan los astrónomos para obtener información de los objetos celestes tales como su composición química, temperatura, cinemática, etc. Los observatorios profesionales cuentan con poderosos espectrógrafos que permiten conseguir este propósito. Pero los aficionados han estado lejos de alcanzar este nivel de trabajo por no estar a su disposición aparatos económicos con los que realizar tareas similares.

Con esta perspectiva histórica de fondo, muchos son los que continúan pensando que el escenario no ha cambiado, pero se equivocan, pues construir un espectrógrafo con fines astronómicos no es mucho más difícil que fabricarse un telescopio reflector. A primera vista, esta afirmación puede parecer exagerada, pero lo cierto es que, siguiendo instrucciones detalladas, cada día más aficionados lo consiguen. El mayor inconveniente es la falta de información adecuada y detallada para la realización de los espectrógrafos, su ajuste y posteriormente la elaborada tarea de reducir los datos adquiridos.

En su configuración más simple, un espectrógrafo consta de los siguientes elementos: una rendija, un colimador, un elemento dispersor (normalmente un prisma o una red de difracción), un objetivo y un detector. La Figura 1 nos

muestra el esquema de la disposición correcta de dichos componentes.

Ilustraciones similares a ésta se encuentran por docenas en cualquier tratado universitario de primer curso de Astronomía, con la correspondiente explicación de la física involucrada en el proceso. Pero las complicaciones comienzan en cuanto queremos convertirlo en una realidad práctica. Las preguntas que nos surgen son múltiples, y lo peor de todo es que las respuestas no las conseguimos en una única referencia bibliográfica.

El principal problema para construirse por si mismo un espectrógrafo es la adquisición del elemento dispersor. Los más comunes son los prismas y las redes de difracción.

La gran mayoría de los espectrógrafos profesionales usan redes de difracción. Esto se debe primordialmente a tres razones:

- 1) A partir de un cierto número de surcos por milímetro, las redes ofrecen una mayor dispersión espectral y por consiguiente una mayor resolución.
- 2) La dispersión es más uniforme a lo largo del rango espectral, mientras que los prismas dispersan mucho más en el azul que en el rojo.
- 3) La imagen de la rendija en el detector se conserva lineal, mientras que el prisma genera una curvatura de

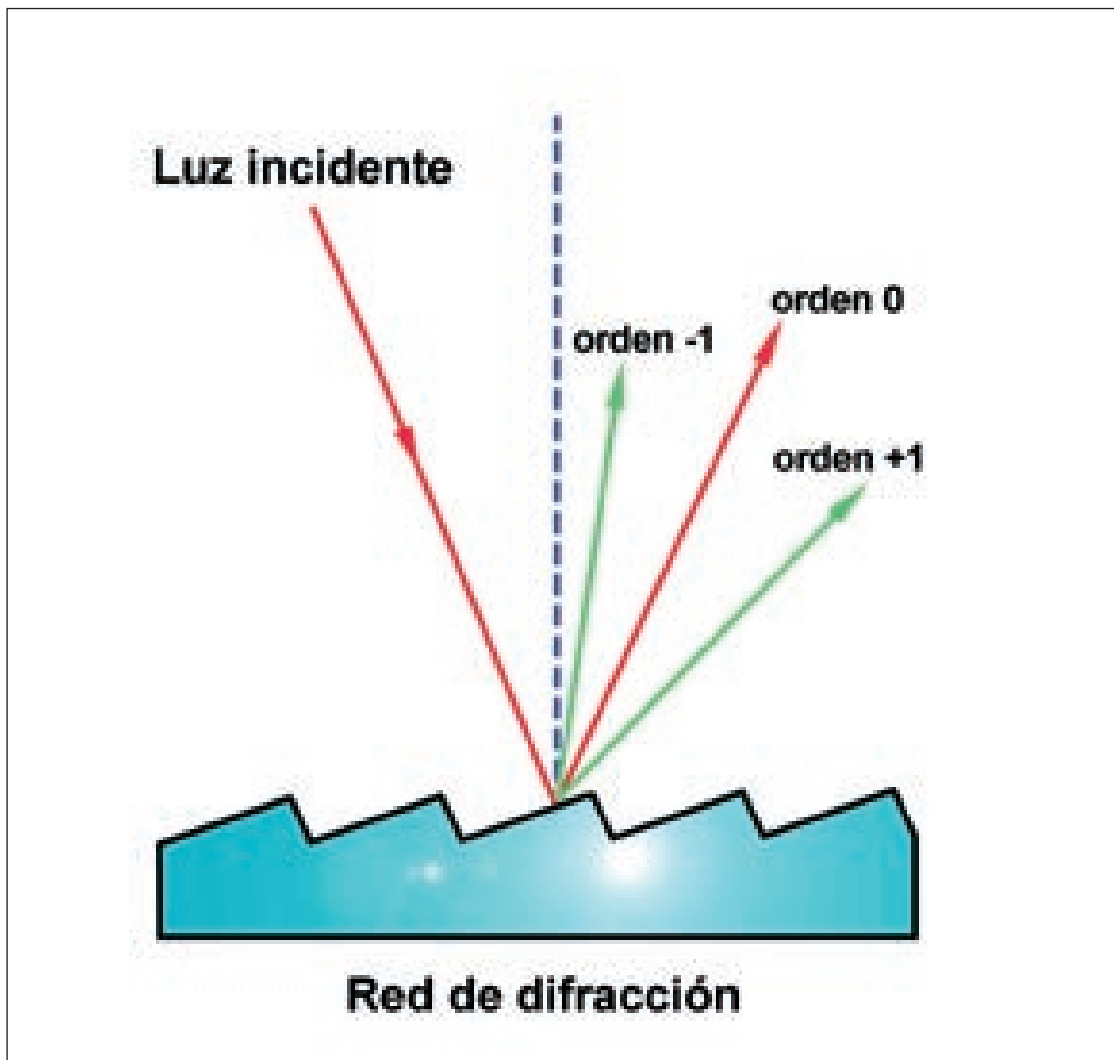


Figura 2. Red de difracción por reflexión de tipo blaze para incrementar la eficiencia óptica en la luz dispersada.

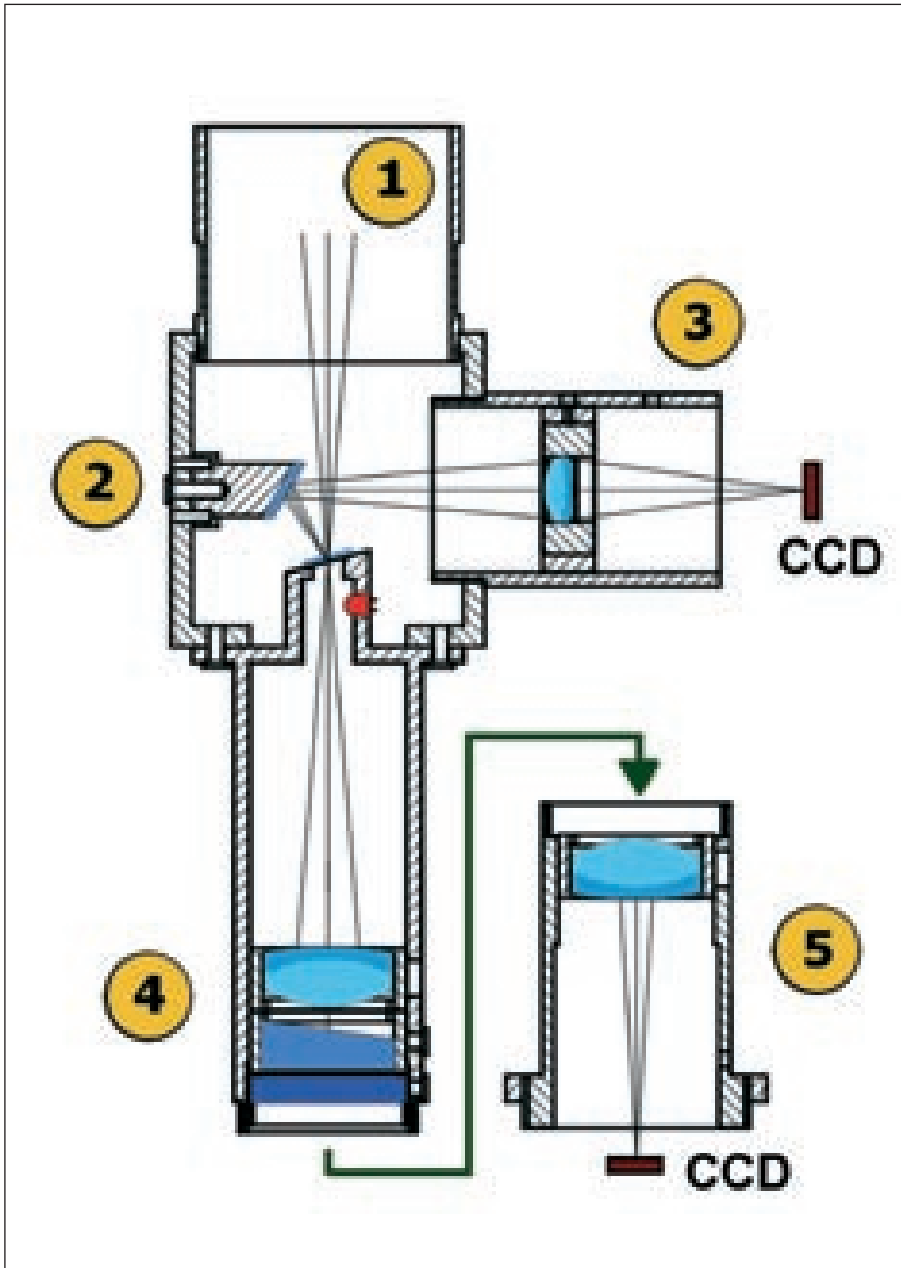


Figura 3. Diagrama de TRAGOS. 1: Luz procedente del telescopio. 2: Unidad de adquisición y guiado. La rendija que permite la entrada del haz del objeto al espectrógrafo, está pulida e inclinada para redirigir la luz del resto del campo hacia el sistema de guiado. 3: Sección de guiado. En este tubo es posible adaptar una webcam o un simple ocular para guiado manual. 4: Colimador, prisma corrector y red de dispersión. 5: Acoplamiento para el detector. La lente objetivo permite focalizar el espectro sobre la superficie del detector.

la rendija que complica sustancialmente la calibración y análisis de los espectros.

Hay que señalar, sin embargo, que la gran ventaja de los prismas sobre las redes es su alta eficiencia espectral. Las redes de difracción por reflexión constan de una gran cantidad de líneas paralelas por milímetro de superficie. Existen varias tecnologías para conseguir grabar estas líneas, pero lo realmente importante es que a mayor número de ellas, más notable es el efecto de la dispersión. En la Figura 2 mostramos el comportamiento de la luz al incidir en una red de difracción por reflexión.

Las características del elemento dispersor influyen en dos de los parámetros fundamentales del espectrógrafo, a saber:

- 1) La resolución espectral, es decir la capacidad del instrumento para separar dos líneas espectrales sobre el detector.
- 2) El rango espectral, o intervalo de longitudes de onda que cubrirá nuestro detector.

Por supuesto, para los que no deseen aventurarse en el terreno del «Fabríquelo Usted Mismo», existen soluciones comerciales listas para ofrecer resultados inmediatos. Estas opciones son más costosas, pero como contrapartida se elimina la fase de integración y montaje de las piezas, lo que en definitiva supone un ahorro un tiempo considerable.

De la misma forma que una imagen obtenida con una cámara CCD o una fotografía correctamente digitalizada abren el camino hacia el procesamiento de imágenes astronómicas, un espectrograma es el elemento mínimo necesario para iniciarse en el análisis espectroscópico. La simple observación visual a través de un espectroscopio nos puede servir como una útil herramienta didáctica que facilitará el entendimiento de los fundamentos básicos de la espectroscopia, pero no nos conducirá a una presentación de datos rigurosa, y mucho menos a una posterior interpretación científica.

NUESTRA SOLUCIÓN

De entre los diversos espectrógrafos que hemos diseñado y construido, a continuación presentamos el que por sencillez y precio nos parece conveniente como punto de partida. Se adapta con facilidad a cualquier telescopio de mediano tamaño, y con un buen seguimiento permite conseguir exposiciones de estrellas

brillantes sin grandes dificultades. Lo llamamos TRAGOS (TRANsmisión Grating Optical Spectrograph, o espectrógrafo óptico con red de transmisión).

El espectrógrafo está diseñado para permitir la visualización simultánea de la rendija y del campo de estrellas. Usa una lente acromática como colimador, y una red de difracción por transmisión del tipo «blazed» como elemento dispersor. Ésta genera varios órdenes de dispersión (espectros a diferente ángulo e intensidad). De todos ellos, el de primer orden es el más intenso (nuestra red ofrece un 70 % de eficacia a 500 nm), y, por tanto, el que nos interesa. Sin embargo, se desvía

siete grados con respecto al ángulo de entrada. Para corregir este efecto y mantener nuestro instrumento en un solo eje añadimos un prisma corrector. Como objetivo usamos otro doblete acromático para formar el espectro sobre el detector. Los componentes se pueden conseguir a través de varios distribuidores de accesorios astronómicos o de óptica para laboratorios. En la página web que indicamos al final del artículo ofrecemos los dibujos técnicos de las piezas mecánicas que lo componen, así como información detallada del proceso de montaje e instalación de sus componentes.

Como se puede ver en el esquema, la manufactura de los componentes mecánicos no ofrece dificultades particulares. Sin embargo, la mayor complicación se presenta con el ajuste de los elementos individuales. Esa es la fase artesanal del proceso. El objetivo es conseguir que la distancia entre los elementos ópticos y su orientación coincidan con los requerimientos que buscamos. Por ejemplo, la rendija y el colimador deben estar separados por la distancia focal de éste. Los surcos de la red deberán estar paralelos a la rendija, y el plano focal del objetivo coincidir con la superficie del detector.

Una vez preparado el instrumental y comprobados todos los ajustes necesarios, estaremos en disposición de realizar las primeras exposiciones con el detector. Lo ideal es acoplar una cámara CCD de calidad científica, del tipo SBIG, Audine, etc., pero si nuestro presupuesto es limitado también podemos intentar hacer algunas medidas con una webcam. La Figura 4 muestra TRAGOS acoplado a un telescopio, listo para una sesión de observación.

La espectroscopia es la más poderosa herramienta con la que cuentan los astrónomos para obtener información de los objetos celestes.

Además de las exposiciones de objetos astronómicos, debemos adquirir otras para calibrarlas. Bias, corriente de oscuridad, campos planos (flat fields), y sobre todo espectros de comparación obtenidos con lámparas espectrales (neón, helio, argón, mercurio, kriptón, etc.) Todo el arsenal típico de una sesión de observación astronómica con cámara CCD. Es aconsejable realizar estas tareas de calibración al comienzo de la noche, para así disponer de ellas en caso que algún contratiempo nos impida realizarlas a posteriori, dejando las imágenes científicas sin un ajuste correcto.



Figura 4. TRAGOS acoplado al foco de un telescopio Celestron de 14". Como cámara de guiado usamos una webcam Philips ToUcam Pro II, y para la adquisición de los espectros estelares una CCD SBIG ST7.

Figura 5. Detalle de la rendija de entrada de luz al instrumento.



La elección de las lámparas espectrales depende del rango de observación. A resolución baja y media en el rojo e infrarrojo cercano, una lámpara de neón es suficiente. Una lámpara piloto como las utilizadas para los aparatos electrodomésticos es la mejor opción. En otras regiones del espectro, como el azul o el visible, la combinación de una lámpara de helio y argón es lo ideal. Desgraciadamente este tipo de accesorio tendrá que adquirirse a través de compañías especializadas y a un precio elevado para el bolsillo del amateur.

Podemos probar a exponer la CCD unos segundos y visualizar el resultado en la pantalla del ordenador para ver las líneas de emisión. A continuación debemos confrontar e identificar estas líneas con el gráfico que proporciona el fabricante. Esto nos permitirá etiquetarlas en el programa de análisis que usemos y a su vez conocer el rango de longitudes de onda que abarca nuestro detector. En la Figura 6 mostramos algunos ejemplos de lámparas de calibración.

Terminada la fase de pruebas y ajustes, vienen los momentos decisivos. Lo que hemos conseguido hasta el momento es un aparato que nos permite obtener espectros, pero el fin científico de nuestro proyecto es la observación de objetos del cielo nocturno.

Apuntemos el telescopio a una de las estrellas más brillantes de nuestra área de observación y dejémoslo haciendo el seguimiento en el objeto. Centremos la luz de la estrella en la rendija; su haz pasará por consiguiente hacia el espectrógrafo y entonces

podremos dar inicio a la exposición. Unos pocos segundos serán suficientes con la configuración anteriormente indicada.

El resultado preliminar aparecerá en la aplicación que usemos como receptora de datos. La inspección de los niveles de señal capturados, nos permitirá reajustar el tiempo de exposición.

El correcto acoplamiento del instrumento al telescopio es un requisito indispensable para la obtención de resultados de calidad.

Tomando como punto de partida que disponemos de un telescopio perfectamente alineado y con buen seguimiento, los pasos a seguir en una sesión típica de observación espectroscópica serán los siguientes:

- 1) Adquisición y centrado del objeto en la rendija. Tal y como se ha indicado anteriormente.
- 2) Guiado. Ya sea manual o asistido por algún tipo de sistema automático. Es importante advertir aquí que los detectores comerciales que incluyen un autoguiador en el mismo plano focal del CCD principal no son útiles, a menos que se disponga de un sistema óptico complicado que sirva de puente entre la rendija y el detector (como el espectrógrafo del fabricante SBIG).

Para conseguir espectros de objetos débiles se necesita un sistema de guiado fiable y que proporcione la menor cantidad de correcciones posibles para evitar perder la estrella de la rendija.

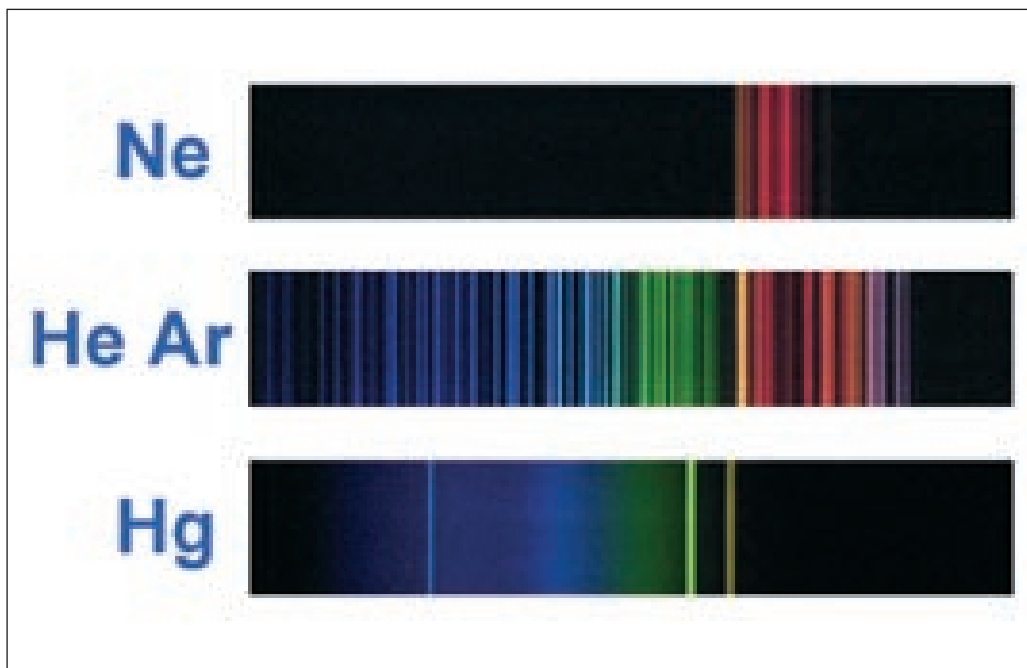


Figura 6. Ejemplos de espectros de diferentes lámparas de calibración obtenidos con una cámara fotográfica digital. Los colores son originados por el sistema de filtros RGB que incorporan estos aparatos. En una CCD astronómica estarían sustituidos por una escala de grises.

3) Determinación del tiempo de exposición. Con un poco de práctica, y tras unas cuantas exposiciones correctas, se puede preparar una tabla que nos calcule con razonable precisión el tiempo de exposición necesario en función de la magnitud del objeto a observar.

LA REDUCCIÓN DE LOS DATOS

El problema final de la espectroscopia astronómica comienza precisamente una vez obtenido el espectro.

En el argot astronómico, se denomina reducción de datos al proceso de depuración y calibración de las exposiciones hasta convertirlas en resultados válidos para el examen científico. En él se aplican procedimientos para eliminar propiedades de nuestros datos que contaminan la información pura de la fuente observada.

Aquellos que tengan experiencia con el tratamiento de imágenes CCD, descubrirán que una parte de las correcciones que se aplican son similares.

La reducción de datos se puede realizar con diferentes programas. En Internet existen varios que nos ofrecen soluciones al problema de la reducción de datos. Vamos a tener en cuenta sólo los de distribución gratuita. El amplio abanico

de opciones va desde simples plantillas en Excel, pasando por programas como *Visual Spec*, hasta los que usan los astrónomos profesionales como IRAF, MIDAS, etc.

El programa *Visual Spec* (www.astrosurf.com/vdesnoux) está disponible en inglés o francés para el sistema operativo Microsoft Windows, en sus versiones 98 y 2000. Proporciona las herramientas básicas para realizar una reducción sencilla, y sin la complejidad de una aplicación de comandos. La documentación es perfecta para los que desconozcan este tipo

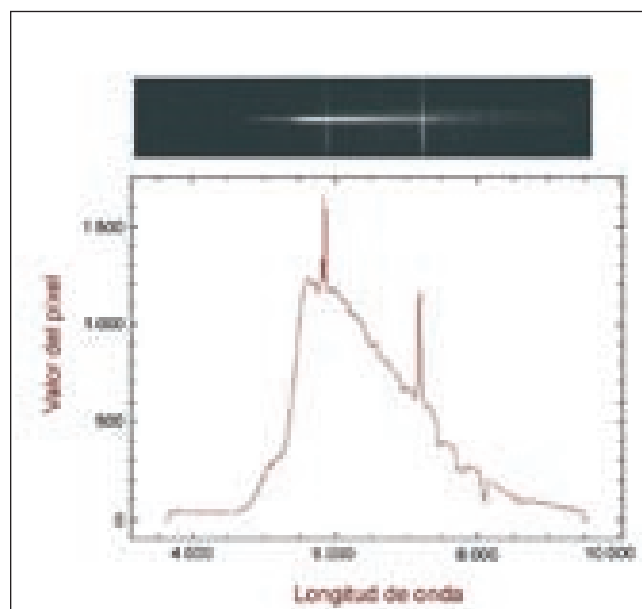


Figura 7. Espectro de la Nebulosa de Orión, M 42, obtenido el 13 de abril de 2004. Para la exposición de 120 segundos, se usó TRAGOS, un telescopio Meade LX200 de 10" a f/10, y una CCD SBIG ST8 de 1546 x 1042 píxeles. La gráfica está calibrada en longitud de onda usando una lámpara de Neón-Argón, y mostrando la intensidad acumulada de 10 líneas de señal sobre el detector. (Cortesía Vadim Burwitz, Observatori Astronòmic de Mallorca)

Construir un espectrógrafo con fines astronómicos no es mucho más difícil que fabricarse un telescopio reflector.

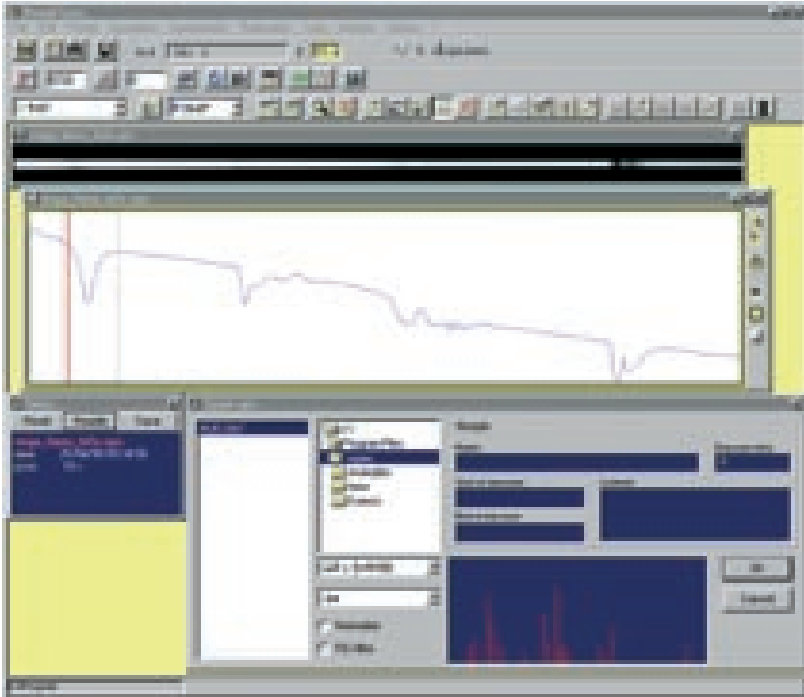


Figura 8. Pantalla de la aplicación *Visual Spec* mostrando el proceso de reducción de datos. En este ejemplo estudiamos el perfil de la estrella Vega a partir de la imagen en la parte superior de la ventana, y a continuación la preparamos para su posterior corrección con las líneas de la lámpara de calibración.

de tareas y no se pierde en detalles innecesarios. Basta con instalar la versión más reciente que se incluye en un fichero comprimido, y aplicarle los anexos que indica la página web principal.

Una de las propiedades didácticas más destacables del paquete es que puede incorporar espectros generados artificialmente mediante simulaciones. De esta forma añadimos modelos de atmósferas estelares y podemos compararlos con las exposiciones realizadas. La Figura 8 ofrece una grabación de la ventana de trabajo de *Visual Spec* en la que se está realizando las labores de reducción.

Para los que tengan aspiraciones más ambiciosas están los programas que usan los profesionales, desarrollados en su mayoría para el sistema operativo UNIX. Aunque a primera vista su instalación puede resultar intimidatoria, con un poco de paciencia y siguiendo las detalladas instrucciones que incluyen, la tarea termina siendo accesible a cualquier persona familiarizada con el uso de ordenadores. Si además el usuario cuenta con cierto conocimiento de instalaciones de programas dentro del sistema operativo Linux, la tarea le será completamente transparente.

La ventaja de esta opción es la gran cantidad de código que está disponible, y la conveniencia que supone el poder desarrollar rutinas que cumplan perfectamente con las peculiaridades de nuestro equipo.

LA CIENCIA

¿Qué podemos hacer con los datos adquiridos? Simple y llanamente, medidas, medidas y más medidas. A fin de cuentas ese es el propósito de todo nuestro esfuerzo. Precisamente la parte más fascinante de la espectroscopia es poder calcular parámetros astrofísicos de los objetos observados.

La cantidad de información contenida en un espectro es inmensa. En él podemos identificar elementos químicos, calcular velocidades radiales, temperaturas, campos magnéticos, polarización, etc. Para la obtención de cada uno de estos parámetros, se necesitan conocimientos básicos de la física involucrada en los procesos, y la intuición del observador para poderlos identificar y extraerlos a partir de los espectros obtenidos.

De forma similar, la intensidad de las líneas, su perfil, la relación de tamaño entre ellas, o el desplazamiento de éstas frente a su posición teórica, son entre otras muchas características, fuentes de datos que nos permitirán conocer propiedades cualitativas y cuantitativas del objeto.

CONCLUSIÓN

La disponibilidad de equipamiento de alta calidad técnica a precios moderadamente económicos, está permitiendo el acceso a una fuente inagotable de conocimientos y diversión a los aficionados que buscan áreas de interés más allá de las ya tradicionales. Sin embargo, está claro que, a pesar de ello, las condiciones personales de cada astrónomo serán las que dicten si es el tipo de actividad que le interesa

o no. Lo que sí es seguro es que, con las actuales herramientas, la satisfacción que el mero aprendizaje de esta disciplina ofrece compensa los malos momentos en los que las cosas no marchan bien.

La demostración de este hecho la avala el floreciente trabajo realizado por otros aficionados. El aumento del número de páginas web dedicadas al tema, indica que esta apasionante área del conocimiento ha madurado lo suficiente como para crear una pequeña comunidad de interesados que intentan abrirse brecha en un campo eminentemente profesional.

En nuestra página web www.eso.org/projects/caos podéis encontrar documentación más detallada –en inglés– sobre la construcción de diferentes tipos de espectrógrafos. Desde los sencillos conectados a webcams, hasta los más sofisticados, que requieren un presupuesto más elevado y buenas dosis de paciencia para conseguir que funcionen a la perfección. En la sección de enlaces os encontraréis con una nutrida lista de páginas de entusiastas que ya obtienen resultados con regularidad.

De la misma forma que hoy en día las sistemáticas observaciones de estrellas variables realizadas por aficionados están ampliamente reconocidas en la comunidad científica por su fiabilidad y rigor, no es de extrañar que algo similar suceda en un futuro no muy lejano con los datos obtenidos por apasionados a la espectroscopia astronómica.

El menú está servido, y es demasiado apetitoso como para no probarlo. ¡Pero cuidado con no atragantarse, que hay demasiado manjar en la mesa! **A**

Los autores forman el grupo CAOS (Club de amateurs en espectroscopia óptica), y trabajan en el Observatorio Europeo Austral, ESO, en Garching, Alemania.