



# SIDUS

REVISTA DE DIVULGACIÓN ASTRONÓMICA

AÑO 7 - NÚMERO 13  
DICIEMBRE 2023

**COMETAS,  
VIAJEROS DEL  
ESPACIO**

**EXPLORANDO  
LA LUNA**

**SAB6  
UNA BURBUJA EN  
EL ESPACIO**

**M42: LA NEBULOSA  
DE ORIÓN**



---

# SUMARIO

---

REVISTA DE DIVULGACIÓN ASTRONÓMICA

# 13

*Sidus*, revista de divulgación de astronomía y astrofísica, es una publicación semestral editada en el Instituto de Astronomía y Meteorología de la Universidad de Guadalajara, Av. Ignacio L. Vallarta 2602, Col. Arcos Vallarta, Guadalajara, Jalisco, México, C.P. 44130, Tel. 33 3615 9829, [www.iam.cucei.udg.mx](http://www.iam.cucei.udg.mx).

**Responsable:** Gerardo Ramos Larios. **Editores:** Gabriel Marcelo Rubio González, Edgar Iván Santamaría Domínguez. **Diseño y Maquetación:** Edgar Iván Santamaría Domínguez.

Se permite la reproducción total y parcial de los contenidos de la revista para uso personal y no lucrativo, citando la fuente. La redacción no se hace responsable de las opiniones vertidas por los autores y colaboradores.

**Contacto:**  
[revistasidus@gmail.com](mailto:revistasidus@gmail.com)

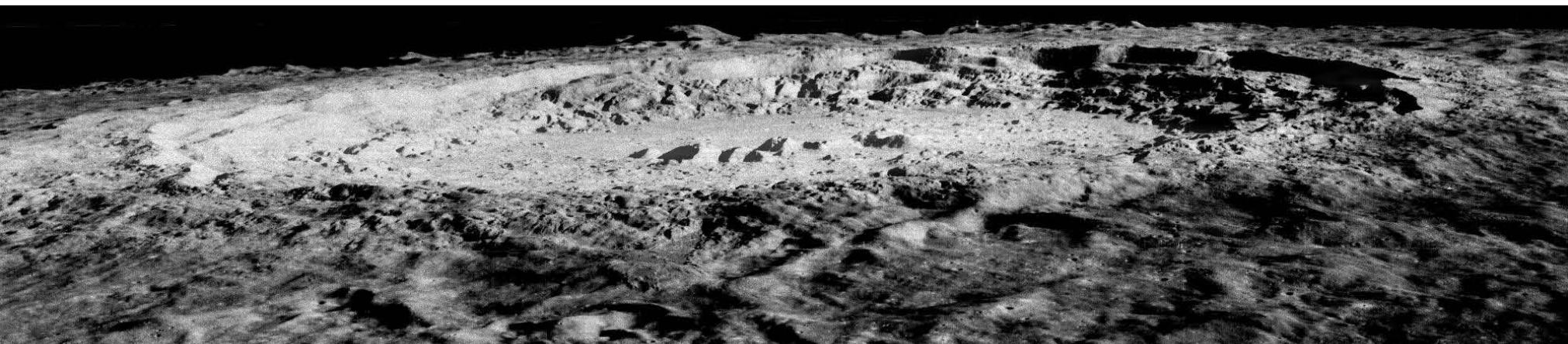
**01** COMETAS, VIAJEROS DEL ESPACIO  
DR. GERARDO RAMOS / CUCEI-UDG

**M42: UNA MIRADA AL NACIMIENTO Y EVOLUCIÓN DE LAS ESTRELLAS** **04**  
DR. ALEJANDRO MÁRQUEZ & DR. GERARDO RAMOS  
CUCEI-UDG

**09** EXPLORANDO LA LUNA  
M CS. STEPHANY ARELLANO / CUCEI-UDG

**SAB 6, UNA BURBUJA EN EL ESPACIO** **14**  
KARINA HERNÁNDEZ / CUCEI-UDG

**19** IMÁGENES ASTRONÓMICAS  
APOD



# Cometas, viajeros del espacio

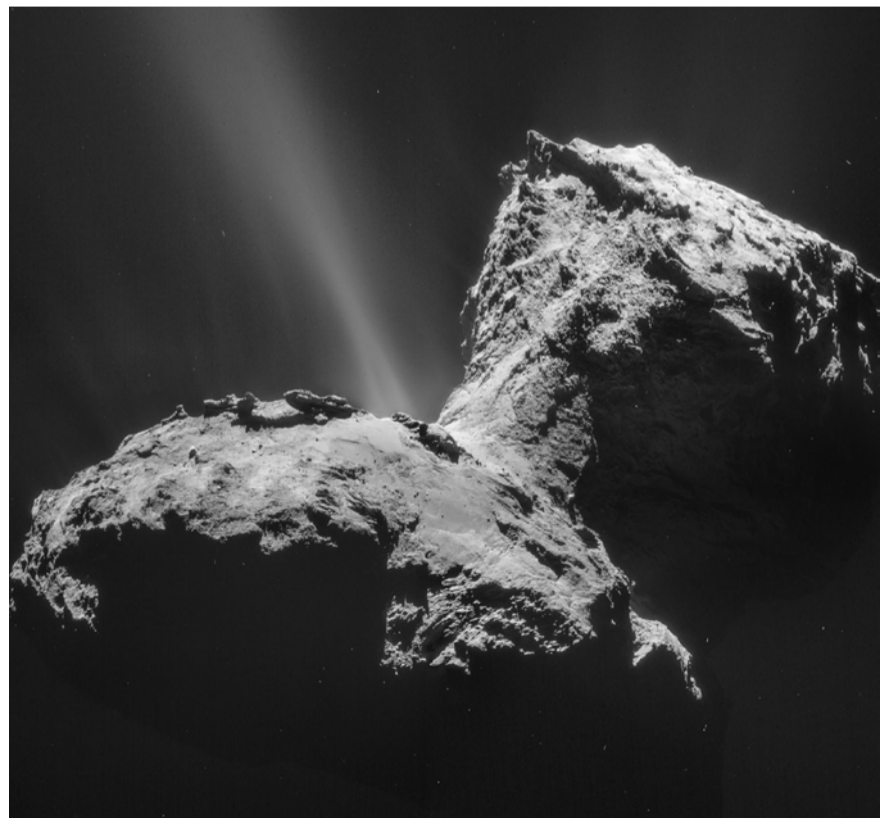
| Dr. Gerardo Ramos Larios / CUCEI-UDG

Desde la antigüedad, los cuerpos celestes conocidos como cometas han fascinado a la humanidad, ya sea por su repentina aparición o su espectacularidad en los cielos nocturnos. A lo largo de la historia, se han considerado presagios de eventos importantes, desde la muerte de reyes hasta catástrofes naturales. Los chinos y los griegos registraron observaciones de cometas en sus escritos antiguos. Los antiguos egipcios creían que los cometas eran dioses en sí mismos, mientras que los romanos los asociaban con la llegada de un nuevo gobernante. Durante la edad media, los cometas se vieron como señales divinas y se relacionaban con eventos como la guerra y las pestes.

No fue sino hasta la era moderna cuando se comenzó a comprender la verdadera naturaleza de los cometas. En el siglo XVII, con las primeras observaciones detalladas realizadas por el astrónomo alemán Johannes Kepler en 1607, el astrónomo británico Edmund Halley propuso que los cometas eran cuerpos celestes que se movían en órbitas elípticas alrededor del Sol. Halley observó que un cometa había sido visto en 1531, 1607 y 1682, y predijo que regresaría en 1758. Su predicción fue acertada, y fue así que el cometa fue llamado en su honor "Cometa Halley". Ahora sabemos que los cometas son simplemente objetos que se originan en el espacio exterior, que actualmente son estudiados de forma científica e incluso, ya se han explorado algunos mediante sondas espaciales. A la fecha, se han descubierto miles de cometas y se han desarrollado técnicas para estudiar su órbita, su composición química y su comportamiento en el espacio.



Cometa Leonard (C2021A1) obtenida con un telescopio de 8 pulgadas y una cámara QHY600 el 24 de diciembre de 2021. Crédito Michael Jager y Lukas Demetz.



Cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko 31 de enero 2015. Crédito: ESA/Rosetta/NAVCAM – CC BY-SA IGO 3.0

### ¿Qué son?

Los cometas se pueden describir como pequeños cuerpos helados que orbitan alrededor del Sol. Su nombre proviene del latín cometa y el griego kometes, que significa cabellera. Se caracterizan por su movimiento errático a través del cielo nocturno y poseer una extensa cola luminosa. Están formados por una combinación de hielos, tales como agua, bióxido de carbono, amoníaco y metano, mezclado con polvo; materiales que se originaron desde el tiempo cuando nuestro sistema solar se formó y pueden tener un núcleo central sólido de solo algunos kilómetros de diámetro y una atmósfera gaseosa llamada coma. Cuando uno de estos cometas se acerca al Sol, el hielo y el polvo se calientan y comienzan a sublimarse (es decir, a pasar del estado sólido al estado gaseoso) debido al calor del Sol. El gas y el polvo forman una atmósfera alrededor del núcleo del cometa, llamada coma, y una cola que se extiende hacia el espacio, apuntando al lado contrario del Sol al ser empujada por la presión del viento solar. Cuando esto ocurre, la cola del cometa puede formarse de dos partes: la cola de polvo (Tipo II), que está compuesta por partículas de polvo muy finas, y la cola de gas (Tipo I), que está compuesta por moléculas de gas ionizadas. Cada una de estas caudas o colas presenta un color característico. El color azul de la cauda Tipo I (ion) es debida al monóxido de carbono CO<sup>+</sup> que emite a longitudes de onda de 4270, 4560, 4700 y 5060 angstroms y puede llegar a alcanzar tamaños del rango de millones de kilómetros. En cambio, la cola de tono amarillo Tipo II (polvo) es iluminada por la luz del Sol que es reflejada por granos de polvo cometarios. Cuando la Tierra pasa cerca de este rastro de polvo, su material brilla al penetrar la atmósfera por la fricción, iluminando el cielo con lo que conocemos como lluvia de estrellas. Muchas lluvias de estrellas son vistas en fechas ya establecidas, debido a que es cuando se cruza con las órbitas de algunos cometas.

### ¿De dónde provienen?

La primera idea sobre la naturaleza de los cometas fue presentada por Aristóteles, quien pensaba que eran fenómenos atmosféricos. Este concepto fue desafiado posteriormente por el científico islámico

Alhazen en el siglo XI, quien creía que los cometas eran objetos celestes que viajaban por el espacio.

La teoría moderna más aceptada del origen de los cometas fue propuesta gracias al descubrimiento de Edmund Halley, estableciéndose que los cometas se originan en las regiones más externas del sistema solar, conocidas como el Cinturón de Kuiper y en la Nube de Oort. Esta nube, que fue propuesta por el astrónomo holandés Jan Oort en 1950, contiene miles de millones de cuerpos helados, incluyendo los cometas. El cinturón de Kuiper es un anillo de cuerpos helados situado fuera de la órbita de Neptuno, donde Plutón es el elemento más famoso de este cinturón. Cuando un cometa es perturbado por contacto o fenómenos gravitacionales, puede ser expulsado de la nube de Oort y entrar en el sistema solar interior.

Se cree que los cometas son restos de la formación del sistema solar. Durante este proceso, se formaron los planetas a partir de una nube de gas y polvo que rodeaba al joven Sol. Los cometas se habrían formado en los bordes exteriores de esta nube, donde las condiciones eran lo suficientemente frías para que el agua y otros materiales volátiles se congelaran.

Esta teoría se confirmó por primera vez en 1986, cuando la sonda espacial Giotto de la Agencia Espacial Europea visitó el cometa Halley y descubrió que su composición era similar a la de los objetos del Cinturón de Kuiper. Además, se ha descubierto que algunos cometas tienen una composición similar a la de los asteroides, lo que sugiere que también podrían provenir del mismo cinturón de asteroides en los límites del sistema solar.

Los cometas se clasifican en tres categorías principales basadas en sus características orbitales: cometas periódicos (período corto), cometas no periódicos (período largo) y cometas interestelares. Los cometas periódicos se mueven en órbitas elípticas alrededor del Sol y tienen períodos orbitales de menos de 200 años. Los no periódicos carecen de órbitas definidas y son difíciles de predecir. Ambos posiblemente provenientes de la Nube de Oort y el Cinturón de Kuiper. Y los cometas interestelares no tienen origen conocido en el sistema solar y han sido captados en sus órbitas aleatorias. Fueron identificados por primera vez en 2017 con el cometa Oumuamua y en 2019 con el cometa Borisov.

## ■ COMETAS, VIAJEROS DEL ESPACIO



Izquierda, Cometa NEOWISE (C2020F3) obtenida el 19 de julio de 2020. Crédito Zixuan Li.  
Derecha, Representación artística del cometa Oumuamua. Crédito: ESO / M. Kornmesser

### Misiones Espaciales

Recientemente, la NASA y otras agencias espaciales han enviado misiones espaciales para explorar los cometas. Estas misiones han recopilado valiosa información sobre estos cuerpos celestes mediante sondas y vehículos robóticos, permitiendo estudiar su composición química, su estructura y su evolución.

En 1986, la misión espacial Giotto de la Agencia Espacial Europea sobrevoló el cometa Halley. La sonda pudo observar su núcleo, su coma y su cola y proporcionó las primeras imágenes cercanas de un cometa. En 2004, la misión Stardust, de la NASA, fue lanzada con el objetivo de recolectar muestras del cometa Wild 2. La sonda obtuvo imágenes detalladas del cometa, y luego regresó a la Tierra con muestras a bordo. En 2005, la sonda Deep Impact colisionó contra el cometa Tempel 1 en 2005 para analizar su interior.

Quizás la misión más importante a la fecha fue la sonda Rosetta, lanzada por la Agencia Espacial Europea. En 2014 llegó al cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko. La sonda, equipada con varias herramientas de medición y análisis, aterrizó y estudió la superficie del cometa, su composición y su interacción con la luz solar.

Sus principales hallazgos fueron el descubrimiento de vapor de agua en el cometa que es significativamente diferente del que se encuentra en la Tierra, la detección de nitrógeno molecular y oxígeno molecular por vez primera, la existencia de hielo de agua expuesto en su superficie, y el descubrimiento del aminoácido glicina (que se encuentra comúnmente en las proteínas) y el fósforo (un componente del ADN y las membranas celulares).

### Importancia de los cometas

La exploración espacial de los cometas ha sido crucial para comprender mejor estos cuerpos celestes y su papel en la formación del sistema solar. Hoy en día, hemos podido estudiar más a fondo la composición y características de los cometas. Estos cuerpos son importantes para comprender la formación y evolución del sistema solar. Se cree que los cometas son remanentes de la formación del sistema solar, y que contienen información sobre las condiciones y los procesos que tuvieron lugar en la época de su formación. Los cometas también pueden haber sido importantes para la evolución de la vida en la Tierra. Se cree que los cometas podrían haber traído agua y compuestos orgánicos a la Tierra temprana, lo que habría proporcionado los bloques de construcción necesarios para la vida.



Cometa C/2022 E3 (ZTF) durante su paso por la constelación Tauro y justo abajo a la izquierda el planeta Marte. La imagen fue obtenida en el Observatorio Astronómico de la Universidad de Guadalajara ([www.oarp.com.mx](http://www.oarp.com.mx)) en Guadalajara, Jalisco el 10 de febrero de 2023.

# LA NEBULOSA DE ORION: UNA MIRADA AL NACIMIENTO Y EVOLUCION DE LAS ESTRELLAS

Dr. Alejandro Márquez - Dr. Gerardo Ramos / CUCEI-UDG

A 1350 años luz de nosotros existe una región en el cielo donde se están formando estrellas. Es una nube de gas (principalmente hidrógeno) y polvo, que mide cerca de 25 años luz y contiene miles de estrellas “recién nacidas”, incluso estrellas en plena formación que están aún embebidas en sus discos protoplanetarios. Esta región de formación estelar es conocida como la Nebulosa de Orión y es observable a simple vista. La Nebulosa de Orión es parte de la Constelación del mismo nombre, la cual se encuentra en la zona

ecuatorial del cielo, y por ello es visible tanto desde el norte como desde el sur del planeta, durante los meses del invierno boreal y del verano austral. El rasgo más distintivo de esta constelación es el llamado Cinturón de Orión, siendo quizá la forma más fácilmente identificable del cielo, y es un poco al sur del cinturón donde “colgando” de él, se encuentra la llamada espada de orión, formada por tres objetos brillantes, y entre ellos, ocupando la posición central, se ubica la Nebulosa de Orión (Figura 1, panel izquierdo).

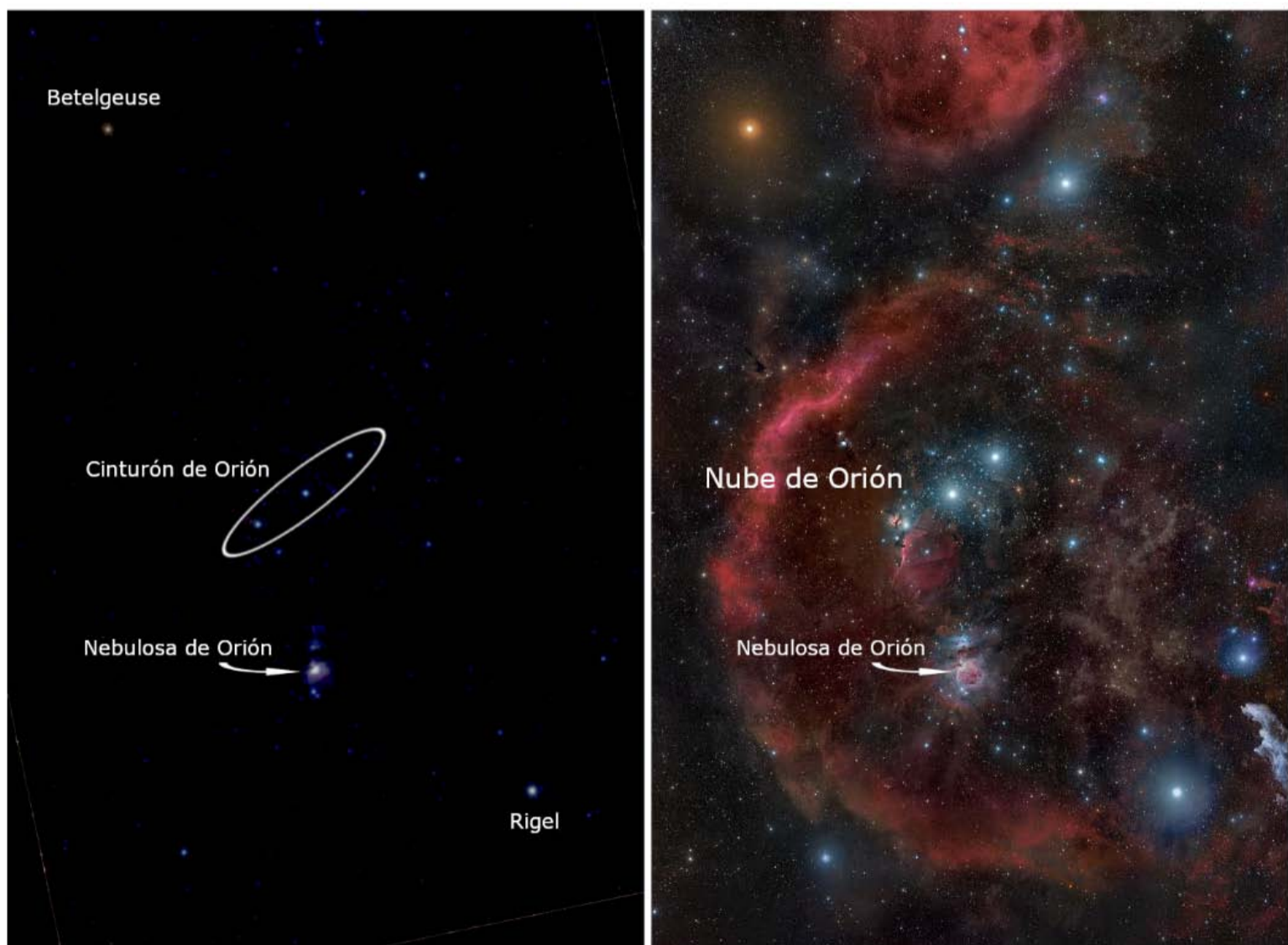


Figura 1. Dos imágenes de la Constelación de Orión, en el panel izquierdo podemos ver una imagen en luz visible donde apreciamos claramente las principales estrellas de esta constelación: Betelgeuse, Rigel, la triada Alnilam, Alnitak y Mintaka que forman el Cinturón de Orión y la alineación llamada la espada, la cual está formada por dos estrellas en sus extremos y en su centro la Nebulosa de Orión. Por otro lado en el panel derecho tenemos una imagen de la misma región realizada por Rogelio Andreo Bernal con filtros de banda ancha donde se observa la amplia formación del Complejo de Orión, del que la Nebulosa de Orión es una pequeña parte.

Pero aun cuando en una noche oscura podemos ver claramente la Nebulosa de Orión, ésta es en realidad sólo una pequeña fracción de una gigantesca, e invisible a simple vista, nube molecular llamada “Nube de Orión”, también conocida como Complejo de Orión (Figura 1, panel derecho). Esta nube que abarca prácticamente toda la constelación de Orión incluye a otras muchas regiones como la Nebulosa de la Cabeza de Caballo, la Nebulosa de Mairan, Barnard 33 y la Nebulosa de la Llama. La Nube de Orión mide aproximadamente 500 años luz de diámetro y es fascinante por su complejidad y riqueza de objetos, pero en esta ocasión nos limitaremos a tratar sólo una parte de ella, a la Nebulosa de Orión.

Cuando observamos directamente la Nebulosa de Orión con un telescopio pequeño podemos apreciar cuatro estrellas formando un Trapecio, y en torno a éstas, una tenue nubosidad que las rodea casi por completo (Figura 2, panel derecho). Pero una observación realizada con cámaras y telescopios profesionales en luz visible e infrarroja, empleando un mayor campo de visión y con tiempos de exposición largos, revela una gran riqueza de

colores verdes, rojos y azules, intercalados con tonos marrones por el polvo que inunda este objeto (Figura 2, panel izquierdo).

Históricamente la Nebulosa de Orión ha sido un objeto muy estudiado, pero fue hasta 1610 que Fabri de Peiresc hace referencia a este objeto no como una estrella sino como un cuerpo extendido. El uso del telescopio a lo largo del siglo XVII permitió descubrir una gran cantidad de objetos de tipo nebuloso, más o menos extendidos y con diversas características. Algunas de estas nebulosas eran claramente parte del fondo de las estrellas fijas mientras que otras eran objetos pasajeros, los llamados cometas. Cuando en el siglo XVIII se volvió toda una tendencia el estudio de los cometas se hizo necesario elaborar una lista de nebulosas fijas para evitar que los observadores las confundieran con cometas y fue así que Charles Messier publicó en 1774 su catálogo de objetos extendidos, donde la Nebulosa de Orión ocupó el lugar 42, por lo que a partir de entonces es conocida también como Messier 42, o simplemente M42.

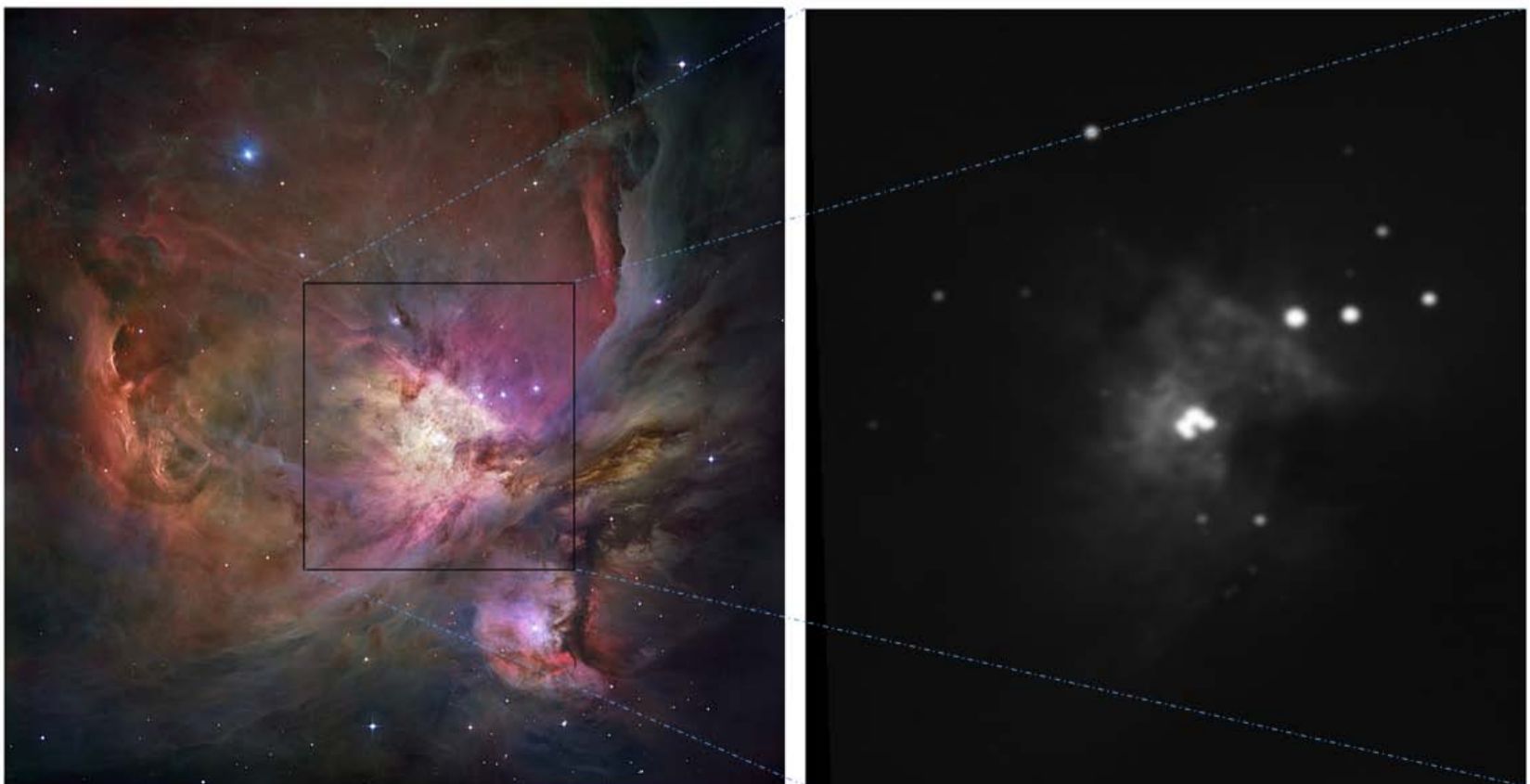


Figura 2. Dos vistas de la Nebulosa de Orión hechas con los extremos de la técnica. En el panel derecho tenemos una imagen de la región central de la nebulosa, el llamado Trapecio, que se obtuvo con una cámara Zwo Asi 120mm, un telescopio reflector 200/1000 y un tiempo de exposición de 5 segundos realizada por José Huertas Jiménez, la cual presenta un aspecto muy similar a lo que se puede apreciar mirando directamente por el ocular. Por otro lado, en el panel izquierdo, tenemos una imagen que conjunta emisión en luz visible e infrarrojo cercano realizada con el Telescopio Espacial Hubble y datos adicionales del telescopio MPG/ESO de 2.2 metros ubicado en el Observatorio de La Silla en Chile. En el panel izquierdo vemos las estrellas y la luz visible que se refleja en la nube circundante mientras que en el panel derecho además se puede apreciar en tonos rojos la emisión infrarroja del polvo relativamente más frío y denso.

La Nebulosa de Orión es, como lo hemos dicho, una región de formación estelar, al parecer la más cercana al Sistema Solar y esto la ha hecho un lugar excelente para estudiar las distintas fases que llevan al gas y polvo interestelar a convertirse en estrellas. Iniciemos con lo que podemos observar a través de un telescopio pequeño, esto es, el Trapecio y la nubosidad que lo rodea casi por completo, que es básicamente lo que se muestra en la Figura 2, panel izquierdo. Dependiendo del telescopio que usemos, podemos observar en el Trapecio 4 o 6 estrellas, llamadas Theta Orionis A, B, C, D, E y F, son muy jóvenes, se formaron entre hace apenas unos trescientos mil a un millón de años (Figura 3 a). Se trata de estrellas de los tipos espectrales O y B, lo que corresponde a las más masivas y luminosas, con hasta decenas de veces la masa y cientos de miles de veces el brillo del Sol. En particular Theta Orionis C es una estrella binaria, donde la estrella más brillante del par es C1. Se trata de una estrella de tipo espectral O, tiene unas cuarenta masas solares ( $40 M_{\odot}$ ), una luminosidad de unas doscientas mil veces la luminosidad solar ( $200,000 L_{\odot}$ ), con una temperatura superficial de unos  $40,000 K$  y su radio es de aproximadamente diez veces el radio de nuestro Sol ( $10 R_{\odot}$ ). Theta Orionis C1 es la estrella más luminosa del Trapecio y de toda M42. Su compañera, C2, es algo menor, es del tipo espectral B y tiene  $\sim 10 M_{\odot}$ .

Como ya se ha dicho, todas las estrellas del Trapecio son muy masivas y luminosas, como consecuencia de esto han estado iluminando y empujando con su luz y vientos estelares durante cientos de miles de años a los restos de la nube de la cual se formaron. El resultado ha sido un ahuecamiento de la nube en la zona del Trapecio. Además, y dado que estas estrellas son tan calientes, su radiación es muy intensa en el ultravioleta (UV) que excita y arranca electrones de los átomos de la nube produciendo la llamada ionización. Eventualmente esos electrones excitados retornarán a sus estados normales y se desprenderán del exceso de energía emitiendo luz en colores característicos del átomo del que se trate. A esta emisión de luz en colores específicos se le llama líneas de emisión, se pueden analizar con técnicas espectroscópicas y permiten

determinar la composición, condiciones físicas y la dinámica de los diversos componentes de un objeto astronómico. En la Figura 3 podemos ver dos imágenes, b) y c), con distinto grado de acercamiento a color falso de M42 tomadas con tres filtros del Telescopio Espacial Hubble (HST). En color azul tenemos emisión de oxígeno altamente ionizado, en verde emisión de hidrógeno ionizado llamada H $\alpha$  y en rojo nitrógeno también ionizado. Se trata en todos los casos de material caliente y en expansión debido a la emisión de las estrellas del Trapecio. Eventualmente, en unos pocos millones de años, las estrellas del Trapecio terminarán sus días explotando como supernovas y disipando el resto del gas circundante.

Además de ver claramente en Figura 3 b) y c) el hueco en la nebulosa, pueden apreciarse algunas estructuras de aspecto cometario. Se trata de estrellas en formación que siguen envueltas en los restos del gas y polvo del cual se formaron. Se observa como esas burbujas están siendo barridas por los vientos estelares de las estrellas masivas del Trapecio y particularmente por la estrella C. En el panel d) de la misma Figura 3 podemos ver en detalle una de esas estructuras. Se trata particularmente del objeto 182-413, observado también con el HST usando la Cámara Planetaria y de Gran Angular 2. El objeto 182-413 es una estrella muy joven envuelta por un disco protoplanetario, esto es, un sistema solar en plena formación y en M42 se han encontrado cientos de objetos como este. En la Figura 4 de Bally y colaboradores publicado en The Astronomical Journal en 2000 se muestran algunos de ellos.

En la Figura 4 también podemos observar estrellas muy jóvenes. En los quince objetos de la parte superior de la figura es fácil notar el disco protoplanetario que rodea a la estrella. En algunos casos, por ejemplo 294-606 y 114-426, su disco se ve de canto lo que impide que podamos observar a la estrella central. En otros casos, como 167-231 y 182-332, la vista del disco es casi de frente con lo que podemos ver al disco rodeando a la estrella. Entre ambos extremos tenemos discos en diversos ángulos de visión y además aparentemente con grados diversos de disipación.



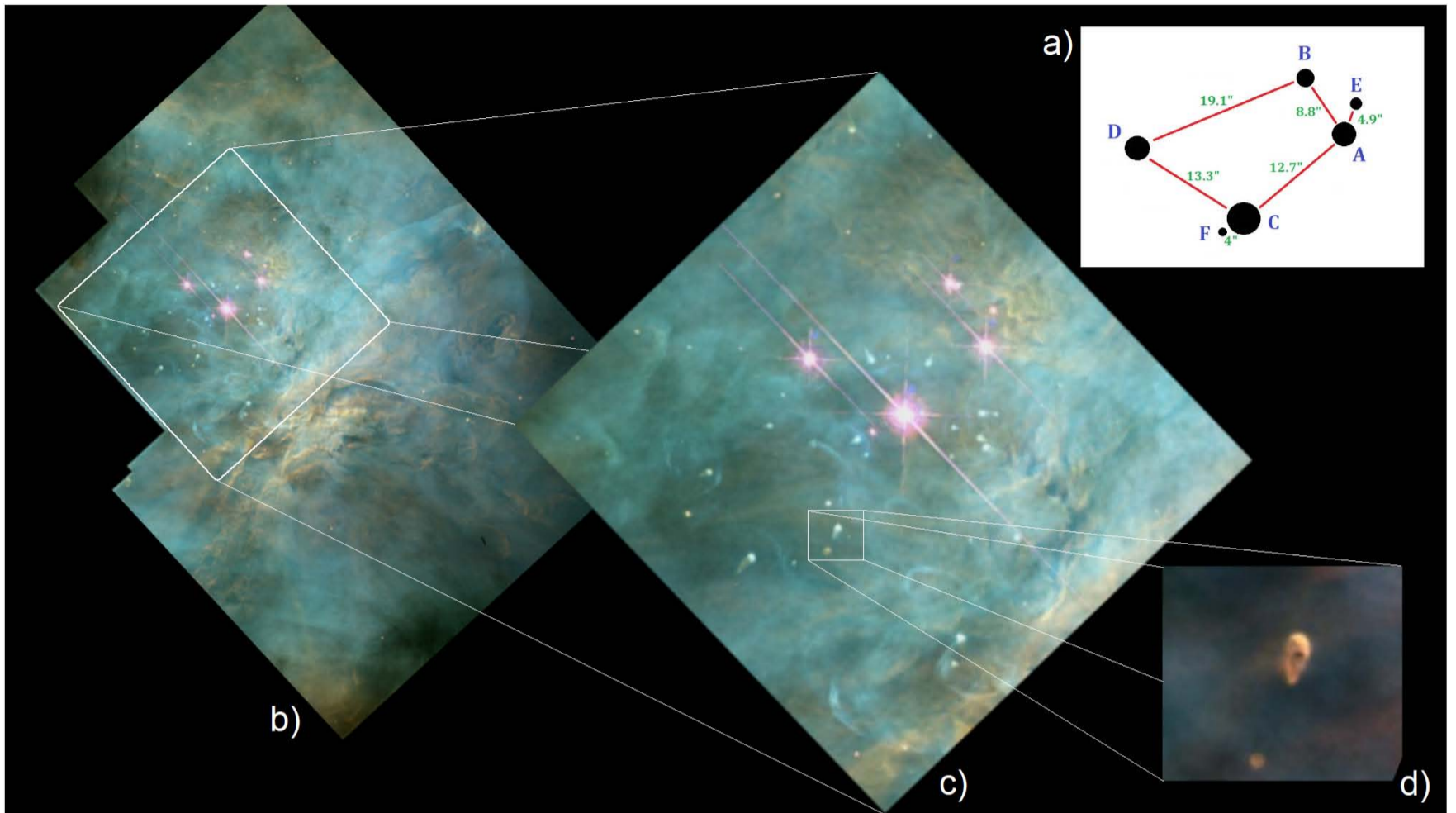


Figura 3. El cúmulo del Trapecio en el núcleo de M42 observada en tres colores del visible. En el panel a) tenemos un esquema de las seis principales estrellas del Trapecio, en b) y c) dos vistas del Trapecio con distinto acercamiento. En el panel d) tenemos un acercamiento a una estrella en formación rodeada aún por una burbuja que parece estar siendo arrastrada por los vientos estelares de Theta Orionis C.

Por otro lado los 24 objetos de la parte baja de la Figura 4 muestran esa estructura cometaria que antes mencionamos, en algunos casos pareciendo que envuelven discos protoplanetarios, mientras que en otros aparentemente sólo a la estrella. Todos estos objetos brindan un panorama amplio y una gran cantidad de datos muy útiles para analizar el proceso de formación de estrellas y de sus sistemas planetarios.

Así pues, M42 es una región de formación estelar que gracias a su cercanía a la Tierra y a su riqueza

de objetos tanto en cantidad como en diversidad, está permitiendo a los astrofísicos entender la formación estelar y la formación de sistemas planetarios. Se espera que estas investigaciones nos ayudarán a entender cómo es que distintos tipos de estrellas llegan a tener distintos tipos y distribuciones de planetas en torno a ellas, lo que en definitiva será importante para comprender qué tan normal o anómalo es la existencia de planetas como la Tierra en torno a estrellas como el Sol.

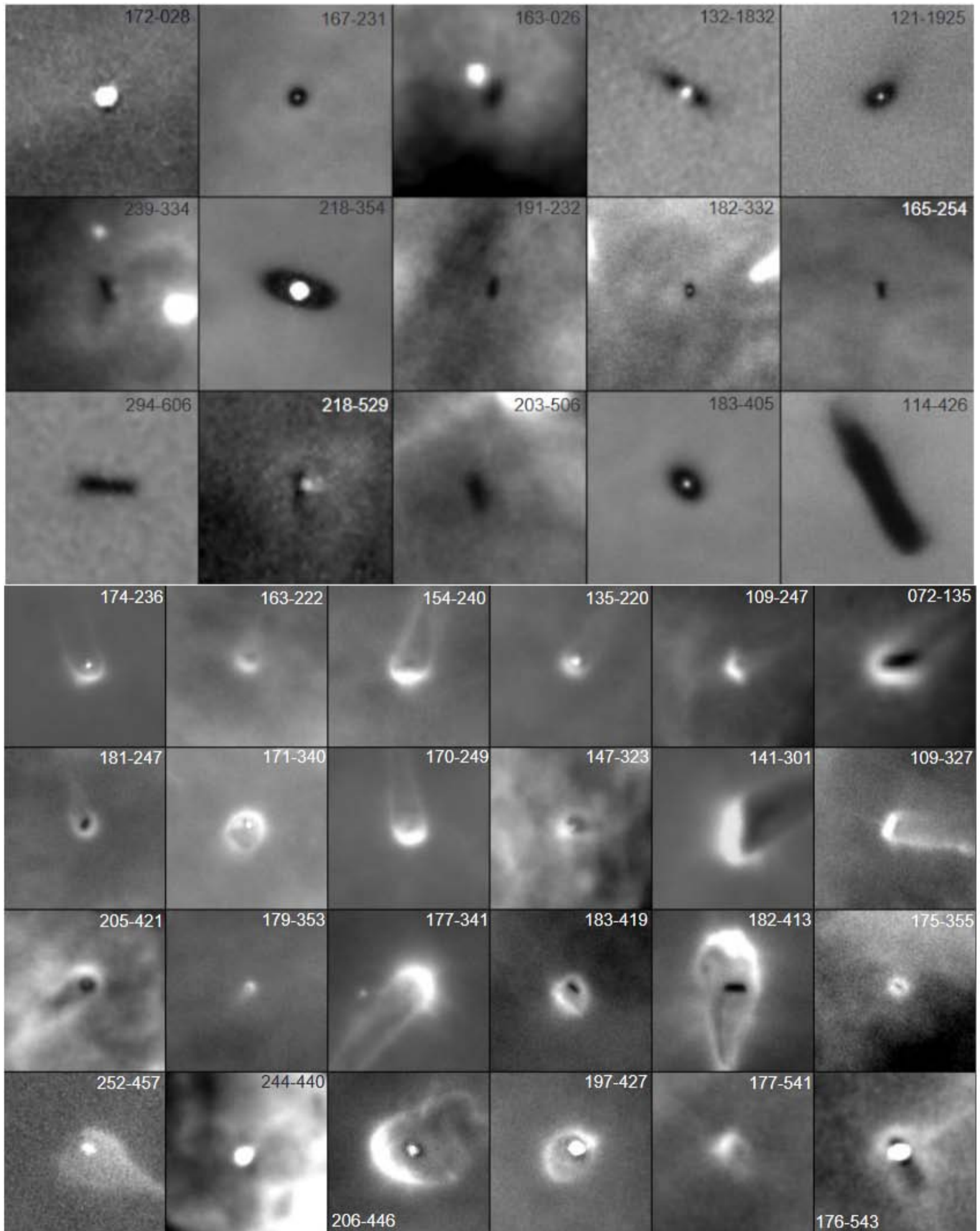


Figura 4. Estrellas jóvenes en M42. En este mosaico de imágenes podemos ver 39 ejemplos de estrellas muy jóvenes en distintos grados de desarrollo. En la parte superior se presentan estrellas con discos protoplanetarios y en la parte inferior tenemos estrellas envueltas en estructuras de tipo cometario que están siendo barridas por los vientos estelares del Trapecio.

# EXPLORANDO LA LUNA: DESCUBRIENDO SUS SECRETOS A TRAVES DE LA SELENOGRAFIA

| M.CS. Stephany Arellano / CUCEI-UDG

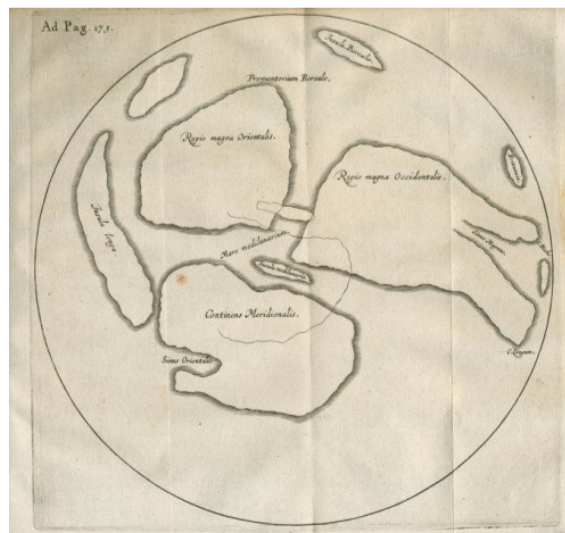
La selenografía se considera una rama de la astronomía dedicada al trazado de mapas lunares y al estudio de su superficie, la topografía y la geografía de la Luna. Esta disciplina causó un gran revuelo cuando se inventó el telescopio, pero en las últimas décadas ha experimentado un gran desarrollo gracias a los avances tecnológicos y a las misiones espaciales que han permitido obtener muestras, imágenes y datos cada vez más precisos de su superficie.

La palabra selenografía se compone de dos vocablos derivados del griego, *selene* y *grafía* que en conjunto se entienden como la escritura o descripción de la Luna. El término de *selenographo* se adjudicó a las personas que llevaban registros de las características de la Luna y fue otorgado por primera vez al físico y matemático italiano Francesco Maria Grimaldi (1618 - 1663), quien en el año de 1640 publicó un mapa muy detallado con las características topográficas del satélite.

Al observarla con binoculares se consigue apreciar cráteres, mares y rayos, pero de manera más detallada y con ayuda de un telescopio, se pueden notar montañas, grietas, domos, cráteres de rayos

y escarpaduras, principalmente. Se tienen registros de que las observaciones de la Luna comenzaron desde la antigüedad en diversas culturas como en Egipto, China, Babilonia y la Grecia clásica, donde prestaban particular atención a las fases lunares y la predicción de eclipses. Pero la selenografía comenzó a partir del renacimiento europeo. Quién comenzó con esta actividad fue Leonardo da Vinci (1452-1519), realizando observaciones a simple vista, con lo que solo logró dibujar de manera muy burda los mares de la cara visible; en una época cercana el inglés William Gilbert (1544-1603) también dibujó los mares, pero éste construyó una delimitación más precisa a la que le agregó algunos nombres. Estas prácticas prosperaron unos años después con la aparición del telescopio.

Se cree que el telescopio se inventó en el año de 1609 en los Países Bajos, aunque el dato no es muy preciso (y no se sabe a ciencia cierta quién lo inventó), lo que sí se sabe es que eran refractores del tipo galileano (como se conocen ahora), compuestos por un conjunto de lentes que captaban la luz y la concentraban en el foco, para después observarse a través del ocular.



Izquierda: Dibujo de la Luna por Leonardo da Vinci. Derecha: Dibujo de los mares lunares por William Gilbert.

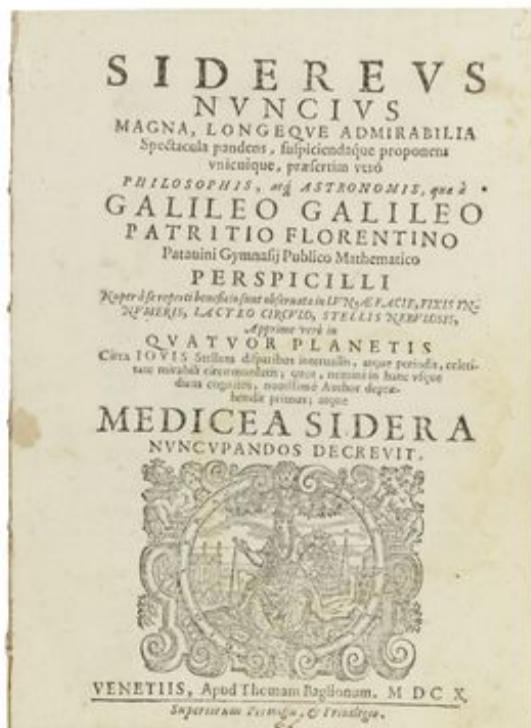
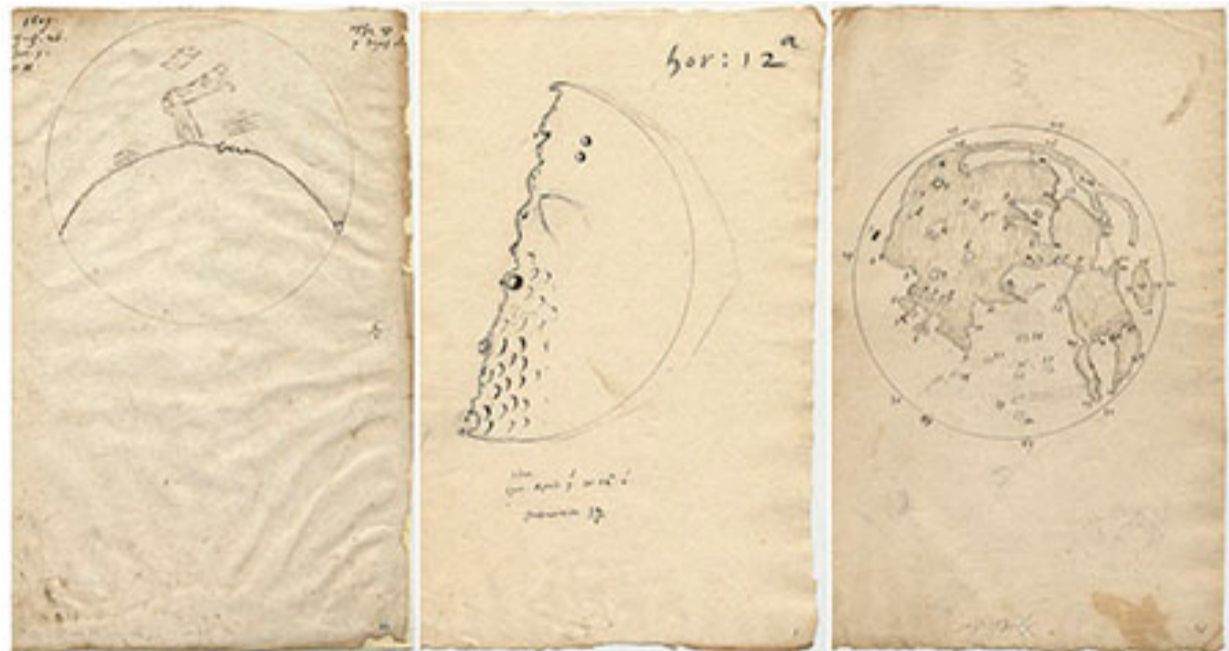
# ■ EXPLORANDO LA LUNA

Éstos contaban con poco aumento, muchas aberraciones ópticas (falta de nitidez y con alteraciones) y con un campo de visión reducido. Si bien, queda claro que era una herramienta un tanto precaria, pero novedosa en aquellos días. Al inventarse el telescopio, la noticia tardó muy poco en llegar a oídos de Galileo Galilei (1564-1642) e inmediatamente construyó uno propio, realizando sus primeras observaciones en el año 1610. Sin embargo, la primera persona en observar la Luna con esta nueva herramienta fue el inglés Thomas Harriot (1560-1621) en 1609, quien realizó bocetos de sus observaciones, mismos que tenían un buen nivel de detalle (especialmente para su época), adelantándose por pocos meses a Galileo. Pero no los publicó, sino hasta 1613, dejando a Galileo como el primero en publicar este tipo de material.

Durante un período de ocho meses, Galileo realizó una serie de observaciones astronómicas con su telescopio y las publicó en 1610, en un breve tratado astronómico de nombre Siderus Nuncius (El mensajero sideral, en castellano). Posterior a ello, en los siguientes 45 años, otros autores también incursionaron en la realización de mapas, pero carecían aún de detalles.

Sin embargo, el mapa que se destacó en esa época, es el que se publicó en el libro *Almagestum Novum* en 1651, con autoría del italiano y jesuita Giovanni Riccioli (1598-1671) y Francesco Maria Grimaldi (1618-1663). En esta cartografía se incluían más de 1,200 rótulos nombrando distintos elementos del relieve lunar, e hizo una destacada aclaración de que no está habitada, desmintiendo a otros autores que decían lo contrario.

Bocetos de observaciones lunares de Thomas Harriot en 1609.



Siderus Nuncius.  
Tratado astronómico de Galileo Galilei

## ■ EXPLORANDO LA LUNA

Una vez explicados los principios de esta disciplina, cabe destacar que la verdadera revolución en la selenografía se presentó durante el siglo XX, impulsado por el acelerado desarrollo científico y tecnológico, en el transcurso de la carrera espacial y el lanzamiento de los primeros satélites artificiales, al igual que con las misiones tripuladas (y no tripuladas) a la Luna. En 1959, la Unión Soviética envió la sonda Luna 3 con el objetivo de tomar las primeras imágenes de la cara oculta de la Luna, ya que nunca se había visto esa perspectiva desde la Tierra. Las imágenes obtenidas por esta sonda permitieron que los científicos comenzaran a explorar la zona

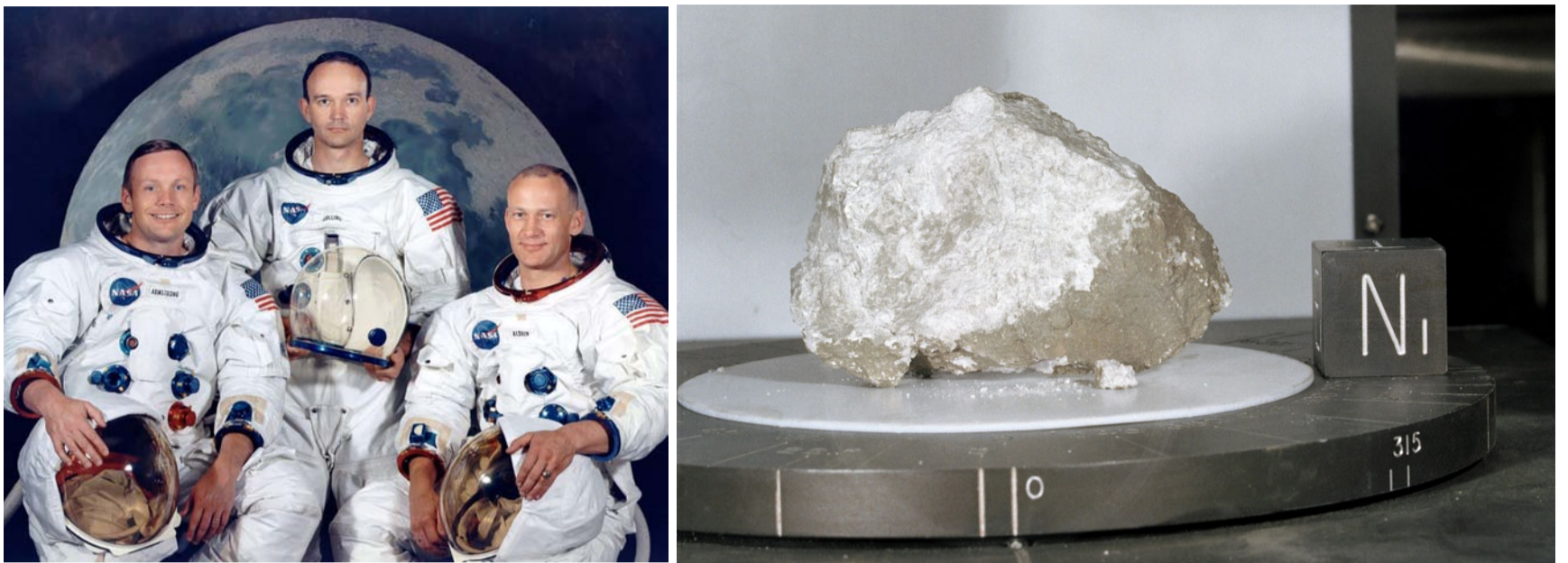
desconocida y a elaborar mapas completos y más detallados de la superficie lunar.

La NASA fue la agencia espacial que lideró un gran número de misiones, incluso una de las más relevantes en la historia, la del Apolo 11 en 1969, tripulada por los astronautas norteamericanos Neil Armstrong, Buzz Aldrin, Michael Collins. Misma que permitió al ser humano pisar por primera vez la superficie del satélite. Durante ésta y las subsecuentes misiones, se consiguieron imágenes y muestras de la Luna, con las que se logró realizar estudios geológicos y topográficos con más precisión.



Mapa lunar en Almagestum Novum, 1651

## ■ EXPLORANDO LA LUNA



Izquierda: Tripulación del Apolo 11. Derecha: Roca lunar con níquel (Ni).

En la década de 1970, la Unión Soviética no se quedó atrás, lanzando varias misiones lunares no tripuladas que permitieron cartografiar grandes áreas de la superficie lunar a gran detalle. Estas misiones también permitieron descubrir nuevas estructuras geológicas como los volcanes en la Luna y las cadenas montañosas. Y a la par, las misiones tripuladas Apolo lograron recolectar cerca de 382 kilogramos de rocas y muestras de suelo lunar.

Una de las técnicas que se implementaron para su muestreo fue la fotogrametría y aunque es una de las más antiguas, es también una de las más simples que se utilizan en la cartografía. Consiste en utilizar imágenes de la superficie lunar tomadas desde diferentes ángulos para crear modelos tridimensionales de su superficie. Al comparar las imágenes desde diferentes ángulos, se pueden calcular las alturas y profundidades de diferentes características de la superficie, como cráteres y montañas. La fotogrametría es una herramienta vital para crear mapas topográficos de la Luna. Otra técnica comúnmente utilizada en la cartografía lunar es la teledetección. La teledetección utiliza sensores remotos para medir la luz reflejada por la superficie lunar. La información recopilada por los sensores se utiliza para crear mapas de la composición de la superficie lunar. Los sensores utilizados en la teledetección incluyen cámaras de alta resolución, espectrómetros y radar.

Del mismo modo existe una técnica con láser que se utiliza para medir la altura de la superficie lunar, conocida como altimetría láser. Consiste en emitir pulsos de luz (láser) desde un satélite en órbita alrededor de la Luna, la luz rebota en la superficie lunar y la recibe de vuelta en el satélite. Calculando el tiempo que tarda la luz en viajar desde el emisor, al receptor y de regreso al emisor inicial, se puede estimar la distancia entre ambos puntos y calcular una distancia. Esta técnica se utiliza para crear mapas del relieve (topográficos) lunar.

La sismología es otra disciplina que es complementaria en el desarrollo de la cartografía lunar. Los sismógrafos se utilizan en red para medir las vibraciones en un área significativa de su superficie, estos movimientos son causados por lunamotos (sismos lunares) y los impactos de objetos externos como meteoritos (mismos que también pueden modificar el relieve). El registro y recopilación de movimientos sísmicos, contribuyen a crear mapas de la estructura interna de la Luna.

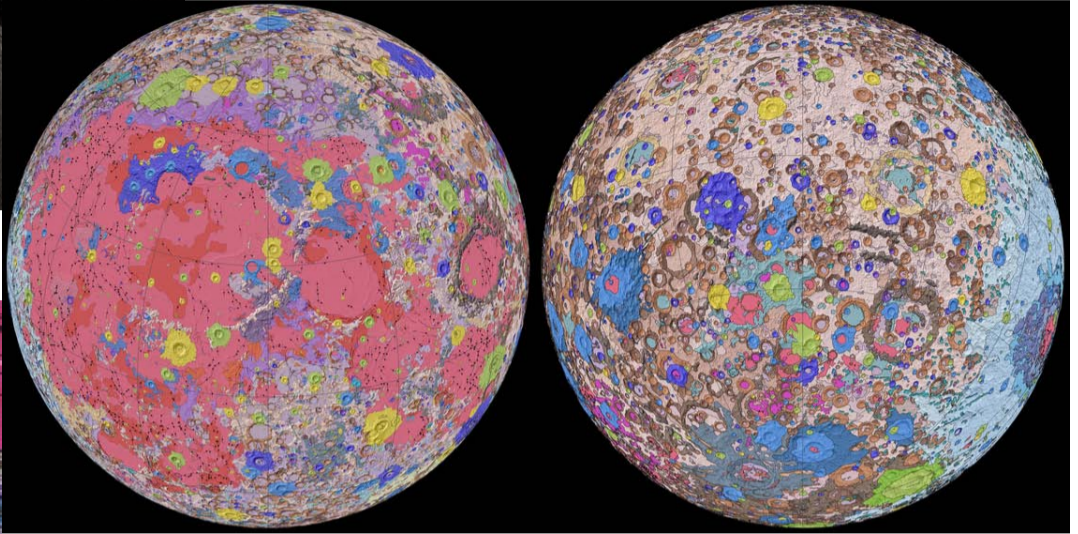
También se implementan técnicas de gravimetría para medir la gravedad. Para ello se utilizan sensores que se instalan sobre el suelo lunar para registrar las variaciones que se presenta en su gravedad. Éstas son causadas por las fluctuaciones en la densidad de su superficie. La información recolectada es esencial para crear mapas de la densidad del satélite.

## ■ EXPLORANDO LA LUNA



Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO).

Mapa Geológico Unificado de la Luna, 2020



Zoom del Mapa Geológico Unificado de la Luna, 2020



Además, está la fotogeología, que es una técnica en la que se implementan bases de la fotogrametría y la interpretación geológica. Con ella se hace geología superficial, mediante fotografías aéreas y técnicas remotas de correlación del suelo. Permite reconocer áreas de gran extensión, así como obtener detalles puntuales en sitios que son de difícil acceso en campo, ideal para la exploración de planetas y en este caso la Luna, con ello también se puede estimar la edad de sus formaciones e incluso se calculó el grosor medio de la corteza; éste va de los 70 km de espesor (en el lado visible) a 150 km (en el lado oculto).

Por último, pero no menos importante, las sondas espaciales también han contribuido a la selenografía, especialmente la Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO) que en el 2009 fue lanzada y colocada por la NASA en una órbita alta de la Luna. Se encuentra vigente y sigue enviando imágenes a la Tierra. Su objetivo principal es explorar los polos del satélite, ya que no han sido estudiados a detalle por falta de luz solar, entre otros más. Está equipada con sensores especiales como: Lunar Orbiter Laser Altimeter (LOLA), Lunar Reconnaissance Orbiter Camera (LROC), Lunar Exploration Neutron Detector (LEND), Diviner Lunar Radiometer Experiment, Lyman-Alpha Mapping Project (LAMP) y el Cosmic Ray Telescope for the

Effects of Radiation (CRaTER). Actualmente uno de los mapas más completos es el Mapa Geológico Unificado de la Luna (2020), desarrollado por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), en colaboración con la NASA y el Instituto Planetario Lunar y cartografiado a una escala de 1:5,000,000. Una de las novedades son los detalles de información en la zona ecuatorial y en las zonas polares, que se obtuvo gracias a las observaciones del satélite Kaguya (Selene) de la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial (JAXA) y al altímetro láser de la NASA, conocido como LOLA, respectivamente. Hoy en día, la selenografía es una disciplina que utiliza una amplia variedad de herramientas y tecnologías para explorar la superficie lunar. Los científicos se apoyan principalmente de telescopios, sondas, sensores, cámaras, láseres y distintas técnicas para construir su topografía, así como su composición química y la edad de los diferentes elementos del relieve. Además, se han desarrollado técnicas de teledetección para buscar la presencia de agua en su superficie y para seleccionar sitios de aterrizaje para futuras misiones. En conclusión, la selenografía es un campo en constante desarrollo gracias a los avances científico-tecnológicos y de instrumentación, que se han presentado en las últimas décadas.

# SAB 6, UNA BURBUJA EN EL ESPACIO

| Karina Hernández/ CUCEI-UDG

Las estrellas son uno de los astros más conocidos que existen en el Universo. Especial atención merecen dichos astros por nuestra cercanía al Sol, concretamente, una estrella típica, clasificada como de secuencia principal. A todos los objetos de este tipo les espera un destino similar: convertirse eventualmente en una nebulosa planetaria (NP), o en otras palabras, en enormes burbujas estelares.

Al igual que muchos de los objetos celestes que existen, las NPs surgen a partir de la muerte de una estrella. Específicamente, representan las últimas etapas de la vida de aquellas con masas similares al Sol, de 0.8 a 8 masas solares ( $M_{\odot}$ ). Estas marcan el proceso de transición de una estrella gigante roja (GR) a una enana blanca (EB). El estudio de estas nebulosas inicia desde las

observaciones en 1764 por Charles Messier del objeto al que designó M27, Nebulosa Dumbbell, que después registraría en su catálogo Messier de 1781.

Sin embargo, el nombre y descubrimiento de estos objetos se le atribuye a William Herschel y a su hermana Caroline, inicialmente fabricantes de instrumentos musicales para después convertirse en astrónomos. En 1790 los Herschel observaron a NGC 1514 y notaron que el objeto tenía una forma circular de color verde, similar a Urano, planeta que los hermanos habían descubierto anteriormente en 1781. En cambio, la circunferencia de la nueva figura observada no era nítida, sino difusa. A pesar de ello, continuaron creyendo que se trataba de un planeta, surgiendo el nombre de “nebulosa planetaria”.



M27: The Dumbbell Nebula (Steve Mazlin)



Contrario a lo que se puede creer, la mayoría de las NPs no tienen una estructura redonda bien definida. La manera en que se desarrollan y evolucionan depende de una serie de factores que llevan a una variedad de morfologías que dependen de diversos fenómenos. De ahí que a las NPs se les defina de una mejor manera por estar formadas de elementos ionizados, atómicos, moleculares y de polvo, los cuales no tienen necesariamente la misma geometría.

Las NPs forman parte de los objetos nebulares, los cuales también incluyen nebulosas difusas como las nebulosas de reflexión, regiones HII y remanentes de supernova. Se pueden distinguir de estas últimas por su tamaño reducido, su estructura y bordes definidos.

## Formación

El proceso de formación de estos objetos inicia cuando se agota el hidrogeno de la estrella provocando que las capas que rodean al núcleo se calienten. Posteriormente, se expandirá en una GR de hasta 170 veces su tamaño original. Vuelve a contraerse levemente para ser una gigante amarilla cuando el helio en su interior comienza a transformarse en elementos más pesados, como el carbono. Al terminar esta fase, vuelve a incrementar su tamaño ~200 veces mayor. Aquí el núcleo de la estrella, ahora de carbono y oxígeno, ha disminuido su temperatura significativamente, sin embargo, aún continúa realizando transformaciones nucleares, por lo que en esta fase se encuentra dando pulsos, aumentando y disminuyendo de tamaño.

En este punto la estrella ya se ha convertido en súper-gigante roja (SGR) en dos ocasiones y debido a que la fuerza de gravedad disminuye como el cuadrado de la distancia, ésta no será suficiente para mantener unida a la estrella, provocando la separación de la envoltura de su

núcleo. Esta es la capa que, como su nombre lo indica, envuelve directamente el centro.

Una vez que esto ocurre, la estrella expulsa su atmósfera y en el centro queda una EB estable que, al estar lo suficientemente caliente una parte de la energía que emite será en radiación ultravioleta causando que los fotones ionicen a los átomos del gas en expansión y, por tanto, que las capas expulsadas se iluminen. Las estrellas circundantes contribuyen en el brillo que emiten los remanentes más distantes de la nebulosa permitiendo observar la forma que se proyecta. El tiempo de vida de una NP es de apenas 30 a 70 mil años, antes de diluirse en el medio circundante.



Nebulosa planetaria NGC 1514 en la constelación de Tauro. KPNO/NOIRLab/NSF/AURA/Adam Block

## Morfología

Las NPs son estructuras gaseosas que se forman a partir de la evolución de sus estrellas centrales. Entre los factores que influyen en las distintas morfologías se encuentran:

1. Interacción con el medio interestelar (MI): La morfología de las NPs puede verse afectada por la interacción con el MI. Si la nebulosa se encuentra en una región donde hay una gran cantidad de gas y polvo, puede ser moldeada por la acción del viento estelar y la radiación de las estrellas vecinas.
2. La forma de la envoltura de gas expulsada: La forma de la envoltura de gas expulsada por la estrella progenitora depende de factores como su masa, velocidad de expulsión y la cantidad de energía liberada durante el proceso. Estos pueden generar diferentes formas como anillos, esferas, bipolar, etc.
3. Composición química: La composición química de la nebulosa también puede influir en su forma, ya que algunos elementos químicos pueden emitir radiación en longitudes de onda específicas, lo que puede dar lugar a patrones de emisión en la nebulosa.
4. Interacción binaria: En algunos casos, las NPs pueden ser influenciadas por la presencia de una estrella compañera. La interacción gravitatoria entre ambas estrellas puede modificar la forma de la nebulosa.

De la misma manera, la forma de una NP dependerá fuertemente de la excitación del ion que emite una determinada línea, las cuales se pueden visualizar mediante observaciones espectroscópicas. Así, podemos caracterizar que la línea de emisión [O III]  $\lambda 5007 \text{ \AA}$  muestra la morfología de las regiones que presentan alta excitación y en el caso de la línea de [N II]  $\lambda 6584 \text{ \AA}$  revela las regiones de baja excitación. Es importante mencionar que la manera de observar las regiones mencionadas en una nebulosa de

emisión débil es a través de los filtros especiales para cada tipo de línea que se quiere investigar.

## Clasificación

Generalmente se clasifican en clases morfológicas basadas en su estructura aparente. Organizadas en el catálogo MASH. por 6 clases: redonda, elíptica, bipolar, irregular, asimétrica y star-like, o bien, se tiene una clasificación básica que las conforma como redondas, elípticas o mariposas. Sin embargo, la estructura de las NPs no puede ser definida únicamente a través de las imágenes observadas, debido a que en los esquemas de clasificación se describen las estructuras aparentes bidimensionales y no las estructuras intrínsecas en sí.

Por ejemplo, en el análisis de la morfología de la nebulosa planetaria Sab 6, se tomó en cuenta el esquema de clasificación primario ERBIAS (Elliptical, Round, Bipolar, Irregular, Asymmetric y quasi-Stellar) y el esquema secundario amspr (a: realce unilateral/asimetrías, m: capas múltiples o estructura externa, p: punto de simetría, r: estructura anular bien definida o anillo y s: estructura interna resuelta) para proporcionar una mirada más amplia de la forma de la NP.

## SAB 6

Sab 6, es una nebulosa planetaria verificada de forma espectroscópica recientemente [Sabin et al. 2014], cuya simetría esférica y detalle recuerdan a la nebulosa conocida como burbuja de jabón (PN G75.5+1.7) o a la de Abell 39. Se determinó a la NP Sab 6 como una burbuja transparente, larga y bien definida, con un diámetro angular de 200 segundos de arco, además de una morfología indicada actualmente como Rms (redonda, de múltiples capas y estructura interna) de los esquemas de clasificación ERBIAS y amspr.

## ■ SAB 6



Imagen RGB de la nebulosa planetaria Sab 6 (G129.6+03.4), del telescopio Aristarco del Observatorio Helmos (Grecia).

Cuando se comparan las imágenes del telescopio Aristarco con las de los telescopios infrarrojos 2MASS (Two Micron All Sky Survey) en las bandas del infrarrojo cercano (NIR) y WISE (Wide-Field Infrared Survey Explorer) en las bandas del infrarrojo medio (MIR), obtenidas del archivo del Infrared Science Archive (IRAC), se distingue

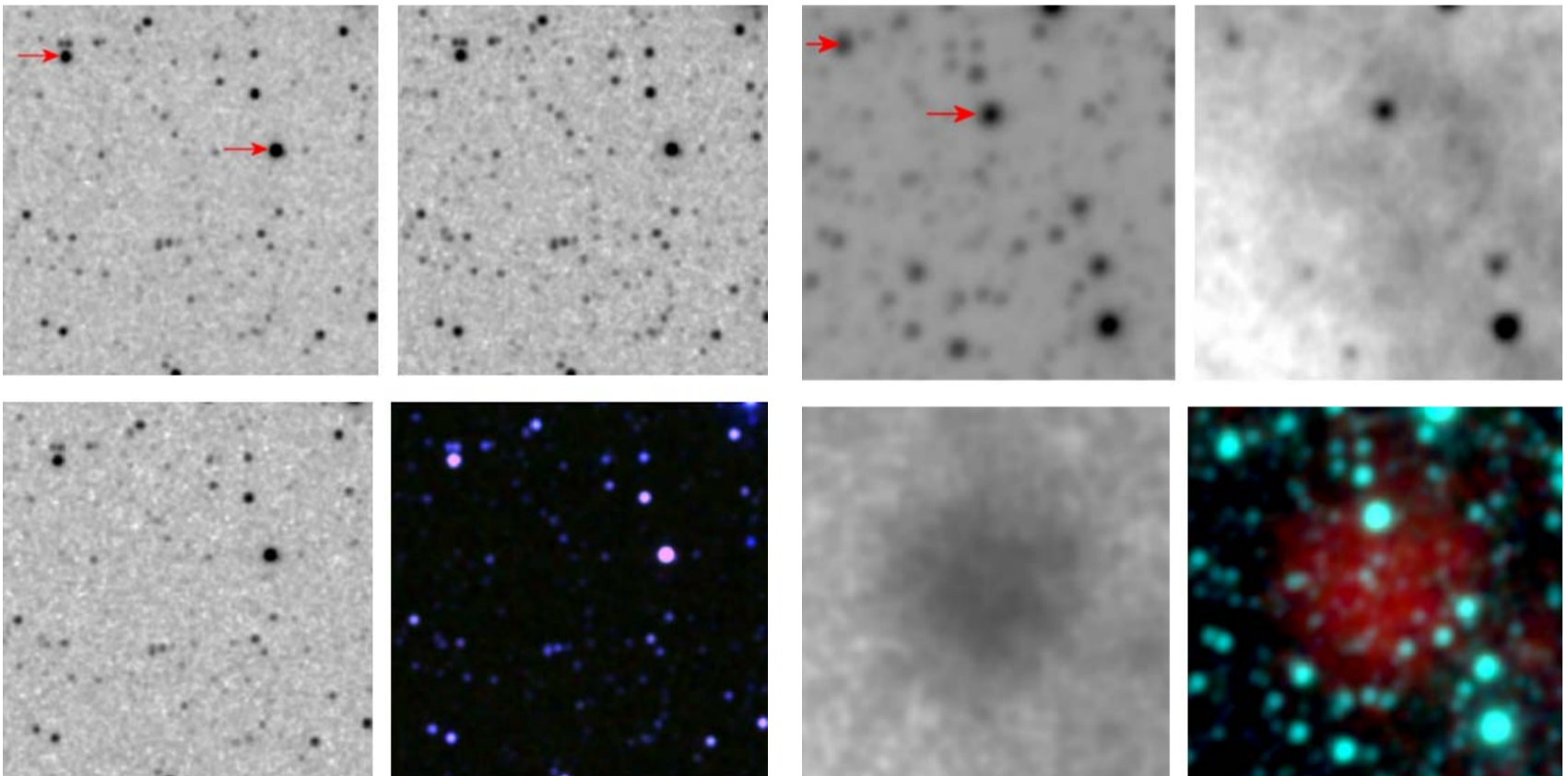
notablemente que para las observaciones de 2MASS la nebulosa es imperceptible en los 3 filtros, en cambio, para el caso de WISE, la estructura interna de la NP es evidente en la banda W4 que caracteriza a un objeto concentrado, muy difuso y circular.

## ■ SAB 6

¿Por qué ocurre esto si observamos el mismo objeto con diferentes telescopios? Este curioso fenómeno se debe al rango que cubren en el espectro electromagnético los filtros que el telescopio en cuestión utilice. Ya que Sab 6 es una nebulosa de baja emisión, su morfología será detectada con mayor resolución por las bandas de alta intensidad, dado que las diferentes líneas de emisión presentes en el espectro de una NP son excitadas bajo diferentes condiciones físicas. Por ejemplo, los átomos de helio, neón o hierro requieren de fotones de energía más elevados para ser ionizados en comparación con los átomos de hidrógeno, nitrógeno u oxígeno, por lo que los primeros se encontrarán confinados a las regiones más cercanas a la estrella central, donde las temperaturas son más elevadas. Esto trae como consecuencia que la forma de una NP dependa fuertemente, además de otros factores ya mencionados, de los procesos físicos que ocurren en su interior. En este caso, podría considerarse que Sab 6 es un típico caso de una NP esférica, que presenta claramente su estructura de ionización clásica (oxígeno en su interior, seguida por el hidrógeno y el nitrógeno respectivamente).

En adición, podemos observar el borde, “rim”, de alta densidad que está comprimido por la burbuja caliente. La burbuja representa el viento rápido impactado generado desde la EC en la fase temprana de NP. La capa registrada más próxima a la EC es la formada por la línea de emisión de H $\alpha$  considerándola como una de las últimas en desprenderse, mientras que la capa más distante, y primera en ser desprendida, se observa en la línea [N II], la cual está mayormente iluminada hacia el Norte por una de las estrellas externas a la nebulosa.

Podemos darnos cuenta que Sab 6 es un objeto muy interesante debido a su particular forma esférica, sin embargo, dado que la mayoría de las estrellas de nuestra Galaxia pasarán por esta fase, incluido el Sol es que su estudio se vuelve importante. En este tipo de objetos es posible conocer sus características físicas por medio de diagnósticos de plasma (densidad, temperatura, velocidad, etc.) y la composición química permite la medición de su impacto en el enriquecimiento químico del MI y de la formación de nuevas generaciones de estrellas.



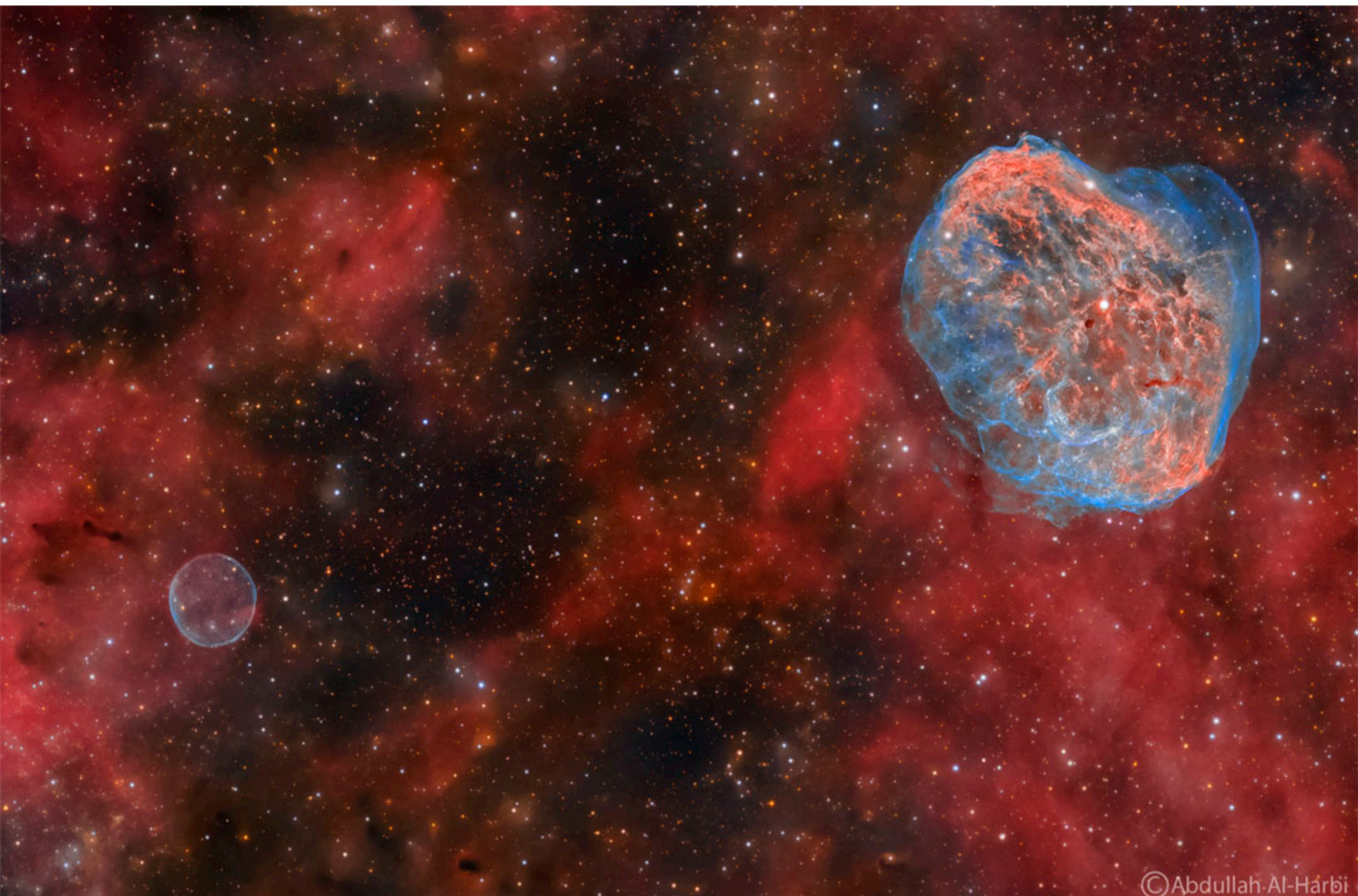
Izq. Imágenes de Sab 6 (G129.6+03.4) del telescopio 2MASS, obtenidas de la base de datos IRSA (IPAC Infrared Science Archive) en las bandas H  $\lambda$  1.662  $\mu$ m (arriba-izquierda), Ks  $\lambda$  2.159  $\mu$ m (arriba-derecha), J  $\lambda$  1.235  $\mu$ m (abajo-izquierda) e imagen compuesta RGB (abajo-derecha), R=(K), G=(H) y B=(J). El Norte está arriba, el Este a la derecha.

Der. Imágenes de Sab 6 del telescopio especial WISE, obtenidas de la base de datos IRSA en las bandas W1  $\lambda$  3.368  $\mu$ m (arriba-izquierda), W3  $\lambda$  12.082  $\mu$ m (arriba-derecha), W4  $\lambda$  22.194  $\mu$ m (abajo-izquierda) e imagen compuesta RGB (abajo-derecha), R=(W4), G=(W2) y B=(W1). El Norte está arriba, el Este a la derecha. Las flechas en color rojo indican las mismas estrellas de campo para su comparación.



### El cúmulo de galaxias Fornax

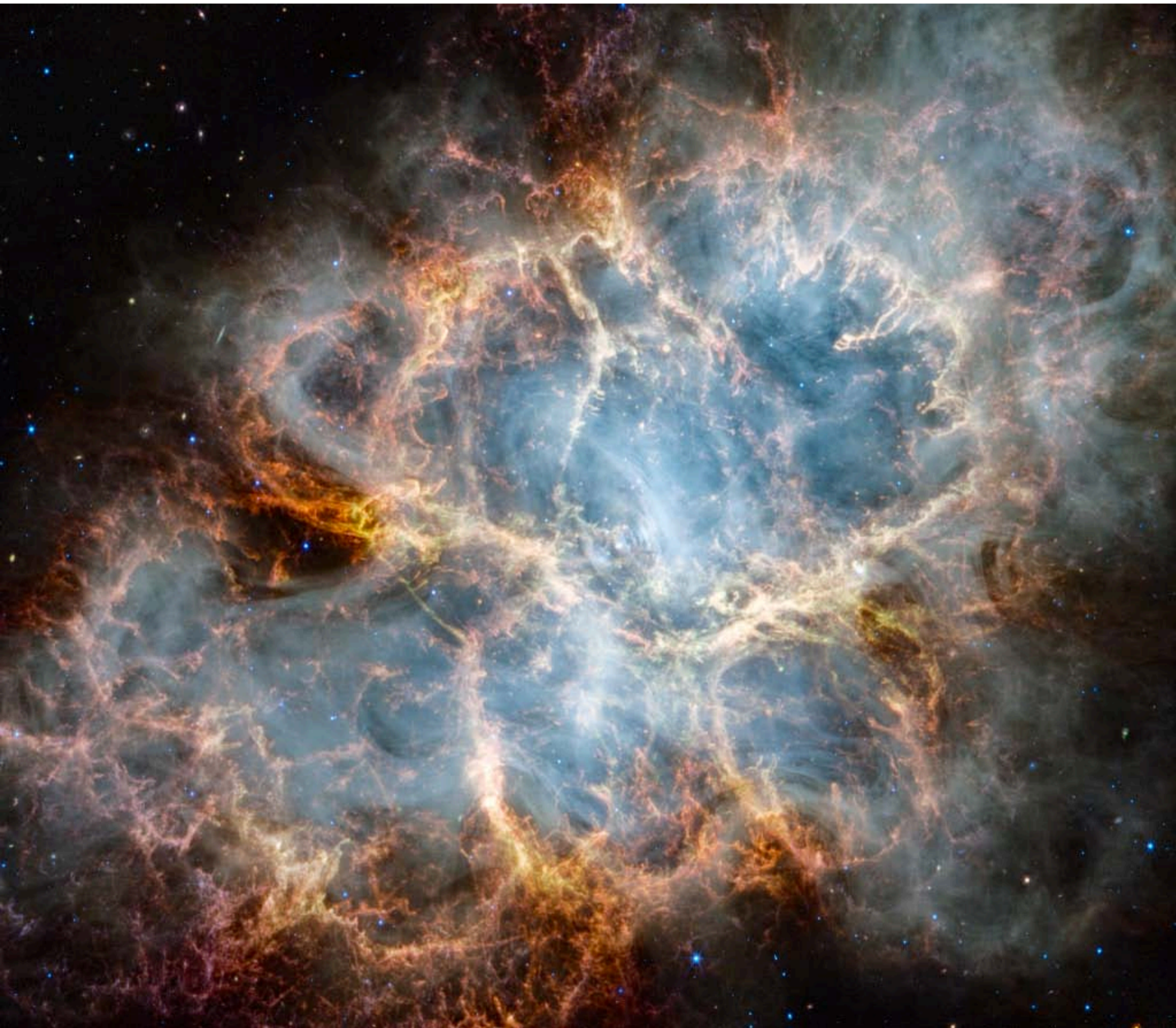
El cúmulo de Fornax, llamado así por la constelación austral en que se localiza, es uno de los cúmulos de galaxias más cercanos. A 62 millones de años luz de distancia, es más de 20 veces más distante que nuestra vecina galaxia de Andrómeda. Vistas a través de este campo de visión de tres grados de amplitud, casi todas las manchas amarillentas de la imagen son una galaxia elíptica. Las galaxias elípticas NGC 1399 y NGC 1404 son los miembros más brillantes y dominantes de este cúmulo. Una galaxia espiral barrada de gran tamaño y destacada, NGC 1365, es visible en la parte superior derecha como un miembro prominente.



© Abdullah Al-Harbi

### Cisne

Dos importantes nebulosas de gas y polvo hacia la constelación del Cisne (Cygnus) se destacan mientras se desplazan a través de ricos campos estelares en el plano de nuestra Vía Láctea. Captadas aquí, están la Burbuja de Jabón (abajo a la izquierda) y la Nebulosa Creciente (arriba a la derecha). Ambas se formaron en la fase final de la vida de una estrella. También conocida como NGC 6888, la Nebulosa Creciente tomó forma cuando su brillante y masiva estrella Wolf-Rayet central, WR 136, arrojó su envoltura exterior con un fuerte viento estelar. Quemando combustible a un ritmo prodigioso, WR 136 está cerca del final de una corta vida que debería terminar en una espectacular explosión de supernova. Descubierta en 2013, la Nebulosa de la Burbuja de Jabón es una nebulosa planetaria. Ambas nebulosas están a 5.000 años luz de distancia.



### M1

La Nebulosa del Cangrejo está catalogada como M1, el primer objeto en la famosa lista de Charles Messier. El Cangrejo es un remanente de supernova, restos de la explosión de una estrella masiva presenciada por los astrónomos en el año 1054. Esta nítida imagen de la NIRCam (cámara de infrarrojo cercano) y MIRI (Mid-Infrared Instrument) del telescopio espacial James Webb explora la nube de escombros interestelares aún en expansión en luz infrarroja. Uno de los objetos más exóticos conocidos por los astrónomos modernos, el Pulsar del Cangrejo, una estrella de neutrones que gira 30 veces por segundo, es visible como un punto brillante cerca del centro de la nebulosa. La Nebulosa del Cangrejo, que abarca unos 12 años luz, está a sólo 6.500 años luz de distancia en la constelación de Tauro.



### M51

M51, es una galaxia a 31 millones de años luz de distancia, en la constelación Canes Venatici. Presenta una estructura espiral similar a un remolino vista casi de frente, también catalogada como NGC 5194. Sus brazos espirales y franjas de polvo pasan frente a una galaxia compañera (derecha), NGC 5195. Esta imagen notablemente profunda muestra detalles sorprendentes del par de galaxias y los extensos desechos de las colas de marea. La imagen incluye 255 horas de datos, incluidos de banda estrecha que también revelan una vasta nube brillante de gas hidrógeno ionizado rojizo descubierta en el sistema.