

PROCESAMIENTO DE FOTOGRAFÍAS CCD DE CUERPOS MESSIER CAPTURADAS DESDE EL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO DE LA UTP

CCD Image Processing of Messier Objects Caught From Astronomical Observatory of the UTP

RESUMEN

En este documento se presentan los resultados obtenidos al realizar una serie de observaciones desde el Observatorio Astronómico de la Universidad Tecnológica de Pereira, los cuales se reflejan en 8 fotografías RGB logradas mediante técnicas de procesamiento digital y capturadas por una cámara CCD conectada a un telescopio de 11". Las imágenes que se obtuvieron corresponden a Júpiter, M4, M8, M22, M27, M57, NGC55, M42 y NGC104.

PALABRAS CLAVE: Astrofotografía, catálogo Messier, cúmulo globular, galaxia irregular, nebulosa de emisión, nebulosa planetaria, procesamiento digital de imágenes, sensor CCD.

ABSTRACT

This paper presents the results obtained to conduct a series of observations from the Astronomical Observatory of the Technological University of Pereira, which are reflected in 8 RGB photos achieved through digital processing techniques and captured by a CCD camera attached to a telescope 11". The images were obtained corresponding to Jupiter, M4, M8, M22, M27, M57, NGC55, M42 and NGC104.

KEYWORDS: *Astrophotography, Messier Catalog, globular cluster, irregular galaxy, emission nebula, planetary nebula, digital image processing, CCD sensor.*

WILLIAM ARDILA URUEÑA

Licenciado en Física
MSc. Física
Profesor Titular
Universidad Tecnológica de Pereira
williamar@utp.edu.co

EDWIN ANDRÉS QUINTERO

Ingeniero Electrónico
Candidato a Magíster en Instrumentación Física
Profesor Auxiliar
Grupo de Investigación en Astronomía Alfa Orión
Universidad Tecnológica de Pereira
equintero@utp.edu.co

ANA CAROLINA ACUÑA

Estudiante Ingeniería de Sistemas y Computación
Grupo de Investigación en Astronomía Alfa Orión
Universidad Tecnológica de Pereira
anacaros@utp.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

Sin duda alguna, la astronomía es una de las ramas de la física con mayor acogida dentro de las personas del común, dado el gran asombro y admiración que causan los fenómenos celestes. Una posible explicación para ello consiste en que desde su aparición sobre la tierra, el ser humano ha manifestado una insaciable necesidad de conocer el cosmos más allá de las fronteras establecidas por su entorno, lo cual lo ha llevado a construir una visión mucho más general del mundo que lo rodea. Esta curiosidad por el cosmos ha permitido que los avances en la tecnología siempre lleguen a modernizar la instrumentación utilizada para el estudio de los cuerpos celestes. Desde la invención del telescopio a manos de Galileo Galilei en 1609 [1], se ha mejorado sustancialmente el proceso de fabricación de los elementos ópticos que componen este tipo de instrumentos, gracias al perfeccionamiento y automatización de los equipos necesarios para su construcción. Sin embargo, la astronomía óptica recibió su mayor impulso, en el momento en el cual se logró un desarrollo importante de los equipos electrónicos digitales de fotografía. Antiguamente, el astrónomo profesional o aficionado, debía dedicar horas a la adquisición de imágenes de cuerpos celestes, las cuales se imprimían en películas fotográficas tras largos periodos de exposición, con la dificultad de no poder conocer los resultados de su trabajo hasta el momento en

el cual se efectuara el revelado de la misma. En muchas ocasiones, las imágenes finales quedaban sobreexpuestas, movidas, oscuras, etc; lo cual concluía simplemente en la pérdida de toda la jornada de observación. Actualmente, las cámaras fotográficas equipadas con sensores CCD, permiten al investigador observar la imagen en un computador inmediatamente después de finalizada la exposición, con lo cual puede considerar de forma rápida la realización de una nueva toma si detecta en la imagen alguno de los defectos ya mencionados. Por otra parte, al obtener una fotografía en formato digital, es posible aplicar sobre ella todas las técnicas de procesamiento de imágenes existentes, con el fin de mejorar su calidad, tamaño, luminosidad, etc; o con el objeto de resaltar secciones específicas de la imagen dentro de las cuales se encuentran los cuerpos celestes de interés.

El presente trabajo contiene una descripción de los equipos existentes en el recientemente inaugurado Observatorio Astronómico de la Universidad Tecnológica de Pereira, dentro de las cuales figuran un telescopio de 11" y una cámara digital con sensor CCD. También se muestran las primeras fotografías a color de cuerpos celestes del espacio profundo capturadas desde el observatorio de la universidad, la técnica de astrofotografía utilizada, al igual que el procesamiento digital adelantado con el fin de eliminar los defectos introducidos en el proceso de captura.

2. INSTRUMENTACIÓN UTILIZADA

2.1 TELESCOPIO

Naturalmente, el principal instrumento con el que cuentan los astrónomos dedicados al área observacional, es el telescopio. En el caso del Observatorio Astronómico de la Universidad Tecnológica de Pereira, se dispone de un instrumento marca Celestron® de la serie Ultima®, con objetivo de 11" de diámetro [2], instalado sobre una montura ecuatorial. Este equipo posee un sistema de movimiento automático basado en motores paso a paso, el cual permite realizar el seguimiento de los cuerpos celestes durante las fotografías de larga exposición. La figura 1 presenta el instrumento en mención, instalado en la cúpula del observatorio.



Figura 1. Telescopio del Observatorio Astronómico de la Universidad Tecnológica de Pereira.

El sistema óptico de este equipo se clasifica dentro de la categoría Schmidt-Cassegrain, lo cual permite mantener un gran diámetro recolector de la luz, sin incurrir en longitudes extremas del tubo óptico, convirtiéndolo así en un diseño sumamente portátil. El esquema de este montaje óptico se muestra en la figura 2.

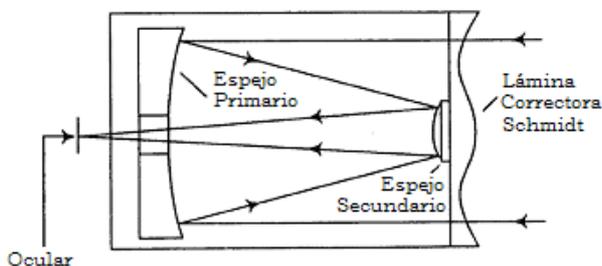


Figura 2. Operación del sistema óptico Schmidt-Cassegrain [3].

En esta configuración, los rayos de luz pasan inicialmente por una placa correctora de cristal, la cual ayuda en la formación de la imagen. Posteriormente, estos inciden en la superficie de un espejo reflector parabólico (espejo primario), de allí golpean a un espejo convexo ubicado en la parte superior del tubo (espejo secundario), para finalmente concentrarse en un punto

llamado foco, en el que se crea una imagen virtual e invertida del objeto, la cual finalmente es amplificada por el ocular. Debido a que este tipo de configuración óptica involucra del uso de elementos refractivos y reflexivos, al instrumento se le clasifica como catadióptrico [3].

Este telescopio cuenta además con todos los accesorios necesarios para su uso en astrofotografía, tales como reductor focal, adaptador para cámara y control remoto para el sistema de movimiento.

2.2 CÁMARA CCD

Como se dijo anteriormente, la llegada de los sensores ópticos electrónicos representó un gran avance en la difícil labor adelantada por los astrofotógrafos, ya que los rayos de luz procedentes de los objetos del espacio exterior son sumamente tenues. Esto hace que la captación de imágenes de los astros tenga un nivel de dificultad superior a la fotografía de muchos otros objetos de origen terrestre, pues generalmente los investigadores invierten toda una noche de observación en obtener una buena imagen de un solo cuerpo celeste.

Las imágenes astronómicas presentadas en este documento fueron captadas al proyectar los rayos de luz recolectados por el espejo primario del telescopio, sobre el sensor CCD de una cámara astronómica marca Meade®, de la serie Deep Sky Imagen Pro II® [4]. Este dispositivo de acoplamiento de carga (CCD por su traducción al inglés), fabricado por la marca Sony®, posee una superficie efectiva del detector de 8mm de diagonal, alta sensibilidad, alto S/N y una baja corriente oscura [5]. La figura 3 presenta el instrumento descrito.



Figura 3. Cámara digital utilizada en el proyecto con los filtros de colores ubicados en la regleta central.

2.3 FILTROS

Dado que el sensor CCD de la cámara utilizada es monocromático, las imágenes capturadas serán a blanco y negro. Si se desea obtener fotografías a color, es necesaria la utilización de los filtros de colores que vienen con la cámara fotográfica, los cuales son mostrados también en la figura 3. Al instalar el filtro rojo (R), la imagen a blanco y negro obtenida en el monitor indicará las diferentes intensidades de este color

presentes en el cuerpo celeste. De igual forma, al configurar el filtro de color verde (G), solo llegará a la superficie del sensor la radiación electromagnética cuya longitud de onda corresponde a este color. Por su parte, el filtro azul (B), opera de forma análoga para este color en particular. Una vez se han capturado las fotografías en los tres colores primarios según los tiempos de exposición específicos para cada cuerpo celeste, estas deben ser procesadas con el fin de obtener la imagen final.

3. TÉCNICA DE ASTROFOTOGRAFÍA

Una técnica sumamente básica, y al mismo tiempo eficiente, utilizada en la adquisición de imágenes de cuerpos celestes, consiste en la proyección de foco primario. Este método plantea la proyección de la imagen virtual invertida creada por el espejo principal del telescopio cerca del foco, directamente sobre la superficie del sensor CCD. De esta forma, no se hace necesario utilizar el ocular, por lo que la imagen será mucho más clara al no tener que atravesar ninguna lente [6].

Para la toma de las fotografías presentadas en este documento, se procedió de la siguiente manera, con el fin de implementar la técnica de foco primario: Inicialmente, el objeto que se desea fotografiar es ubicado dentro de la bóveda celeste mediante los mapas estelares incluidos en programas astronómicos de computadora. Este proceso arroja información fundamental para la localización del astro en el cielo, pues permite conocer la constelación que lo contiene, además de sus coordenadas en ascensión recta y declinación. Posteriormente, el telescopio debe ser dirigido hacia las coordenadas establecidas, obteniéndose así una imagen ampliada del objeto en el ocular. Después, se procede a retirar el ocular para instalar en su lugar la cámara CCD. En este punto del proceso, el programa de computadora que controla la cámara debe mostrar una imagen borrosa del cuerpo celeste en estudio, la cual mejora notablemente en nitidez al enfocar el telescopio. Al final de este proceso el sistema se encuentra listo para comenzar con la captura de las imágenes. En la figura 4 se observa el montaje final realizado para la toma de las fotografías.

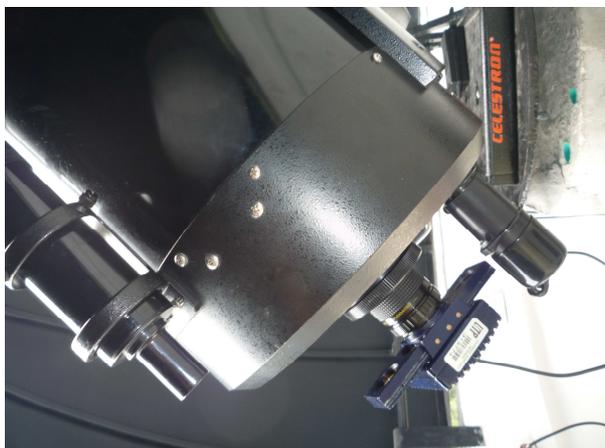


Figura 4. Montaje realizado para la captura de las imágenes.

4. PROCESAMIENTO DE LAS IMÁGENES

Generalmente, se suelen tomar varias fotografías con cada filtro, con el fin de combinarlas y obtener tres imágenes finales (roja, verde y azul) de mayor calidad. Sin embargo, las imágenes tomadas ejecutando el procedimiento descrito anteriormente, presentan algunos defectos que deben ser corregidos antes de su combinación, debidos fundamentalmente a los siguientes aspectos:

1. Error de lectura: Es la interferencia causada por el ruido electrónico presente en todo el montaje instrumental. Para corregir este defecto, es necesario tomar una serie de fotografías de exposiciones muy cortas y con el telescopio en completa oscuridad, denominadas *Bias*; después de lo cual se procede a combinarlas con el fin de obtener una fotografía promedio llamada *Master Bias* [7]. La operación se realiza aplicando la ecuación (1).

$$mbias(i, j) = \frac{\sum_{k=1}^k bias_k(i, j)}{k} \quad (1)$$

Mediante el procesamiento de las imágenes se realiza la sustracción del *Bias* a todas las fotografías tomadas con los diferentes filtros, con el fin de reducir los efectos indeseados causados por este fenómeno.

2. Corriente oscura: En completa oscuridad, el sensor entrega una imagen sobre la cual se observan una serie de puntos brillantes correspondientes a la agitación térmica presente en la superficie del CCD. A este fenómeno se le conoce como *Dark Current*, la cual es directamente proporcional a la temperatura. Para controlar las perturbaciones causadas por este fenómeno, la cámara debe mantenerse refrigerada. Este problema se puede minimizar capturando una serie de imágenes con el telescopio en completa oscuridad, denominadas *Darks*, quienes deben tener la misma exposición de las fotografías obtenidas con los filtros de color. Posteriormente, estos registros son combinados para obtener una imagen final denominada *Master Dark* [7], mediante la aplicación de la ecuación (2), la cual finalmente es sustraída por técnicas de procesamiento de imágenes, de las fotografías tomadas con los filtros de color.

$$mdark(i, j) = \frac{\sum_{k=1}^k \left\{ \frac{1}{\exp time_k} [dark_k(i, j) - mbias(i, j)] \right\}}{k} \quad (2)$$

3. Cambios de sensibilidad: Lamentablemente, los píxeles que constituyen la superficie del sensor

CCD no presentan la misma sensibilidad a luz incidente, lo cual se refleja en falsos cambios en la intensidad luminosa del objeto registrado. Con el fin de recuperar la uniformidad en la superficie del sensor, se toman una serie de fotografías por cada filtro y con el sensor completamente iluminado, las cuales se conocen como *Flats*. Al combinar los diferentes *flats* de cada color aplicando la expresión (3), se obtienen tres imágenes finales, denominadas *Master Flats* [7], las cuales son comparadas con las fotografías originales con el fin de normalizar la sensibilidad del sensor.

$$mflat(i, j) = \frac{\sum_{k=1}^k \{w_k [flat_k(i, j) - mbias(i, j) - exptime_k mdark(i, j)]\}}{k} \quad (3)$$

Donde el término w_k representa el peso de cada archivo *flat* [7], el cual se puede calcular mediante la ecuación (4).

$$w_k = \frac{1}{\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n [flat_k(i, j) - mbias(i, j) - exptime_k mdark(i, j)]}{mn}} \quad (4)$$

En la figura 5 se muestra una fotografía de la nebulosa anular de la Lira tomada con el filtro azul. En ella se observan los defectos mencionados anteriormente, los cuales afectan notablemente la calidad de la fotografía. Después del procesamiento digital de imágenes aplicado con el fin de corregir los defectos introducidos en el proceso de captura, se obtuvo la imagen presentada en la figura 6. En ella se observa una mejora significativa de la calidad, con un fondo oscuro y puntos brillantes correspondientes a estrellas reales, diferentes a los existentes en la figura 5, los cuales corresponden en su gran mayoría a errores introducidos en la fotografía durante el proceso de captura.



Figura 5. Fotografía de la Nebulosa Anular de la Lira en filtro azul, antes del procesamiento digital de imágenes.

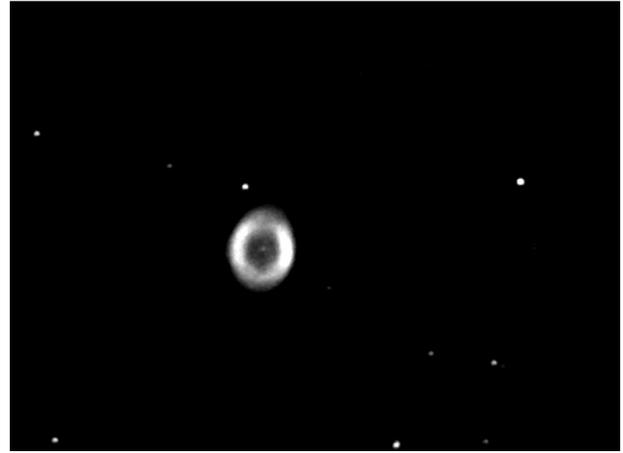


Figura 6. Fotografía de la Nebulosa Anular de la Lira en color azul, después de la sustracción de *Darks*, *Flats* y *Bias*.

Al realizar el procesamiento de las fotografías capturadas con las imágenes *Bias*, *Dark* y *Flat*; estas quedan listas para ser combinadas y así obtener tan solo tres imágenes, una para cada color, cuya combinación final producirá la fotografía RGB deseada. La figura 7 presenta las imágenes de la Nebulosa Anular de la Lira para los colores azul, rojo y verde, mientras que la figura 8 muestra la fotografía obtenida después de combinarlas.

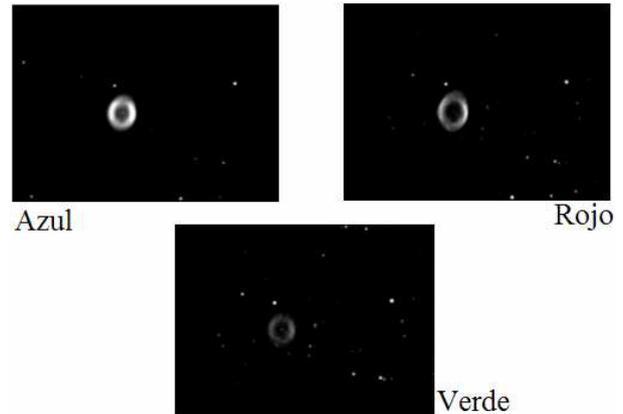


Figura 7. Fotografías de la Nebulosa Anular de la Lira con los filtros RGB después del procesamiento digital.



NEBULOSA ANULAR DE LA LIRA (M57) (RGB)
 Fotografía RGB con 414 de exposiciones de 1 segundo.
 Telescopio Celestron 11" a Cámara Mada 502 Pro.
 Prof. Félix Andrés Quiroz, Prof. Andrés Quiroz, A.
 Ivo Quiroz, Iván Quiroz.
 Grupo de Investigación en Astronomía UTP.
 Observatorio Astronómico Universidad Tecnológica de Pereira.
 Agosto 19 de 2009, Pereira, Colombia.

Figura 8. Nebulosa del Anillo M57 en la constelación de la Lira. Fotografía RGB con 45s de exposición. Nebulosa planetaria de magnitud 8.8 situada a 2.300 años luz de distancia. Se aproxima hacia la tierra a más de 69.120 Km/h, debido a la velocidad orbital del Sol alrededor de la Vía Láctea [8].

5. RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación se presentan otras imágenes obtenidas implementando el procesamiento descrito anteriormente, y una breve descripción de los cuerpos celestes registrados:



Figura 9. Nebulosa Trífida M8 en la constelación de Sagitario. Fotografía RGB con 60s de exposición. Este cuerpo se encuentra a unos 2.000 años luz, y se estima que tiene una edad de 300.000 años, lo que la convierte en una de las cunas estelares más jóvenes [8].



Figura 10. Nebulosa Dumbell M27 en la constelación de Vulpécula. Fotografía RGB con 50s de exposición. Nebulosa planetaria situada a 1250 años luz de distancia. Fue una de las primeras nebulosas planetarias descubiertas y su edad se estima en 3.000 a 4.000 años [8].

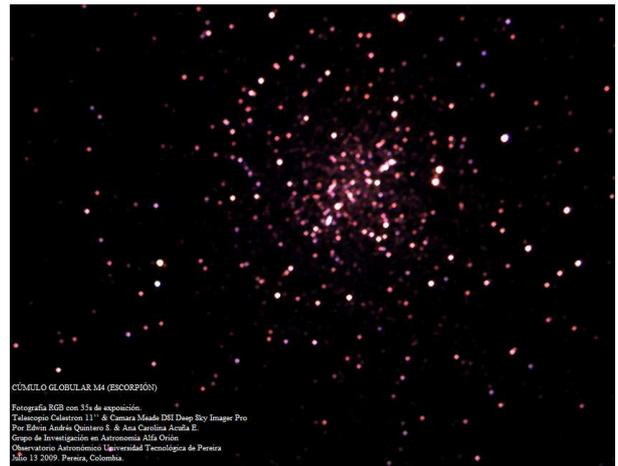


Figura 11. Cúmulo globular M4 en la constelación del Escorpión. Fotografía RGB con 35s de exposición. Situado a una distancia de 7.200 años luz, contiene un púlsar con periodo de 3 ms y algunas estrellas enanas blancas, las cuales se registran como las más antiguas de la galaxia (alrededor de 13.000 millones de años) [8].

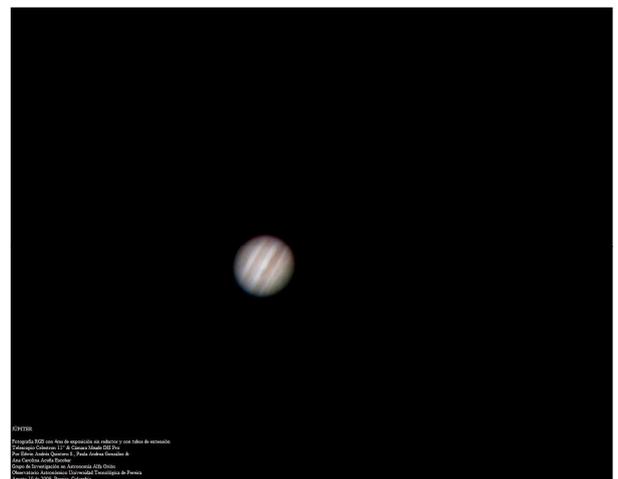


Figura 12. Júpiter. Fotografía RGB con 4ms de exposición. Se trata del gigante gaseoso ubicado a 750 millones de kilómetros de Sol. La fotografía revela las bandas de colores en la atmósfera compuesta por Hidrógeno, Helio, Metano y Amoníaco [8].



Figura 13. Nebulosa de Orión M42 en la constelación de Orión. Fotografía RGB con 60s de exposición. Se trata de una nebulosa difusa, la más brillante del cielo nocturno. Es ampliamente estudiada ya que contiene estrellas jóvenes y discos protoplanetarios, lo cual se traduce en otros sistemas solares en formación [8].



Figura 14. Galaxia NGC55 en la constelación de Sculptor. Fotografía RGB con 70s de exposición. Galaxia irregular perteneciente al súper cúmulo de galaxias de Sculptor [8]. Al encontrarse a más de 7 millones de años luz de la tierra, se convierte en el cuerpo celeste más lejano fotografiado desde el Observatorio Astronómico de la UTP. La luz capturada por el sensor CCD el 23 de septiembre de 2009, partió de esta galaxia hace más de 7 millones de años.



Figura 15. Cúmulo globular NGC104 en la constelación de Tucana. Fotografía RGB con 60s de exposición. Es el segundo más brillante del cielo nocturno y se sitúa a una distancia de 120 años luz de la tierra. Es un cuerpo difícil de fotografiar ya que se encuentra muy cerca del polo sur celeste, lo cual hace necesario que el cielo se encuentre en condiciones óptimas [8].

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Si bien la invención de los dispositivos electrónicos capaces de detectar la intensidad de la luz, han permitido un avance en la astronomía observacional, este no sería

importante de no ser por la implementación de las técnicas de procesamiento digital de imágenes en esta rama de la astronomía, ya que las fotografías capturadas presentan defectos muy graves debidos a los fenómenos enunciados anteriormente. Se concluye entonces que la técnica de procesamiento de imágenes implementada, consistente en la sustracción de los registros *Darks*, *Flats* y *Bias*; presenta excelentes resultados en el momento de combinar las fotografías obtenidas con los diferentes filtros individuales, a fin de construir la imagen a color presentada finalmente.

En cuanto a las dificultades generadas por el montaje de los instrumentos, se observan grandes defectos introducidos por la vibración transmitida desde el edificio al telescopio a través de la montura. La anterior situación hace imposible tomar fotografías de larga exposición de objetos sumamente tenues, pues estas saldrán movidas. Actualmente, se está trabajando en el desarrollo de un sistema mecánico de absorción del movimiento que permita amortiguar esta vibración, para así implementar la técnica de astrofotografía descrita anteriormente en el estudio de cuerpos celestes aun más distantes, y por lo tanto menos brillantes.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] David H. Levi, *Observar el Cielo*, Primer Edición, Editorial Planeta, 2005.
- [2] *The Celestron Ultima 9¹/₄ and Ultima 11 Instruction Manual*, Celestron Internacional, 1997.
- [3] Joachim Herrmann, *La Astronomía Conquista el Universo*, Bertelsmann Verlag, 1968.
- [4] *Meade Deep Sky Imager Pro: The Basics*, Meade Instruments Corporation, 2007.
- [5] *ICX429ALL Diagonal 8mm CCD Image Sensor Datasheet*, Sony Corporation, 2006.
- [6] David Ratledge, *Digital Astrophotography: The State of the Art*, Primera Edición, Springer-Verlag London Limited, 2005.
- [7] Baume G. L., *Astronomía Observacional: Técnicas CCD*. Centro de Publicaciones Universidad Nacional de la Plata, Argentina, 2007.
- [8] Kier Ruben, *The 100 Best Astrophotography Targets*, Primera Edición, Springer-Verlag London Limited, 2009.