

FOTOGRAFIAR EL CIELO

El desarrollo de las cámaras digitales, y el perfeccionamiento de los sensores está permitiendo que uno de los retos más complicados, fotografiar el cielo, sea cada día un más sencillo, hasta el extremo de que ya es posible, con una simple cámara comercial, obtener fotografías que hace medio siglo eran casi inaccesibles para los observatorios profesionales.

Observemos las dos fotografías de la Figura 1. Ambas pertenecen al mismo objeto, NGC 891, una galaxia espiral situada a una distancia de 32 millones de años luz de la Tierra, en la constelación de Andromeda. La primera fotografía está realizada en el observatorio de Monte Palomar, en California, con un telescopio de 60 pulgadas; no tengo datos sobre el tiempo de exposición ni la cámara utilizada. La segunda fotografía está tomada por el autor de este artículo en Albalade de Zorita, Guadalajara, con un telescopio de 4 pulgadas y una cámara réflex Canon 350D. El tiempo de exposición fue de 30 minutos.

Me ha parecido oportuno empezar el artículo con esta comparativa con el objeto de demostrar las increíbles

posibilidades que nos proporcionan las cámaras digitales actuales. En adelante, intentaré explicar los pasos necesarios para poder realizar una fotografía del cielo con garantías, empleando un simple trípode y una cámara réflex digital. Pero antes de esto, vamos a repasar algunos conceptos básicos sobre el movimiento de la bóveda celeste y sobre el comportamiento tan peculiar de nuestra cámara de fotos cuando intentamos fotografiar el cielo en condiciones de movimiento y sin apenas luz para ello. Empecemos.

LA DINÁMICA CELESTE

Es evidente que el cielo se mueve, aunque para ser exactos debería decir que es la Tierra quien se mueve al-



Figura 1. La galaxia NGC 891 en Andromeda.



RAMÓN DELGADO FERNÁNDEZ

Pertenece a la División Nuclear de NATURGY ENGINEERING y actualmente trabaja en la Sección de Factores Humanos de C.N. Trillo.

Licenciado en Ciencias Químicas por la UAM y Máster en Energía Nuclear por el Ciemat de Madrid.

PHOTOGRAPHING THE SKY

Development of digital cameras, and the improvement of the sensors is allowing one of the most complicated challenges, to photograph the sky, to be every day more easy, to the extent that it is already possible, with a simple commercial camera, to obtain photographs that half a century ago were almost inaccessible to professional observatories.



rededor del Sol. La rotación de la Tierra en sentido oeste-este se completa en 23 horas, 56 minutos y algunos segundos, lo que se traduce en el giro de la bóveda celeste en sentido contrario, esto es de este a oeste, en idéntico período de tiempo. Además, la Tierra gira también alrededor del Sol, lo que hace que sufra un cierto desplazamiento en el tiempo sobre el fondo de estrellas. A consecuencia de ello, si miramos la misma estrella diariamente a la misma hora, cada nueva jornada la veremos un grado más hacia el oeste, o bien, si queremos encontrarla en el mismo lugar del día anterior tendremos que observarla 4 minutos antes. La Figura 2 muestra una preciosa circumpolar de Montse Fernández de la Casa que ilustra perfectamente el giro de la Tierra sobre un punto fijo: La Estrella Polar. No es objeto de este artículo describir en profundidad la dinámica celeste, pero sí me ha parecido oportuno dar estos datos tan básicos con el objeto de ilustrar cómo se mueve la esfera celeste. Como veremos más adelante, este movimiento, aparentemente lento, es una de las principales complicaciones con las que tendremos que lidiar a la hora de fotografiar el cielo, especialmente cuando queramos hacer zoom con nuestro objetivo fotográfico o cuando empleemos un telescopio.

LA CÁMARA FOTOGRÁFICA

Como ya dije al principio del artículo, no se necesitan cámaras especiales para poder fotografiar el Cielo, de modo que basta con un cámara réflex o las más recientes cámaras sin espejo, con un sensor idéntico a las primeras.

Las mejores cámaras réflex para fotografiar el Cielo son aquellas que tienen un mejor comportamiento a sensibilidades elevadas (ISO altos), ya que para compensar la falta de luz y la limitación del tiempo como resultado del movimiento de la esfera celeste tendremos que trabajar, necesariamente, a sensibilidades muy altas. Esto conlleva, inevitablemente, la generación de una señal de ruido digital.

Voy a pararme un poco en el tema del ruido en astrofotografía, por su impacto en la calidad de la imagen final. Cuando hacemos una fotografía, la cámara deja siempre defectos en cada toma específicos de la cámara, que deben ser eliminados. Estos defectos, inapreciables en fotografía convencional en donde el objeto a fotografiar es suficientemente luminoso, pueden ser un componente apreciable cuando estamos fotografiando



Figura 2.

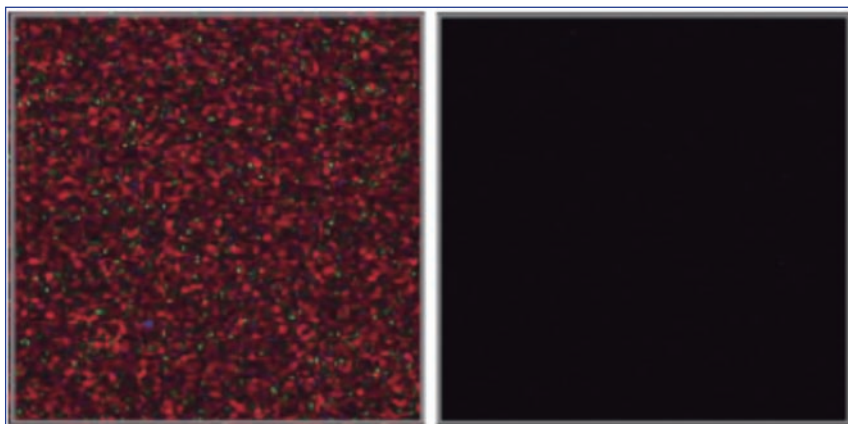


Figura 3.

el Cielo, a consecuencia de las condiciones extremas de escasa luminosidad en las que estamos trabajando. Estamos hablando de la señal térmica del sensor y del ruido digital.

La señal térmica es la consecuencia de la agitación de los átomos que forman el sensor, que provoca que se liberen electrones que se añaden a la señal real del objeto que estamos fotografiando, "ensuciando" la toma. La cantidad de electrones acumulados es proporcional al tiempo de integración, razón por lo cual se trata de un componente especialmente relevante en astrofotografía en donde se requieren tiempos de exposición elevados. Además del tiempo, es relevante también para la generación de la señal térmica la temperatura del sensor; a mayor temperatura más agitación térmica, aumentando la emisión de electrones y con ello la intensidad de esta señal indeseable. Este tema es tan importante que algunos autores afirman que un aumento de 6 a 7 °C duplica esta señal. La Figura 3 ilustra esta afirmación:

Las dos imágenes se han obtenido tapando el objetivo de la cámara, pero la segunda se ha tomado a una temperatura menor. Se observa como el comportamiento de la señal térmica en el segundo caso es mucho mejor, y con ello la fotografía en su conjunto.

El otro componente a tener en cuenta en nuestras fotografías es el denominado ruido digital, entendiendo por tal la aparición en las tomas de artefactos que nada tienen que ver con el objeto fotografiado, degradando la imagen final. En astrofotografía hablamos de tres tipos de ruidos que componen el ruido digital: el **ruido de lectura**, el **ruido térmico** y el **ruido fotónico**. Veamos qué son y como afectan cada uno de ellos a nuestras fotografías.

Por **ruido de lectura** se entiende el ruido producido por los propios componentes electrónicos de la cámara al que se suma el ruido generado durante el proceso de digitalización de la señal en el conversor analógico-digital. Se trata de un tipo de ruido que



depende directamente de la calidad de los componentes de la electrónica de nuestra cámara; a mejor calidad, menor ruido. El **ruido térmico**, por el contrario, es aquel ruido asociado a la señal térmica de la que hablamos anteriormente, resultado de las pequeñas variaciones aleatorias asociadas a esta señal. El tercer y último componente, el denominado **ruido fotónico**, tiene su origen en la propia luz, y está relacionado con la variación aleatoria del número de fotones que llega al sensor. El efecto combinado de estos tres tipos de ruido sobre la fotografía es similar a la señal térmica del sensor de la que ya hablamos anteriormente: se manifiesta en forma de una señal que ensucia el fondo de nuestras tomas empeorando la ya de por sí débil señal del objeto que queremos fotografiar.

Sin embargo, no todas son malas noticias. Afortunadamente, una de las propiedades del ruido es que su amplitud aumenta solamente con la raíz cuadrada de la señal, mientras que la propia señal del objeto a fotografiar lo hace linealmente. Así, una señal cuatro veces más elevada se acompaña de un ruido cuya amplitud es solamente dos veces más importante, y si la señal es nueve veces mayor, el ruido solo habrá aumentado en un factor de tres. Adicionalmente, la naturaleza aleatoria del ruido hace que la combinación de imágenes del mismo objeto permita cancelar algunos de sus componentes, mientras que la señal real se verá reforzada, al repetirse de forma idéntica en todas las tomas.

Me ha parecido interesante pararme un poco en el tema de la señal térmica y del ruido digital en cuanto a que su naturaleza condiciona nuestra estrategia a la hora de fotografiar el Cielo: las fotografías deben hacerse a la menor temperatura posible (menor señal térmica), con el mayor tiempo posible por toma (mejora de la señal frente al ruido) y el mayor número de tomas posibles (cancelación de parte del ruido al combinar las imágenes). Siempre será mejor fotografiar en invierno, y es preferible hacer nueve tomas del objeto de cinco minutos cada una y combinarlas (ya veremos cómo), que una sola toma de cuarenta y cinco minutos.

UN EJEMPLO PRÁCTICO. FOTOGRAFIANDO LA CONSTELACIÓN DE ORION

Existen diferentes técnicas para fotografiar el Cielo, que van desde la más sencilla, con la cámara montada sobre un trípode convencional de fotografía hasta la más complicada, con la cámara acoplada a un telescopio con guiado automático. Por limitaciones de

Focal (mm) \ h (°)	80	40	10
18	88	20	16
33	48	11	8
50	32	7	6
110	14	3	3
300	5	1	1

Tabla 1. Tiempos de exposición máximos.

espacio, vamos a ver únicamente la fotografía del Cielo sobre un trípode sin seguimiento.

La fotografía del Cielo sobre un trípode sin seguimiento es la configuración más sencilla posible. Como punto de partida, tendremos que tener en cuenta dos cosas: el formato de la fotografía deberá ser siempre el formato RAW no comprimido, y el tiempo de exposición deberá ser el mayor posible para mejorar la relación señal-ruido, pero sin pasarnos, ya que de lo contrario las estrellas saldrán movidas, estropeando la toma.

El tiempo máximo en segundos que podremos dar a nuestras fotografías depende de la focal de nuestro objetivo fotográfico y de la altura del objeto sobre el horizonte, según la siguiente fórmula:

$$t_{\max}(s) = \frac{440}{Fe \times \cos h}$$

siendo Fe la focal efectiva del objetivo y h la altitud en grados sobre el horizonte del objeto que vamos a fotografiar. Una lectura rápida de esta fórmula nos permite sacar una conclusión básica en astrofotografía sin

seguimiento: el tiempo máximo de exposición disminuye al aumentar la focal del objetivo y es menor también para objetos situados más cerca del horizonte, para los que el coseno de la altura es mayor (Figura 4).

Los dos parámetros, Fe y h son fáciles de conocer por el astrofotógrafo. El primero de ellos, Fe se refiere a la focal efectiva de nuestro objetivo, para la que tendremos que tener en cuenta el factor de corrección según el tamaño del sensor. Este factor, que toma el valor de la unidad para las antiguas cámaras réflex de película, con un tamaño de negativo de 24 x 36 mm, es mayor cuanto menor es la superficie del sensor con el que estemos fotografiando. Aunque cada vez existen en el mercado más cámaras réflex digitales con el sensor del tamaño del negativo fotográfico (conocidas como cámaras *full-frame*), el tamaño más extendido es el denominado sensor APS-C, de 15 x 23 mm, es decir, 1,6 veces más pequeño que el sensor *full-frame*. A efectos prácticos, el uso de sensores más pequeños equivalente a multi-

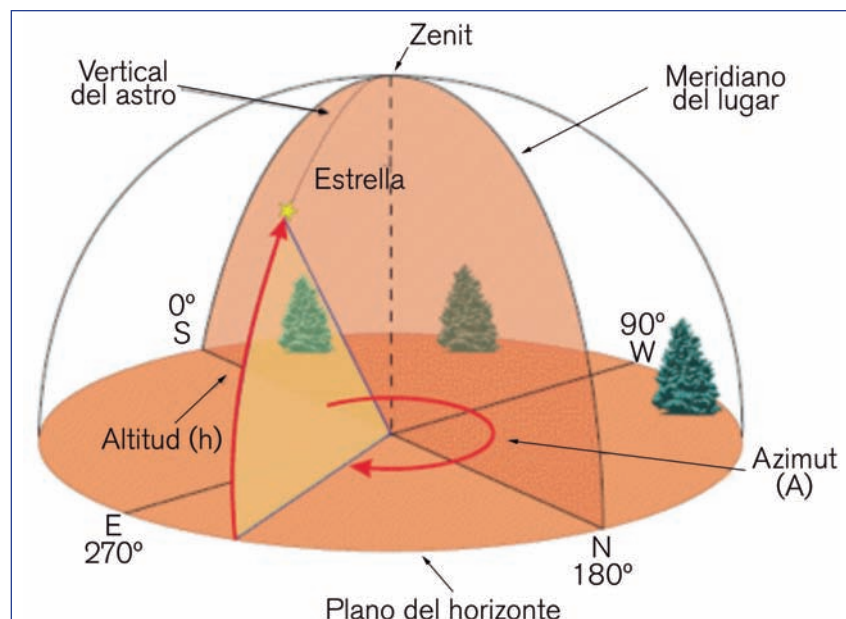


Figura 4.

plicar la focal del objetivo por el factor de corrección, obteniéndose así la focal efectiva que emplearemos en la fórmula del tiempo máximo de exposición (por ejemplo, si fotografiásemos con una Canon 750D y un objetivo de 33 mm de focal, la focal efectiva de la fotografía sería realmente 53 mm, o lo que es lo mismo, el campo fotografiado sería el mismo que obtendríamos con un objetivo de 53 mm en una cámara *full-frame*, como por ejemplo la Canon 6D). Para el segundo parámetro, h , la altitud en grados del objeto sobre el horizonte, podremos hacer una buena aproximación el mismo día de la fotografía, si tenemos en cuenta que el horizonte sería 0°, y el zenit sobre nuestras cabezas 90°. Si queremos ser más precisos, podemos utilizar algún programa informático tipo planisferio que nos dé este dato, aunque para la precisión requerida esto no es imprescindible. En la Tabla 1 podemos ver algunos de los tiempos máximos de exposición en segundos cuando utilizamos una cámara con sensor tamaño APS-C en función de la focal del objetivo (sin corregir por el factor del objetivo) y de la altura del objeto en el cielo.

Los tiempos de exposición máximos pueden variar, por lo tanto, desde más de un minuto, para objetos en el zenit con objetivos de focal muy corta, hasta unos pocos segundos para objetivos de focal larga y objetos cercanos al horizonte.

Una vez determinado el tiempo máximo de exposición, la otra duda que nos surge es el campo abarcado en nuestra fotografía. ¿Será suficiente el campo abarcado por mi equipo fotográfico, para poder fotografiar, por ejemplo, la constelación de Orión completa? Nuevamente, un sencillo cálculo nos permite conocer este dato. El campo en grados abarcado en el cielo por nuestro equipo fotográfico (FOV) será un rectángulo con la siguiente longitud en grados para su altura (vertical) y su base (horizontal):

$$\begin{array}{cc} \text{Longitud} & \text{Longitud} \\ \text{de la vertical (altura)} & \text{de la horizontal (base)} \\ \text{FOV (V)} = \frac{53 \times L1}{F} & \text{FOV (H)} = \frac{53 \times L2}{F} \end{array}$$

Siendo F la focal que marca el objetivo en milímetros y $L1$ y $L2$ el tamaño en milímetros del sensor de nuestra cámara (14,8 y 22,3 mm para una cámara Canon con formato APS-C). Nótese que aquí no utilizamos la focal efectiva como en la fórmula

anterior para el tiempo máximo de exposición, ya que corrección por el tamaño del sensor se realiza con los parámetros $L1$ y $L2$.

La Tabla 2 muestra el campo abarcado en grados en nuestra fotografía cuando utilizamos una cámara con un sensor tamaño APS-C en función de la focal del objetivo sin corregir por el factor del sensor:

¿Cuál sería entonces el tiempo máximo y el mejor objetivo fotográfico para fotografiar la constelación de Orión el 10 de febrero de 2018 a las 21:00 hora local desde Madrid? Para responder a esta pregunta necesitamos conocer el tamaño de esta constelación en el cielo y su posición ese día y a esa hora, ya que su estrella más baja en el horizonte, con una altura h menor, limitará el tiempo máximo de exposición.

El dato de la posición de la constelación en el cielo podemos obtenerlo de dos formas diferentes. La primera sería mediante el uso de programas informáticos tipo planisferio, como por ejemplo el conocidísimo y fantástico programa *Stellarium*, que puede des-

cargarse gratuitamente en la dirección: <http://stellarium.org/es/>. Para ello, bastará con indicar al programa nuestra posición (altitud y latitud de Madrid) y el día y la hora local (10 de febrero de 2018 a las 21:00 hora local). La Figura 5 ilustra la constelación tal y como la muestra el programa, en donde se aprecia que la estrella de menor altura de la constelación de Orión es Saiph, con una altura h , según la leyenda de la izquierda, de 39°38' sobre el horizonte (ver recuadro rojo). La siguiente cuestión que resolver es el tamaño en grados de la constelación, con el objeto de elegir el objetivo fotográfico más adecuado.

El programa *Stellarium*, o cualquier otro similar, también permite conocer este dato, utilizando para ello la opción de cuadrícula azimutal disponible en el programa. Teniendo en cuenta que cada cuadrícula tiene una longitud de 5x5 grados, es fácil deducir que la constelación tiene una longitud aproximada de 30x15 grados, por lo que, de acuerdo con

Focal (mm)	FOV (V)	FOV (H)
18	47	71
33	39	36
50	26	17
110	12	8
300	4	3

Tabla 2. Campo abarcado en el cielo por el objetivo fotográfico.



Figura 5.

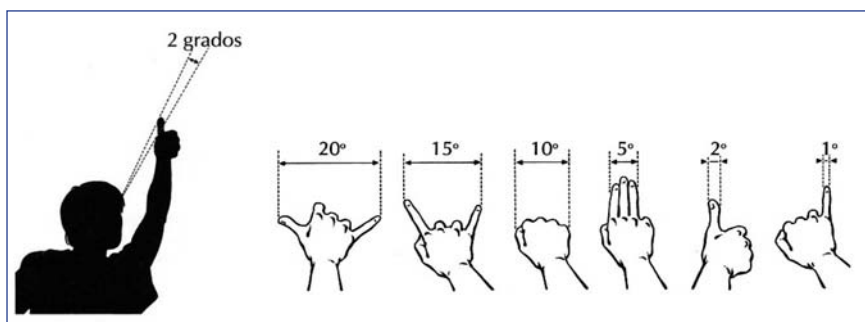


Figura 6. Campo en grados abarcado en el cielo por la mano con el brazo extendido.

la Tabla 2, deberemos utilizar un objetivo de 33 mm de focal, con el objeto de que la constelación entre en el cuadro de la fotografía incluso en las condiciones más desfavorables. Con este dato, es fácil calcular con la Tabla 1 que el tiempo máximo de exposición será de aproximadamente 11 segundos, correspondiente a una altura de 40° que es la altura de la estrella más baja respecto al horizonte de todas las que componen la constelación.

Como ya comenté en el punto anterior, hay una segunda forma mucho más sencilla para el cálculo del tiempo máximo y de la focal requerida, que además es posible utilizar en campo el mismo día de la sesión fotográfica. Para ello, basta con extender nuestro brazo y utilizar los dibujos de la Figura 6. Cada una de ellas determina una distancia aproximada en la esfera celeste.

De esta forma tan sencilla, es posible conocer la altura en grados h del objeto a fotografiar sobre el horizonte y su tamaño aproximado, y a partir de estos datos, la focal óptima y el tiempo máximo de exposición utilizando las Tablas 1 y 2 anteriores. Esta segunda opción, aunque menos precisa que la anterior, debería ser suficiente para poder fotografiar el objeto del cielo con todas las garantías.

OBTENCIÓN DE LA FOTOGRAFÍA Y SU PROCESADO

Una vez determinada la focal a emplear y el tiempo de exposición, solo nos queda montar la cámara en un trípode fotográfico y empezar a fotografiar. Para ello, es imprescindible que configuremos la cámara en el modo B y utilicemos un disparador remoto (Figura 7), contando el tiempo en cada toma, con el objeto de no superar el tiempo máximo. Para facilitar este trabajo, se pueden encontrar en el mercado unos intervalómetros que no son más que disparadores remotos algo más sofisticados, que permiten fijar el tiempo de cada exposición y el número de tomas a realizar. Emplearemos

además el ISO más alto posible, pero teniendo en cuenta que al aumentar la sensibilidad aumentamos también el ruido en cada toma. Por último, es importante que utilicemos la mayor apertura posible de nuestro objetivo, aunque es muy conveniente que cerremos el diafragma un par de puntos, con el objeto de mejorar los bordes de las tomas. En cuanto al enfoque, será siempre manual, utilizando la estrella más brillante del cielo y lo haremos utilizando el modo *Live-View* de la cámara, con los máximos aumentos posibles.

En cuanto al número de tomas a realizar, como ya explicamos cuando hablamos del ruido digital, cuantas más, mejor. Posteriormente, bastará con combinar estas imágenes, para obtener una imagen final en formato TIF que a continuación podremos retocar con el programa que utilicemos habitualmente en fotografía convencional. Hay varios programas para la



Figura 7.

combinación de imágenes, aunque yo recomiendo *DeepSkyStacker* (DSS), que puede descargarse gratuitamente en la dirección <http://deeps-kystacker.free.fr/spanish/index.html>.

Y hasta aquí este pequeño artículo sobre astrofotografía. Para profundizar en el tema, puedes visitar mi página web (www.ramon-astronomia.es) en donde encontraras más información y tutoriales. Ojalá que este pequeño artículo haya servido para despertar en el lector el interés sobre la astronomía y, en especial, la astrofotografía; con esa intención lo he escrito. Personalmente, tras casi dos décadas fotografiando el Cielo, no dejo de emocionarme cada vez que me sorprende observado la inmensidad del cielo nocturno. ■



Figura 8. NGC 7000 Nebulosa Norteamérica en la constelación del Cisne. Fotografía del autor realizada con un telescopio TS102S a f5,6 sobre una montura Vixen GPD2 con autoguiado, y una cámara Canon 500D modificada sin filtro IR, a ISO 800. Resultado del apilado con DSS de 10 tomas de 300 s cada una. Albalade de Zorita, Guadalajara.