

Astrofotografía de la nebulosa NGC-7293 para la divulgación de la astronomía

Astrophotography of NGC-7293 nebula for the dissemination of astronomy

José Sánchez  ¹

Giuliat Navas  ²

Gregore Rojas  ³

Luis Vivas  ⁴

Fundación Centro de Investigaciones de Astronomía Francisco J. Duarte, Mérida,
Venezuela^{1,2,3,4}

josiubaldo@gmail.com¹

giuliatnavas@gmail.com²

gregorerojas@gmail.com³

lvivas982@gmail.com⁴

Fecha de recepción: 07/10/2024

Fecha de aceptación: 25/11/2024

Pág: 260 – 277

DOI: 10.5281/zenodo.18163715

Resumen

La astrofotografía se ha convertido a nivel mundial en un instrumento poderoso en la difusión y en la divulgación de la astronomía. Con el uso de pequeños telescopios, la astronomía amateur del siglo XXI, ha experimentado una revolución sin precedentes, abriendo nuevas líneas de investigación y convirtiéndose en un recurso fundamental para la divulgación de la astronomía. Las impresionantes imágenes obtenidas de nuestro universo por los astrofotógrafos inspiran a los jóvenes y niños en vocaciones científicas. En este trabajo presentamos los primeros resultados del proyecto de astrofotografía con el uso del telescopio Cámara Schmidt ubicado en el Observatorio Astronómico Nacional Llano del Hato (OAN), al cual se le acopló una cámara CMOS de 51.4 mega píxeles. La impresionante nebulosa de la Hélice (NGC-7293) es uno de los resultados de este proyecto, la cual fue fotografiada 51 veces con esta cámara, empleándose un tiempo de exposición de 120 segundos en los filtros RGB. En este trabajo, para alcanzar un buen resultado astrofotográfico, se emplearon diversos programas y softwares para la calibración, reducción del ruido, apilamiento y tratamiento de las imágenes astronómicas, con el objetivo de extraer los detalles más relevantes de la nebulosa de Hélice.



Esta obra está bajo licencia CC BY-NC-SA 4.0.

Este trabajo además presenta un método para la adquisición de las imágenes astronómicas y discute la metodología empleada para la obtención de una astrofotografía realista y que sirva como herramienta para la divulgación astronómica, buscando así inspirar a los semilleros científicos de nuestro país con imágenes realistas de calidad, adquirida desde los grandes telescopios de Venezuela.

Palabras clave: astrofotografía, astronomía, divulgación, nebulosa de la Hélice NGC-7293.

Abstract

Astrophotography has become a powerful tool worldwide for the dissemination and promotion of astronomy. With the use of small telescopes, 21st-century amateur astronomy has experienced an unprecedented revolution, opening new lines of research and becoming a fundamental tool for the dissemination of astronomy. The impressive images obtained from our universe by astrophotographers inspire young people and children in scientific vocations. In this work, we present the first results of the astrophotography project using the Schmidt Camera telescope located at the National Astronomical Observatory Llano del Hato (OAN), to which a 51.4-megapixel CMOS camera was attached. The impressive Helix nebula (NGC-7293) is one of the results of this project, which was photographed 51 times with this camera, using an exposure time of 120 seconds in the RGB filters. In this work, to achieve a good astrophotographic result, various programs and software were used for calibration, noise reduction, stacking, and processing of astronomical images, with the aim of extracting the most relevant details of the Helix nebula. This work also presents a method for acquiring astronomical images and discusses the methodology used to obtain a realistic astrophotograph that serves as a tool for astronomical dissemination, thus seeking to inspire the scientific seeds of our country with high-quality realistic images, acquired from the large telescopes of Venezuela.

Keywords: astrophotography, astronomy, dissemination, Helix Nebula NGC-7293.

Introducción

El hombre no puede ver con sus propios ojos la fascinante riqueza de colores del Cosmos. Más allá de nuestra ventana óptica existe todo un universo por descubrir, y la astrofotografía es el mejor vehículo para explorarlo (Aupí, 1999). La astrofotografía es la combinación de astronomía y fotografía, la cual consiste en capturar imágenes de los cuerpos celestes a través

de equipos especializados (Marx y Pfau, 1992). La astrofotografía como método a la enseñanza de las ciencias, nos brinda una mirada al universo, llegando más allá de lo que nuestros ojos pudiesen observar, revelando así detalles y colores que no imaginariamos percibir a simple vista. La clave de la astrofotografía radica en el avance tecnológico, donde la sensibilidad de las cámaras ha revolucionado convirtiéndola en una ciencia que amerita investigación para su progreso. Es interesante notar que las cámaras y nuestros ojos comparten algunas similitudes, pero también diferencias significativas. Por ejemplo, nuestros ojos se adaptan rápidamente a las variaciones de luz y tienden a ignorar los cambios de intensidad de luz (luces y sombras). Esto se debe a que nuestros ojos no son capaces de acumular la luz percibida, a pesar del tiempo que intentemos mantenerlos abiertos (Neira, 2023). En cambio, los detectores de las cámaras fotográficas pueden captar la luz de forma lineal: a mayor tiempo de exposición a la luz, mayor será su acumulación, pudiendo llegar a la saturación. Es decir, cuanto más tiempo estén los detectores expuestos a una fuente luminosa, mayor información recogerán. Dependiendo de la técnica utilizada, la astrofotografía puede revelar matices y detalles sorprendentes que normalmente no vemos. Este concepto también tiene un valor interesante, ya que despierta un profundo sentido de asombro y conexión con el universo.

El cielo nocturno con sus puntos luminosos y titilantes, es uno de los paisajes más impresionantes que captan la atención del ser humano (Cardozo, 2023). La inmensidad del universo desafía nuestra imaginación, sin embargo sabemos que al día de hoy, el universo contiene millones de galaxias como la nuestra (Ábalos y Ábalos, 2022), gracias a la astrofotografía hemos visto imágenes deslumbrantes de galaxias, planetas, estrellas y nebulosas, despertando en el público en general una curiosidad innata por el espacio y la ciencia. Estas visualizaciones actúan como un estímulo para la exploración científica, motivando a las futuras generaciones a plantear preguntas sobre el universo, y a involucrarse en proyectos de investigación. De esta manera, se convierte en un recurso educativo poderoso, capaz de cultivar la pasión por el aprendizaje y el descubrimiento en la mente de los más pequeños.

Para dominar la astrofotografía, primero se debe entender y controlar el instrumento que estamos utilizando para capturar la luz tenue de los diferentes objetos celestes difusos y distantes que tanto nos cautivan y nos interesan. El telescopio, la montura y los sistemas de guía son herramientas esenciales en el proceso clave que culmina cuando el fotón, que ha estado viajando cientos, miles o incluso millones de años luz, llega al sensor de nuestra cámara para astrofotografiarlo (Neira, 2023).

El campo de la astrofotografía ha ido creciendo con el paso de los años, esto se debe, entre otros factores, al desarrollo de la tecnología y la microelectrónica. (Duarte et al., 2011). Recientemente, los fabricantes han realizado un cambio significativo al desplazar su producción de cámaras CCD (*CCD, Charge Coupled Device*) a cámaras CMOS (*Complementary Metal-Oxide Semiconductor*). Este cambio ha resultado en una reducción de costos y una mayor disponibilidad de las cámaras CMOS, gracias a sus mejores prestaciones. Estas cámaras

ofrecen una reducción significativa del ruido de lectura y un aumento de la velocidad de procesamiento (Neira, [2023](#)).

La astrofotografía no sólo proporciona imágenes más nítidas y ricas de los astros que habitualmente se observan con telescopios o prismáticos, sino que también permite acceder a objetos no apreciables a simple vista. Esto se debe a su débil brillo o a la diferente longitud de onda de la luz que emiten, que pueden ser captados por la película fotográfica. Dos ejemplos famosos son la nebulosa Norteamericana (NGC 7000), en la constelación del Cisne, y la nebulosa Cabeza de Caballo (IC 434), en la constelación de Orión. Ninguna de las dos es visible a ojo desnudo y, aunque desde hace años existen filtros que permiten observarlas con telescopios, sólo a través de la fotografía se ha logrado captar su verdadero esplendor. Uno de los grandes pioneros en la aplicación de la fotografía a la astronomía, y uno de los mejores astrofotógrafos de la historia, ha sido Edward Emerson Barnard. Durante la primera década del siglo XX, Barnard obtuvo la mejor colección de imágenes de la Vía Láctea jamás conseguida. Muchas de sus fotografías no solo capturaron la belleza de nuestra galaxia, sino que también llevaron nuevos descubrimientos sobre las grandes nebulosas oscuras de polvo que la envuelven (Aupí, [1999](#)).

Por otra lado, la astrofotografía en Venezuela ha tenido un desarrollo limitado en el ámbito profesional, a pesar de la abundancia de cielos despejados durante el año, que varía según la región. Durante años, la mayoría de los esfuerzos en este campo han sido realizados por entusiastas y astrónomos aficionados, quienes han capturado la belleza del Cosmos desde sus hogares o pequeños observatorios personales. Sin embargo, la falta de proyectos formalmente estructurados, y el elevado costo de los equipos a emplear para la adquisición y el procesamiento de imágenes astronómicas, ha impedido que esta disciplina alcance su verdadero potencial en el país. En la actualidad, el Centro de Investigaciones de Astronomía (CIDA) está marcando un hito significativo con el lanzamiento de su primer proyecto de astrofotografía dirigido al público en general.

Este proyecto está a cargo de un equipo con amplios conocimientos del cielo, las constelaciones, el manejo de grandes telescopios y la inmensidad del universo. Este innovador esfuerzo busca, en primer lugar, emplear nuestros grandes telescopios para divulgar la majestuosidad del universo, acercando la astronomía a las personas y a la comunidad en general, ofreciéndoles imágenes realistas del cielo observado desde Venezuela. Además, el CIDA brinda la oportunidad de asignación de tiempo de observación, a través de los grandes telescopios para la captura de datos a través de proyectos científicos o divulgativos (Navas, [2023](#)), ofreciéndoles una gran oportunidad para que los venezolanos exploren su pasión por la astronomía y se conviertan en los protagonistas en la observación del Cosmos. En este contexto, y reconociendo la necesidad de la astrofotografía como instrumento para la divulgación de la ciencia en nuestro país, el objetivo de este trabajo es ofrecer una metodología de observación del Cosmos, y diversos métodos para el procesamiento y el tratamiento de las imágenes astronómicas, a través de

softwares libres, los cuales son aplicados a la nebulosa de la Hélice. Es importante destacar que cualquier persona, ya sea astrónomo o astrofotógrafo, tiene la libertad en fotografiar cualquier galaxia, nebulosa, asteroide, cometa o cuerpo celeste en el espacio, sin implicaciones legales y sin necesidad de solicitar su permiso. Esto es posible gracias a los tratados, acuerdos y convenios internacionales del espacio ultraterrestre (Navas y Rojas, 2024).

Desarrollo

Para observar el cielo nos debemos enfocar primeramente, en planificar las observaciones de acuerdo al mes del año a observar, y a la posición geográfica de nuestro observatorio, el cual se ubica en el sector Llano del Hato, del estado Mérida (Venezuela), a $8^{\circ} 47' 11''$ latitud norte y $70^{\circ} 52' 18,8''$ longitud oeste, y a una altitud de 3.600 metros sobre el nivel del mar (msnm). Estos dos elementos son fundamentales para la adquisición de los datos y asegurarnos así, que el campo deseado a observar esté justamente a 3,5 horas del meridiano del observador (o meridiano del lugar). Siendo los meridianos, planos perpendiculares al ecuador, que pasan por los polos, y el meridiano del lugar o del observador, aquel que contiene el zenith (Abad et al., 2002).

Posteriormente a la adquisición de los datos, pasamos a la etapa de calibración, el cual consiste en generar los dark, flat y bias maestro a través del software MaxIm DL (*Cyanogen Imaging MaxIm DL*). MaxIm DL es un programa diseñado específicamente para la captura de imágenes con cámaras CCD de grado científico. Además posee una serie de funciones adecuadas para cualquier aplicación de alta sensibilidad y alta profundidad de bits (*Binary Digits*), incluye funciones diseñadas para aplicaciones astronómicas, el cual es altamente eficaz en la optimización de las imágenes de calibración. MaxIm DL es un producto comercial para el sistema operativo Windows diseñado tanto por aficionados como por astrónomos profesionales, tiene excelente documentación y soportes para los usuarios, además es muy fácil de instalar y usar (*MaxIm DL User Manual*).

Adicionalmente, se empleó el software Sequator para la calibración y apilamiento de las imágenes, asegurando que cada imagen refleje con fidelidad los fenómenos astronómicos observados. Sequator es un software gratuito que puede rastrear estrellas en múltiples imágenes, además de alinearlas y apilarlas. Este software puede controlar la exposición de las imágenes mediante el ajuste automático de brillo o la salida en modo HDR (*HDR, High Dynamic Range*), y en TIFF (*TIFF, Tagged Image File Format*) de 16 bits para su posterior procesamiento. Además, promedia el ruido aleatorio, en lugar de sobre exponer. Este software es fácil y amigable para los usuarios, capaz de funcionar con imágenes de alta contaminación lumínica y es potente para corregir las distorsiones angulares y complejas (Wu, 2024).

En la fase de postproducción, se utilizó el software especializado *PixInsight*, ampliamente reconocido en el ámbito de la astrofotografía por sus potentes herramientas y funcionalidades.

Este es un software especializado en el procesamiento de imágenes astronómicas, el cual permite realizar ajustes precisos para mejorar significativamente la calidad visual de las imágenes. Además permite la calibración, integración y mejora de imágenes capturadas por telescopios, incluyendo la corrección de gradientes de luz y color, reducción de ruido y mejora de la definición. Ofrece herramientas para el análisis detallado de las imágenes, lo que es útil tanto para aficionados como para profesionales en astronomía. Incluye una interfaz de estructura de guiones (*scripting*, escritura de scripts) basada en JavaScript, lo que permite automatizar tareas repetitivas y personalizar el flujo de trabajo.

Este software está disponible para múltiples sistemas operativos, incluyendo FreeBSD, Linux, MacOs y Windows. PixInsight es ideal para aquellos que buscan obtener el máximo detalle y calidad en sus imágenes astronómicas, proporcionando una plataforma robusta para el procesamiento y análisis de datos visuales del Cosmos (Pleiades Astrophoto S.L, [2024](#)). Luego de realizar todas estas fases en el tratamiento de nuestras imágenes astronómicas, se le aplicó un enfoque artístico con el software *RawTherapee* con el fin de realzar la estética visual del trabajo final, logrando así una presentación verdaderamente espectacular y apta para ser publicada como una astrophotografía. *RawTherapee* es un software gratuito y de código abierto diseñado para el procesamiento de imágenes RAW. Es una herramienta poderosa y de multiplataforma estando disponible para Linux, MacOs y Windows (The RawTherapee team, [2024](#)).

1. Telescopio usado

Entender y dominar el instrumento para capturar la luz tenue de los diferentes objetos celestes y distantes que se desean observar en el cielo nocturno, es primordial para lograr con éxito la astrophotografía. El telescopio, la montura y los sistemas de guía son herramientas esenciales en el proceso clave que culmina cuando el fotón, que ha estado viajando cientos, miles o incluso millones de años luz, llega al sensor de nuestra cámara para astrophotografiarlo. El sensor de la cámara es el que realiza el proceso de convertir ese haz de fotones en unidades digitales de información que luego son procesadas y finalmente convertidas en una fotografía digital (Neira, [2023](#)).

Este trabajo de astrophotografía emplea equipos de vanguardia, lo que garantiza una calidad excepcional en la captura de imágenes astronómicas. Las observaciones empleadas fueron tomadas con el Telescopio Cámara Schmidt, ubicado en el OAN. Su configuración óptica incluye un espejo esférico y una lente correctora, con diámetros de 1.5 y 1 m (metros), respectivamente. La estructura mecánica del telescopio es de tipo ecuatorial de doble horquilla, especialmente útil para la astrophotografía y la observación detallada de objetos celestes. Este tipo de montura permite seguir el movimiento de las estrellas con gran precisión, compensando la rotación de la Tierra gracias a su motor eléctrico, que impulsa un movimiento de un giro completo en 23 horas y 56 minutos (día sideral, sd). Este tipo de telescopio puede mantener la observación de un astro determinado, anulando localmente su movimiento aparente sobre la bóveda celeste.

La cúpula que protege el telescopio cámara Schmidt tiene un diámetro de 16 m y puede girar horizontalmente 360° de forma continua.



Figura 1: Telescopio Cámara Schmidt (Stock) del OAN. Centro de Investigaciones de Astronomía. Mérida, Venezuela.

Fuente: Sánchez (2024)

Para estas observaciones, se le acopló una cámara FUJIFILM 50R, equipada con un sensor CMOS de formato medio de 51,4 megapíxeles (8256 x 6192 píxeles), con Matriz de Bayer RGB de 14 bits por cada canal de color, y un motor de procesamiento de imágenes X-Processor Pro (*FUJIFILM, 2024*), (*Della, 2024*). Se utiliza el sistema del software FUJIFILM GFX 50R como método de manejo y manipulación de la cámara, la cual comprende: Sensibilidad ISO, valor que nos ayuda a establecer la cantidad de luz que necesita la cámara para realizar una fotografía, y el tiempo de exposición, durante el cual el obturador se abre y deja que los fotones lleguen al sensor. Con la configuración descrita en este telescopio, la luz recorre una distancia focal de

2.948,9 mm (milímetros), con una anchura del pixel de 10,6 μm (micrómetros), cubriendo así un campo de visión de 52 x 39 arcmin (arcominutos) (Figura 1).

2. Adquisición de los datos

Este proyecto se planificó durante el mes de agosto de 2023, y los meses de junio y julio de 2024, para la observación de la nebulosa de la Hélice conocida como NGC-7293 o “El ojo de Dios”. Esta nebulosa se ubica en la constelación de Acuario, aproximadamente a 680 ly (años luz) de distancia de la Tierra. Las coordenadas J2000.0 empleadas para su observación fueron las siguientes: RA = 22 h 29 m 38.55 s y Dec = -20° 50' 13.6''. Es decir, se encuentra a 22 h 29 m 38.55 s del punto de Aries, y al sur del ecuador celeste, justamente a 20° 50' 13.6''.

Es importante destacar que la ascensión recta (RA), mide el ángulo formado entre el meridiano de Aries y el meridiano de la estrella, la cual se intersecta con el ecuador celeste. La declinación (Dec), es la altura de la estrella a observar, es decir, el ángulo formado entre el ecuador celeste a la estrella, a lo largo del meridiano de la estrella. El ángulo horario (AH), es el arco del ecuador celeste contado desde el punto de intersección del ecuador con el meridiano del observador hasta el meridiano del astro, en sentido horario. El tiempo sidéreo local (TSL), es el arco del ecuador contado desde el punto de intersección del ecuador con el meridiano del punto de Aries y el meridiano del observador (Howell, 2006; Motz y Duveen, 1977). De manera que para posicionar el telescopio en la dirección en donde se encuentra la nebulosa de la Hélice, se debe primeramente estar seguro de que las coordenadas que se le indican al telescopio sean las correctas, por ello, se tomarán como referencia las siguientes ecuaciones: (1)

$$AH = TSL + RA \quad (1)$$

Si $AH = 0$ entonces, $TSL^{\circ}RA = 0$, El astro está sobre el meridiano del observador.

Si $AH < 0$ entonces, $TSL^{\circ}RA < 0$, El astro no ha pasado por el meridiano del observador.

Si $AH > 0$ entonces, $TSL^{\circ}RA > 0$, El astro ya pasó por el meridiano del observador.

Donde, RA es la ascensión recta, TSL el tiempo sideral local, y AH el ángulo horario.

Para la toma de datos, se calcula siempre que el AH sea inferior a 3.5 horas, con esta condición, se asegura que el campo de estudio sea observado no antes de 3.5 horas de que el astro pase por el meridiano del observador, y no después de 3.5 horas de que el astro haya pasado por el meridiano del observador. Aplicando esta técnica, se minimizan los efectos de la atmósfera terrestre y se obtienen imágenes más claras y precisas.

Cuando un astro a observar está cerca del meridiano del observador, la luz atraviesa una menor cantidad de atmósfera, reduciendo así la distorsión y el desenfoque, el cual es causado

por la turbulencia atmosférica. Por otra parte, la distorsión de la luz es menor, mejorando la nitidez y el contraste de las imágenes, lo cual favorece enormemente la astrofotografía.

De esta manera, la observación de la nebulosa de la Hélice se planifica tomando en cuenta la ecuación (1) y la ubicación geográfica. Como las coordenadas están en la época J2000.0 se realiza el cálculo para precesarlas a través de un código en Python que se desarrolló en el CIDA por la Dra. Navas y el Dr. Abad, con este código se cambiaron las coordenadas RA, Dec del campo dadas para la época del J2000.0, a coordenadas RA, Dec del mismo campo, para la época J2023 Agosto y J2024 junio, julio respectivamente, tal como se puede ver en la Tabla 1. Resultando así las coordenadas RA, Dec ya precesadas, las cuales posteriormente serán empleadas para dirigir el telescopio en la toma de los datos. Con la ecuación (1) se planifica la hora local de observación, buscando observar el campo 3.5 h antes de que pase por el meridiano, y no observarlo posterior a 3.5 h del meridiano. Este tipo de trabajo no es evidente, ya que las condiciones atmosféricas varían mucho de un momento a otro, en una misma noche, interrumpiendo así, la adquisición continua de un volumen importante de datos para realizar la astrofotografía deseada.

De manera que, esta tarea llevó aproximadamente 3 meses (agosto 2023, junio y julio 2024), hasta que se logró adquirir un número de imágenes de buena calidad para el éxito de este proyecto (Tabla 1). Estas imágenes se tomaron con un tiempo de exposición de 120 s y con un ISO de 1600. Pero estos valores deben ser ajustados respecto al objeto astronómico a fotografiar. En caso de que el objeto a fotografiar sea muy débil y esté poco iluminado, será necesario aumentar el tiempo de exposición. Sin embargo, también es posible aumentar la ganancia de la cámara ISO y así reducir el tiempo de exposición, pero al hacer este tipo de ajustes, se reduce el rango dinámico. Lo recomendable es hacer las pruebas respectivas variando el tiempo de exposición y el ISO para un determinado objeto astronómico a fotografiar.

Tabla 1: Meses planificados para la observación del campo de la nebulosa de la Hélice. Rango de observación cumpliendo la ecuación (1). Coordenadas RA, Dec procesadas para los meses de observación con el código propuesto por la Dra. Navas y el Dr. Abad. Número de imágenes obtenidas con éxito durante los meses trabajados.

Meses de observación	Rango de hora para la observación	Coordenadas procesadas	Número de imágenes obtenidas
Agosto 2023	10:30 pm – 4:30 am	22:30:56,344 - 20:42:52,68	8 imágenes
Junio 2024	2:30 am – 6 am	22:30:58,958 -20:42:37,84	12 imágenes
Julio 2024	00:30 am – 5:30 am	22:30:59,284 - 20:42:35,98	31 imágenes

Fuente: Elaboración propia (2024).

3. Metodología usada para la reducción, apilamiento y el tratamiento de los datos

Las imágenes astronómicas no son las únicas a ser tomadas durante una noche de observación, puesto que, se requiere la toma de las imágenes de calibración. Las imágenes de calibración son esenciales en la astrofotografía, porque ayudan a mejorar la calidad final de las imágenes astronómicas al corregir diversas imperfecciones y ruidos que se introducen durante su captura. Las imágenes de calibración no muestran objetos astronómicos reales, sino muestran información sobre el rendimiento y las características del equipo de observación. Hay tres tipos principales de imágenes de calibración: bias, dark y flat. Cada uno de ellos corrige un aspecto específico en la imagen de luz (AstroBasics, 2024). Empleando las imágenes de calibración se puede aumentar la señal-ruido, eliminando el ruido electrónico inherente al sensor de la cámara (imágenes bias), eliminando la corriente oscura, el ruido térmico, los píxeles calientes o fríos (imágenes darks) y eliminando las variaciones de iluminación y el viñeteo causados por el sistema óptico y el polvo existente en el sensor (imágenes Flats), (Minoia, 2021).

Es importante destacar que, para aplicar efectivamente estas imágenes de calibración durante el proceso de corrección de las imágenes científicas, es necesario crear “imágenes maestras”. Las imágenes maestras son el resultado de promediar una serie de imágenes de calibración del mismo tipo, proporcionando así una representación más precisa de las características de las imágenes de calibración. De manera que, para eliminar todas estas posibles imperfecciones en las imágenes se calcularon los bias, darks y flats maestros a partir de promediar 10 imágenes, respectivamente, tal como se explica en Mejía y Navas (2024). Calculadas ya las imágenes maestras de calibración: bias maestro, dark maestro y flat maestro, se procede a aplicarlas a cada una de las 51 imágenes astronómicas de la nebulosa de la Hélice utilizando la siguiente ecuación matemática (2), donde a la imagen astronómica se le resta el dark maestro, con el fin de eliminar la corriente oscura y el ruido electrónico generado por el CCD (Craig y Chambers, 2023). Seguidamente, el resultado de esa resta, se divide por la diferencia normalizada entre el flat maestro y el bias maestro.

$$\text{Imagen astronómica calibrada} = \frac{\text{imagen astronómica calibrada} - \text{dark maestro}}{\text{normalizado}(\text{flat maestro} - \text{bias maestro})} \quad (2)$$

Las imágenes resultante de la nebulosa de la Hélice antes y después de aplicar la ecuación (2) puede verse en la Figura 2. En la imagen calibrada se observa una mayor uniformidad, menor ruido de fondo y una reducción de los píxeles pequeños blancos, lo que mejora la definición de los círculos blancos que representan las estrellas. Gracias a estas calibraciones, las partículas de polvo cósmico en la nebulosa de la Hélice que dispersan y absorben la luz, tienen mayor contraste con el fondo del cielo, contribuyendo así, a su apariencia compleja y colorida permitiendo detallar mejor la estructura de los dos discos gaseosos.



Figura 2: (Izquierda) nebulosa de la Hélice sin calibración. (Derecha) nebulosa de la Hélice calibrada en RGB.

Fuente: Sánchez (2024)

3.1 Alineación con tres estrellas

Durante la captura de las imágenes astronómicas, pueden ocurrir pequeños movimientos del telescopio debido a errores mecánicos o atmosféricos. Al usar varias estrellas para la alineación, se pueden corregir estos errores y asegurar que todas las imágenes estén perfectamente alineadas, de manera que, al apilar múltiples imágenes, se mejora la relación señal-ruido (SNR). Esto significa que el ruido aleatorio se reduce y los detalles de los objetos celestes se vuelven más claros y definidos, que es justamente lo que se busca con la astrofotografía. En este caso, como se trabajó con imágenes tomadas en diferentes meses y/o días, se busca la manera de alinear los campos ubicando estrellas de referencia. Para simplificar este proceso, se empleó la herramienta denominada Región del Cielo Parcial, (*Sky Region Partial*) del software *Sequator*, la cual permite crear una máscara sobre la sección del cielo.

Mediante el uso del ratón, es posible ajustar con precisión los contornos de la máscara, facilitando así la selección de las áreas específicas que se desean destacar. Además, la rueda de desplazamiento del ratón brinda la opción de modificar el tamaño del pincel según sea necesario, permitiendo determinar si se desea incluir 3 estrellas o más para alinear. Para este trabajo se usaron tres (3) estrellas las cuales están identificadas en color verde en la Figura 3. Esta funcionalidad resulta especialmente útil para delinejar las estrellas y otros elementos en la imagen astronómica. Además, ofrece un control detallado durante el proceso de selección, lo que optimiza significativamente los resultados finales al permitir una personalización precisa de la máscara, el usuario puede garantizar que cada aspecto de la imagen cumpla con sus expectativas y requisitos específicos, mejorando así la calidad general del trabajo realizado.

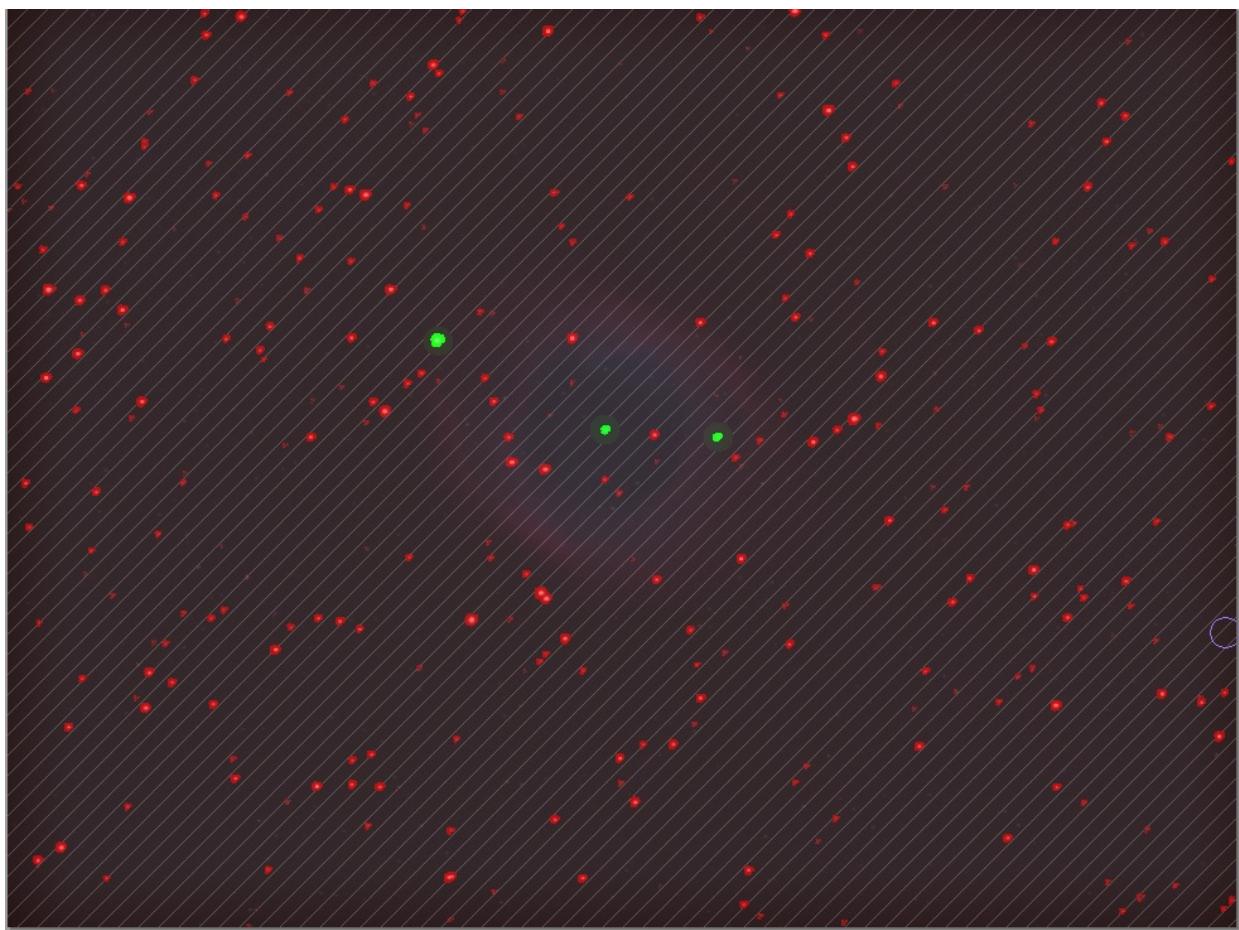


Figura 3: Alineación con 3 estrellas aplicada a las 51 imágenes de la nebulosa de la Hélice a través del Software *Sequator*. Las estrellas usadas en la alineación se muestran en la imagen en color verde.

Fuente: Sánchez (2024)

3.2 Apilamiento con 51 imágenes

El fundamento teórico del apilamiento radica en que cada imagen individual puede presentar variaciones inherentes, influenciadas por factores como la turbulencia atmosférica, características del equipo óptico y el desplazamiento relativo de cuerpos celestes. Al fusionar estas imágenes, se mitigan las imperfecciones introducidas por estos elementos perturbadores, permitiendo resaltar detalles sutiles.

Utilizando el software *Sequator*, aplicamos la técnica de apilamiento. Este método consiste en la superposición o integración de múltiples capturas fotográficas realizadas durante varias sesiones de observación, lo que incrementa la relación señal-ruido y produce una imagen final con mayor claridad y resolución. La implementación de esta técnica abre nuevas posibilidades para

el estudio de fenómenos transitorios y estructuras galácticas, proporcionando datos esenciales para el avance de la astronomía moderna. Aplicando este método a las imágenes de la nebulosa de la Hélice (Figura 4) se observa que los objetos puntuales de color blanco son más imponentes, y de mayor tamaño que los observados en la Figura 2. Además, se observa una imagen más limpia y con menos granulado pudiéndose eliminar algunos píxeles calientes, todo esto es gracias a que el apilamiento de imágenes incrementa la señal ruido, resaltando detalles tenues que, de otra manera, serían difíciles de captar en una sola exposición.



Figura 4: Imagen apilada de NGC-7293 con 51 imágenes calibradas y alineadas.
Fuente: Sánchez (2024)

Como se puede apreciar en la Figura 4, la nebulosa de la Hélice aún no está lista para ser utilizada como herramienta divulgativa en astronomía, ya que presenta detalles y un marco más claro debido a la contaminación lumínica y viñeteo, lo que la hace inapropiada para su publicación. Por esta razón, se empleó el software *PixInsight* y la herramienta *DynamicCrop* para eliminar el marco indeseado. Posteriormente, se realizó la fotometría de los colores (*Photometric Color Calibration, PCC*). La referencia blanca predeterminada se basa en los espectros promedio de las galaxias (*Sb, Sc y Sd*), el promedio de estas galaxias proporciona una fuente de todo el rango de tipos y poblaciones spectrales estelares, por lo que puede considerarse como la mejor referencia blanca imparcial (Pleiades Astrophoto S.L, 2024). En

donde *Sb* son galaxias espirales barradas con un núcleo prominente y de brazos más ajustados, *Sc* son galaxias con un núcleo menos destacado y brazos mas abiertos, y *Sd* son galaxias con un núcleo débil, brazos muy extendidos y ricas en materia oscura.

La función de balance de blancos (*white balance funtions*) consiste en calcular los puntos blancos en una imagen astronómica, tomando como referencia el catalogo de estrellas *Photometric All-Sky Survey* (APASS). De esta manera, se asegura que las áreas brillantes, como las estrellas y otros objetos celestes en la nebulosa de la Hélice se reproduzcan con precisión, evitando alteraciones en la percepción del color y mejorando la calidad de los datos obtenidos, permitiendo así que los demás colores, como los discos de gas y polvo se vean más naturales (Figura 5, derecha).

El software *PixInsight* ofrece además herramientas excepcionales para extraer las máscaras que se desean trabajar de forma individual. En la Figura 5 (izquierda), se presenta la máscara de luminancia extraída de la nebulosa de la Hélice. Esta herramienta facilita el trabajo con las partes más sensibles en cuanto a detalles, así como la aplicación de técnicas de reducción de ruido y difuminación de los halos en las estrellas. La luminancia facilita la captura del brillo e intensidad de los objetos celestes, con el uso de este canal se pueden generar imágenes de alto rango dinámico que destacan detalles sutiles como el polvo oscuro en el espacio.

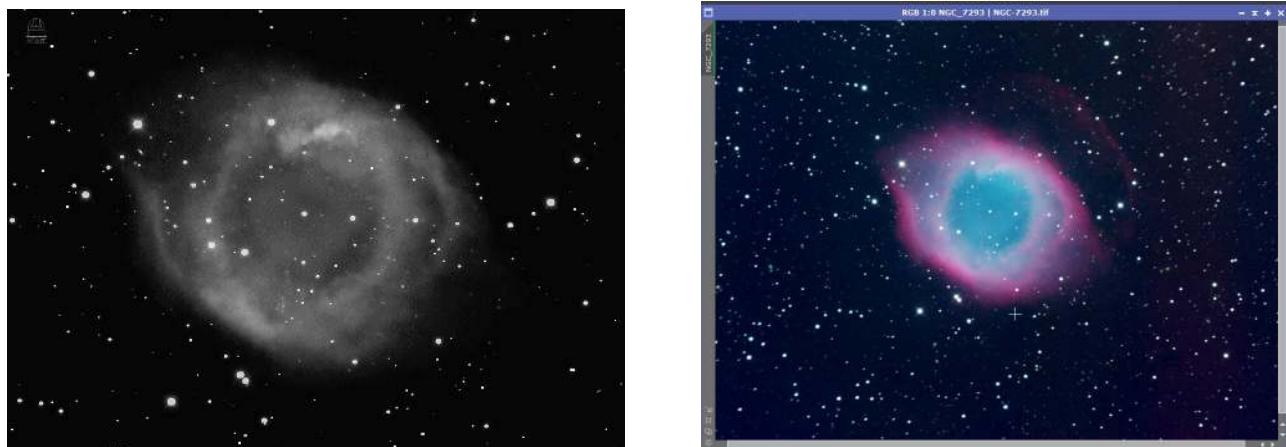


Figura 5: (Derecha) Imagen resultante al aplicarle la herramienta DynamicCrop y la fotometría de color con el software *PixInsight*. (Izquierda) Luminance de la nebulosa NGC-7293.
Fuente: Sánchez (2024)

Para lograr representaciones precisas del brillo, se emplean filtros de luminancia y se pueden sintetizar imágenes a partir de datos RGB. Al crear máscaras a partir de imágenes RGB, es más efectivo utilizar la imagen original, lo que permite aprovechar la información sobre las áreas claras y oscuras. Al ajustar el componente luminoso, se generan máscaras que realzan las diferencias en brillo, y herramientas como *PixInsight* permiten crear imágenes

monocromáticas que reflejan esta luminancia, mejorando el contraste y la visibilidad de las regiones más débiles.

En la fase final de este trabajo, se puede ver una imagen astronómica más llamativa, donde los objetos celestes se ven puntuales, las estrellas no tienen halo y el disco de gas y polvo del centro de la imagen tiene mayor contraste respecto al fondo y a las estrellas. De manera que, al terminar el tratamiento de las imágenes astronómicas se le puede dar un toque artístico final a través del software *RawTherapee*. Este programa se destaca por su capacidad para trabajar de manera precisa con los tonos de color, lo que permite intensificarlos y realzarlos para lograr una representación visual más impactante del campo observado. Sus potentes herramientas de edición facilitan ajustes en parámetros como la saturación, el contraste y la luminosidad. Como resultado, se logra una mejora significativa en la calidad técnica de las imágenes, así como un estético distintivo que atrae la atención del espectador y resalta los detalles más sutiles de la nebulosa de la Hélice, tal como se puede apreciar en la Figura 6.

La fotografía de la nebulosa de la Hélice es un buen ejemplo de las mejoras que pueden introducirse en una imagen original, y esto es extensivo a la inmensa mayoría de los objetos celestes. No se trata únicamente de aportar algún nuevo detalle, sino que el tratamiento de las imágenes nos ofrezca la posibilidad de lograr una visión inédita de un astro conocido, eliminando los aspectos ya observados y revelando aquellos que no están presentes en una fotografía normal.



Figura 6: Astrofotografía de la nebulosa de la Hélice.
Fuente: Sánchez (2024)

Las imágenes empleadas en este trabajo y la astrofotografía resultante son del dominio público, bajo la administración del CIDA, la cual tiene el derecho de divulgarlas y usarlas en redes sociales, páginas web, publicidad, clases, etc., conservando sólo los derechos morales a los responsables del proyecto, de las observaciones y de la astrofotografía final. De manera que, si algún fotógrafo profesional, astrofotógrafo, científico, o persona en general desea solicitar tiempo de observación con los telescopios del CIDA, lo puede solicitar, pero el producto resultante será del dominio público, bajo la administración del CIDA, y tendrá todos los derechos para emplearlos como herramientas divulgativas (Navas, 2023).

Conclusiones

La adquisición de las coordenadas RA = 22h 30m 56.6s, y DEC = -20° 47' 29.^{en} J2000.0 de la nebulosa de la Hélice se tomó del New General Catalogue of Nebulae and Clusters of Stars. Es fundamental que quien desee hacer astrofotografía de algún campo astronómico y cuyas coordenadas están en J2000.0 estas sean precesadas a las coordenadas del año y del mes de observación. Al ajustar las coordenadas al año y mes de observación, se asegura que las posiciones de los objetos sean precisas y actualizadas, lo cual es esencial para la observación, puesto que la precesión es un cambio lento en la orientación del eje de rotación de la Tierra, lo cual provoca que las coordenadas celestes de los objetos cambien con el tiempo. En este trabajo se realizaron observaciones durante tres meses, y debido a las condiciones del cielo se logró trabajar sólo con 51 imágenes. Lo cual significó un buen volumen de datos para que al momento de apilar, se incremente la señal ruido y se puedan tener más detalles de las estrellas y de partículas de gas y polvo existente en el campo.

Los 51 datos de la nebulosa de la Hélice fueron tomados a través del telescopio Cámara Schmidt, en los filtros RGB. A través de pruebas realizadas previas al trabajo, se determinó que para este campo, el tiempo óptimo de exposición para la obtención de fotones en el sensor debía ser de 120 s. y con un ISO de 1600 para evitar la saturación del sensor, pero estos valores pueden variar de acuerdo a la galaxia o nebulosa a fotografiar. En general, el tiempo de exposición va a depender del objeto astronómico a fotografiar, ya que si es débil y está poco iluminado será necesario aumentar el tiempo de exposición. Sin embargo, también podemos aumentar la ganancia de la cámara ISO y así reducir el tiempo de exposición, pero al hacer este tipo de ajustes, estaríamos reduciendo el rango dinámico. Por otra parte, gracias a la implementación de técnicas avanzadas, de softwares actualizados para el tratamiento de imágenes astronómicas y de la metodología propuesta en este trabajo, se pueden lograr resultados interesantes al fotografiar nuestro universo con los telescopios.

En este trabajo se presentó una metodología, que al aplicarla se logró explotar en detalles y precisión la rica estructura de la nebulosa de la Hélice, observándose como esta hermosa fotografía se asemeja a un ojo gigante, de allí su apodo “El Ojo de Dios”. Es importante destacar, que esta nebulosa es el resultado de una estrella similar al Sol de baja masa, que

ha expulsado sus capas exteriores al final de su vida, ya que se encuentra en la etapa final de su evolución, dejando un núcleo caliente que ilumina el gas circundante, a medida que se transforma en una enana blanca.

La utilización de imágenes capturadas por telescopios venezolanos representa un avance significativo en la consolidación de una identidad astronómica nacional. La posición privilegiada de Venezuela, que cuenta con la única Cámara Schmidt operativa y funcional cercana al ecuador, refuerza su capacidad para realizar ciencia de calidad. Al emplear imágenes con un sello venezolano, se fomenta el orgullo local y se promueve la independencia en el estudio y difusión de la astronomía. Las observaciones astronómicas en nuestro país tienen un impacto educativo y científico significativo para nuestros jóvenes, así como para nuestros semilleros científicos y el público en general.

Este proyecto, fundamentado en las metodologías propuestas en este trabajo, en conjunto con el Catálogo Messier y el Nuevo Catálogo General, facilita la recolección de datos valiosos sobre diversos objetos celestes, además de abrir oportunidades para el desarrollo del talento local en astrofotografía.

Este tipo de resultados pueden ser empleados a través de las diversas redes sociales, para la divulgación de la astronomía en Venezuela. La astrofotografía es una herramienta poderosa para la divulgación, ya que al capturar y mostrar los resultados de imágenes impresionantes del cielo nocturno no solo fascina a los entusiastas, sino que despierta el interés del público en general. En el cielo nocturno podemos visualizar millones de galaxias, nebulosas, asteroides, cometas, satélites y planetas, permitiéndole a las personas ver el universo de una manera que no es posible a simple vista. Además estas imágenes pueden ser utilizadas en aulas, museos y plataformas en línea para enseñar sobre la astronomía y la ciencia en general, pudiendo llegar a lugares remotos, donde la población no tiene acceso a telescopios. Ver las maravillas del Cosmos puede inspirar a las personas a aprender sobre el espacio y querer participar en realizar observaciones astronómicas para fines científicos o divulgativos.

Referencias

- Abad, A., Docobo, J., y Elipe, A. (2002). *Curso de Astronomía* (1era. ed.) Prensas Universitarias de Zaragoza.
- Ábalos, F., y Ábalos, J. (2022). *Fotografía Científica y Astronomía. La tecnología aplicada al conocimiento del Universo*. Monográfico: Metode Science Studies Journal. Universitat de Valéncia.
- AstroBasics. (2024). *Bias, Flats, Darks, Flats*. AstroBasics. AstroBasics. <https://astrobasics.de/en/basics/bias-flats-darks-darkflats/>
- Aupí, V. (1999). *Fotografiar el cielo*, (1era. ed.) Editorial Planeta, S. A.

- Cardozo, L. (2023). *Astrofotografía, una ventana al universo desde la enseñanza de la Óptica* [Tesis de grado Licenciatura en Física]. Universidad Pedagógica Nacional. <http://repositorio.pedagogica.edu.co/handle/20.500.12209/18594>
- Craig, M., y Chambers, L. (2023). *CCD Data Reduction Guide*. Astropy. <https://www.astropy.org/ccd-reduction-and-photometry-guide/v/dev/notebooks/01-01-astronomical-CCD-image-components.html>
- Della, F. (2024). Astronomical test of a medium format digital camera on a large Schmidt telescope. *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica*, 60(1), 121-124. https://www.astroscu.unam.mx/rmaa/RMxAA..60-1/PDF/RMxAA..60-1_fdellaprugna-IX.pdf
- Duarte, J., Gargiulo, C., y Moreno, M. (2011). Infraestructura escolar y aprendizajes en la educación básica latinoamericana: Un análisis a partir del SERCE. *Banxo Interamericano de Desarrollo*. <https://doi.org/10.18235/0010286>
- Howell, S. (2006). *Handbook of CCD Astronomy*. (2nd ed.) Cambridge University Press.
- Marx, S., y Pfau, W. (1992). *Astrofotografía con el telescopio Schmidt*. Cambridge University Press.
- Mejía, J., y Navas, G. (2024). Python como herramienta para el análisis de las imágenes astronómicas del Telescopio Reflector. *Conocimiento Libre Y Licenciamiento (CLIC)*, (29), 23-49. <https://convite.cenditel.gob.ve/publicaciones/revistaclic/article/view/1260>
- Minoia, A. (2021). *Calibration Frames in Astrophotography*. Night Sky Pix. <https://nightskypix.com/calibration-frames/>
- Motz, L., y Duveen, A. (1977). *Essentials of astronomy*. Second edition. Columbia University Press.
- Navas, G. (2023). Implicaciones de la propiedad intelectual en investigación astronómica venezolana, la ética y el reconocimiento de derechos morales en los descubrimientos. *Propiedad Intelectual*, 23, 59-84. <https://doi.org/10.53766/PI/2022.23.03>
- Navas, G., y Rojas, A. (2024). El espacio ultraterrestre y la experiencia de Venezuela: Revisión de tópicos legales. *Conocimiento Libre Y Licenciamiento (CLIC)*, (29), 2-22. <https://convite.cenditel.gob.ve/publicaciones/revistaclic/article/view/1259>
- Neira, F. (2023). *Cómo elegir cámara para astrofotografía*. Más allá del azul pálido. <https://www.fernandoneirapaz.com/como-elegir-camara-para-astrofotografia/>
- Pleiades Astrophoto S.L. (2024). *PixInsight software*. PixInsight software. <https://pixinsight.com/>
- The RawTherapee team. (2024). *RawTherapee software*. RawTherapee Team. <https://rawtherapee.com/>
- Wu, Y. (2024). *Sequator Software*. Sequator Software. <https://sites.google.com/view/sequator/manual?authuser=0>