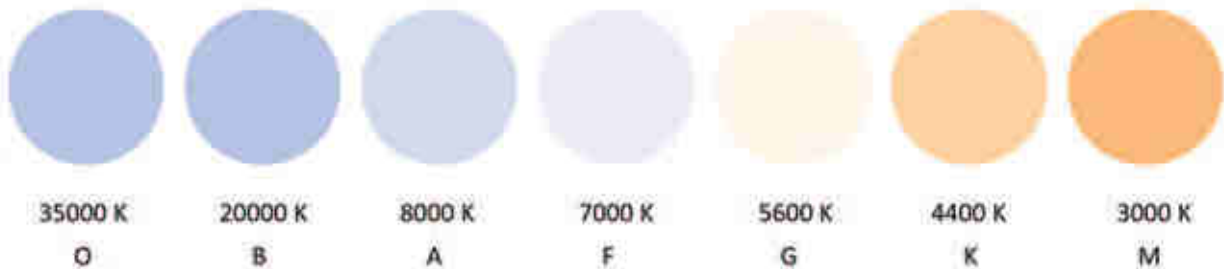


Supergigantes, gigantes y enanas

UN ROJO PARA CADA UNO

Autor: Dr. Guillermo Abramson. Centro Atómico Bariloche, CONICET e Instituto Balseiro.
guillermoabramson.blogspot.com



Color aproximado de las siete principales clases estelares, de acuerdo a la temperatura característica de sus superficies. Estos colores pueden parecer diferentes de los que se usan habitualmente en mapas estelares o publicaciones, pero son buenas aproximaciones a cada temperatura (salvo características de la impresión o ajustes de la pantalla donde se los vea). Se puede consultar, por ejemplo, WolframAlpha.com, usando: "color of a star at 3000 K", que dará además varias características de las estrellas que se ajusten a la descripción (funciona mejor en inglés que en español).

“Hay un rojo para cada uno”, decía el influyente modisto francés Christian Dior. En astronomía podríamos decir lo mismo, pero hablando de estrellas en lugar de alta costura. En la diversidad de colores de las estrellas brillantes siempre despiertan curiosidad las pocas luminarias rojas: Betelgeuse, Antares, Aldebarán, Gácrux. Pero hay estrellas más rojas, de una enorme variedad de tonos, que son mucho más tenues y se necesitan binoculares o telescopio para verlas. Son tan hermosas e interesantes que vale la pena aprender a encontrarlas.

Hay un hecho evidente para quien observe el cielo nocturno con un poco de atención: las estrellas son todas distintas. Tienen distintos brillos y también distintos colores. La diversidad de brillo obedece a dos razones de igual rango: una estrella puede verse brillante ya sea porque es intrínsecamente brillante, o porque no lo es tanto pero está cerca nuestro. O puede ser intrínsecamente muy luminosa (un millón de veces más que el Sol, digamos), pero encontrarse tan lejos que apenas brille en el cielo. El color, en cambio, se debe prácticamente a una única razón: corresponde a la temperatura de la superficie de la estrella. Las estrellas azules son las más calientes (a decenas de miles de grados), y progresivamente encontramos las blanco-azuladas, las blancas, las amarillas, las anaranjadas y finalmente las rojas, a unos

3000 K¹. La gran mayoría de las estrellas brillantes son azules o blancas, pero un puñado se destaca con un color rojizo. Entre ellas hay algunas, de primera o segunda magnitud, bien conocidas por los aficionados: Betelgeuse, Antares, Aldebarán. Pero apenas empezamos a observar atentamente las estrellas más tenues, la cantidad de estrellas rojas aumenta enormemente, y también la variedad de tonos de rojo.

¿Qué tan rojo?

Los astrónomos caracterizan el color de las estrellas con un índice, que se calcula como la diferencia de magnitud fotografiada a través de distintos filtros que dejan pasar un rango estrecho del espectro de luz estelar. El índice más usado es el B–V: la diferencia entre la magnitud azul (centrada en la longitud de onda de 445 nm, nanómetros²) y la magnitud “visual” (filtro verde-amarillo, centrado en 551 nm). Como el brillo estelar aumenta con valores decrecientes de magnitud, si la estrella brilla más en azul que en verde la diferencia da negativa: son las estrellas azules. Para las estrellas rojas es al revés: brillan menos en azul que en verde, y el índice B–V da positivo. Cuanto más positivo, más roja es la estrella. El índice de color vale aproximadamente –0.3 para las estrellas más azules (Spica en Virgo, las Tres Marías en Orión, Naos en Puppis, por ejemplo). Estrellas blancas, como Vega, tienen índice 0. Las dos estrellas que forman la amarillenta Alfa Centauri tienen índices de color +0.71 y +0.88 (es habitual escribir explícitamente el signo “más” cuando el índice es positivo). Las estrellas rojas son las que tienen B–V mayor que +1.5. Existen otros índices de color: usando un filtro ultravioleta se construye el índice U–B (para estrellas muy calientes) o, usando rojo e infrarrojo el R–I (para objetos más fríos). Pero el índice B–V es el más usado para la inmensa mayoría de las estrellas. De todos modos, incluso al día de

hoy, distintos catálogos tienen distintos valores de estos índices. En esta nota hemos usado los valores reportados por el sistema *Simbad* del Centro de Datos Astronómicos de la Universidad de Estrasburgo, Francia (¡segundo!), que es una referencia internacional.

Gigantes y enanas

Existen tres tipos de estrellas rojas: supergigantes, gigantes y enanas. Las gigantes y supergigantes rojas son estrellas que se encuentran al final de sus vidas. Han agotado el hidrógeno para producir energía en sus núcleos y se han expandido enormemente, lo cual ha enfriado su superficie volviéndolas rojas. Las **supergigantes rojas** son estrellas muy masivas (entre 8 y 40 masas solares). A pesar de ser intrínsecamente muy luminosas (entre decenas de miles, y hasta 100 mil veces más luminosas que el Sol), son tan inmensas que sus superficies están a temperaturas entre 3500 y 4000 K, por lo cual son rojas. Se trata de una etapa breve de su existencia, y la acelerada fusión de elementos cada vez más pesados en sus núcleos las lleva a pasar por etapas de brillo pulsante y cambios de color, hasta que finalmente explotan como supernovas. Betelgeuse (B-V +1.85)

01 *La estrella más cercana al Sol, Próxima Centauri, en medio de un campo de estrellas distantes de la Vía Láctea. El autor de esta foto, Enzo de Bernardini, la ha fotografiado en años sucesivos mostrando su rápido movimiento:*
astronomiasur.com.ar/astrofoto-proxima-centauri.html.

02 *El sistema triple 40 Eridani (catálogo SAO 131063) contiene la primera enana blanca en ser descubierta, que es además la más fácil de observar para los aficionados. La acompaña una enana roja.*

03 *Mimosa y el Rubí forman un par muy contrastado de brillo y color en la Cruz del Sur. Hemos marcado el índice de color de otras estrellas rojas típicas del campo, para destacar la diferencia.*

01

Enzo de Bernardini



y Antares (B-V +1.84) son supergigantes rojas.

Las **gigantes rojas** son también estrellas muy evolucionadas, pero de menor masa (entre 0.5 y 8 masas solares), y menos luminosas que las supergigantes. La fusión de hidrógeno continúa en una capa delgada alrededor de un núcleo de helio. Las más masivas llegan a fusionar algo de helio en carbono. Todas ellas terminan expulsando las capas exteriores, formando a su alrededor efímeras *nebulosas planetarias* y exponiendo sus núcleos en forma de *enanas blancas*, rescoldos supercalientes de materia exótica, que se enfrían muy lentamente. Gácrux (Gamma Crucis, B-V +1.59) es la más cercana de las gigantes rojas, y también lo es Aldebarán (B-V +1.54). Arcturus, ligeramente menos roja (B-V +1.23), también es una gigante roja.

Los aficionados habrán observado que muchos cúmulos estelares abiertos tienen una o dos estrellas rojas en medio de un racimo de azules y blancas. Las estrellas de estos cúmulos nacieron todas a la vez, y las más masivas consumieron su combustible nuclear más rápido, siendo las primeras en convertirse en gigantes o supergigantes rojas, muchas veces antes de que el cúmulo acabe dispersándose en la galaxia. Es el caso, por ejemplo, de la estrella que forma parte del palito del asterismo en forma de letra "A" del cúmulo NGC 4755, el Joyero, junto a la Cruz del Sur (figura 07). Esta estrella, DU Crucis (B-V +2.16), es una supergigante muy luminosa (más de 50 mil veces la solar), pero su temperatura superficial de apenas 3600 K la hace contrastar hermosamente con las otras estrellas de brillo similar en el cúmulo, todas ellas supergigantes azules. Configuraciones similares pueden verse en muchos otros cúmulos abiertos, tales como NGC 2451 en Puppis y en el cúmulo Mariposa (M 6) en Escorpio. El bien conocido M 44 (el Pesebre), en Cáncer, en cambio, si bien tiene varias estrellas gigantes, ninguna de ellas es tan roja como para llamar la atención. Pero gigantes y supergigantes rojas son escasas, precisamente porque corresponden a una etapa relativamente

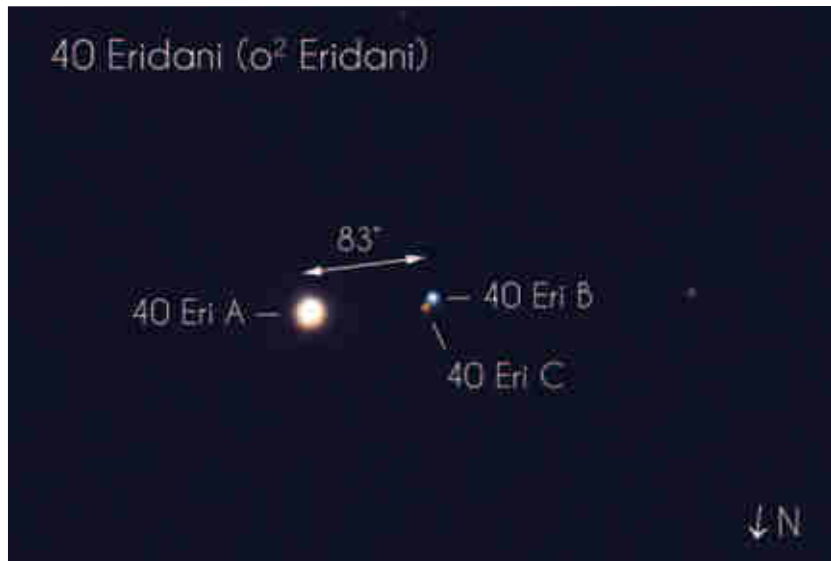
breve de la evolución estelar. La gran mayoría de las estrellas rojas son las **enanas rojas**. No solo eso, sino que son el 75% de todas las estrellas de la Vía Láctea. Son estrellas muy livianas, entre 8% y 50% de la masa solar, y muy poco luminosas. Fusionan hidrógeno en sus núcleos, la fase que en general abarca la mayor parte de la vida de cualquier estrella. Solo que, en este caso, lo hacen tan lentamente y con

tanta eficiencia que es una etapa que dura muchos miles de millones de años. Algunas de ellas tardan 10 mil años en emitir la radiación que el Sol emite en un día. Por estas razones, ninguna enana roja es visible a simple vista. Así que son un lindo desafío para buscarlas con binoculares o en fotos.

La más famosa enana roja es Próxima Centauri, la estrella más cercana al sistema solar, a apenas 4.2 años luz de nosotros. Es la tercera estrella del sistema de α Centauri (que forma parte del Puntero de la Cruz del Sur). Pero su órbita es tan amplia, y están tan cerca, que a Próxima no la vemos cerca del par α Centauri AB

en el cielo, sino a un poco más de 2° hacia el sudoeste. Próxima brilla apenas con magnitud 11 ($B-V +1.82$), y en medio de la multitud de estrellas de la Vía Láctea puede ser difícil de identificar (figura 01). Es una estrella con un 12% de la masa del Sol, con una luminosidad de apenas el 0.0056% de la del Sol (en el espectro visible; contando el abundante infrarrojo que producen estas estrellas frías, llega al 0.16%).

La enana roja más brillante es mucho más fácil de encontrar. Se trata de la estrella AX Microscopii ($B-V +1.41$), que a magnitud 6.7 está un poco por debajo del límite visual, pero que es fácilmente observable en binoculares. También es una estrella muy cercana, a 12.9 años luz. Como en el caso de Próxima, estas estrellas muy cercanas se mueven bastante rápidamente en el cielo de un año al otro, de manera que es importante usar un buen sistema para localizarlas con respecto a sus vecinas. Los mapas que acompañan esta nota



corresponden a sus posiciones actuales.

También es fácil de encontrar una enana roja que forma parte de un sistema triple encantador. Se trata de la estrella 40 Eridani (α^2 Eri), de cuarta magnitud, visible a simple vista (figura 02). La estrella más brillante del trío tiene nombre propio: Keid (amarillo-anaranjada, con $B-V +0.82$). La segunda es una enana blanca ($B-V +0.3$, magnitud 9), el núcleo supercaliente de una estrella muerta (que habrá sido bien roja en sus tiempos). Fue la primera enana blanca en ser descubierta, a principios del siglo XX, y su naturaleza fue un enigma durante muchos años hasta que la física cuántica encontró una explicación, que dejamos para otra ocasión. En órbita alrededor de la enana blanca, la tercera estrella es una enana roja ($B-V +1.68$, magnitud 11). El trío es muy fotogénico, como vemos en la imagen.

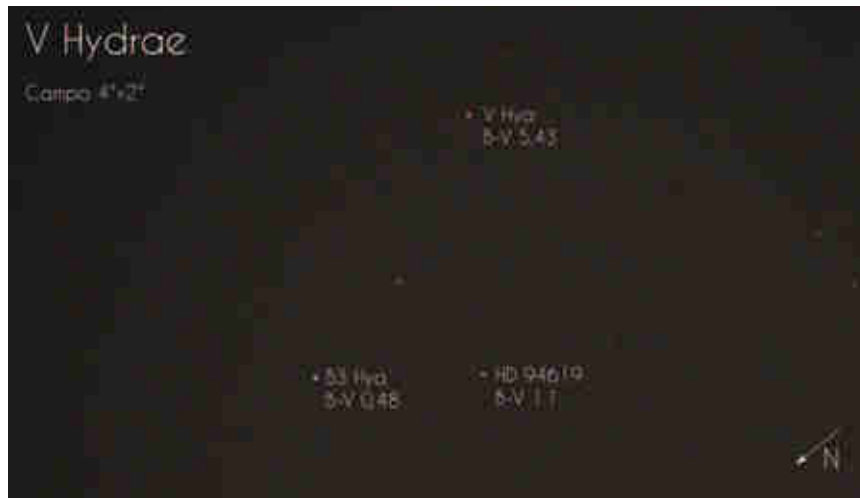
Estrellas asintóticas

Las estrellas rojas que hemos mencionado, y las similares

a ellas, tienen índices de color entre +1.5 y +2.5. Pero existen estrellas mucho más rojas, estrellas tan rojas que hacen que Betelgeuse o Antares parezcan apenas anaranjadas. Son también gigantes rojas, pero de una clase especial: las *estrellas de carbono*. Están en la última, *últimísima* etapa de su evolución, al final de lo que se llama *rama asintótica de gigantes* (AGB, por la sigla en inglés). Son estrellas

03





que tienen más carbono que oxígeno en sus atmósferas. Como son tan frías (no más de 3000 K) el carbono forma una especie de hollín de moléculas como CO, CO₂, CH, CN, C₂, C₃, SiC₂, que enrojecen aún más su luz (como ocurre con la luz del Sol al atardecer). Debido a su muy baja gravedad superficial, estas estrellas pierden grandes cantidades de materia, a un ritmo un millón de veces mayor que el del viento solar. Así, mucho carbono se dispersa en el medio interestelar, donde acabará formando parte de subsiguientes generaciones de estrellas y planetas. Nuestro carbono, tan esencial para nuestra biología terrestre y hasta para nuestra civilización, en buena medida viene de estrellas de carbono de generaciones anteriores al Sol. Todas ellas son estrellas de brillo variable, y su color varía ligeramente en un largo período de cientos de días, siendo más rojas en los mínimos.

Una de las estrellas de carbono más estudiadas es La Superba, bautizada así por el Padre Angelo Secchi, famoso astrónomo italiano del siglo XIX, pionero de la espectroscopía y la astrofísica. El calificativo (que está convertido en nombre oficial) se debe precisamente a su notable color rojo (B-V +2.54). Brilla apenas debajo del límite visual en

04 *V Hydrae, junto a un asterismo triangular de magnitud similar, que ayuda a encontrarla. La foto está ligeramente desenfocada para resaltar el color de las estrellas.*

05 *Las estrellas π Gruis brillan cerca de una galaxia interesante para los aficionados, una espiral barrada muy parecida a nuestra Vía Láctea.*

la constelación de Canes Venatici, así que no está bien ubicada para observarla desde el hemisferio sur.

Otra estrella de carbono famosa es R Leporis, que el astrónomo británico John Russell Hind describió como “*del más intenso carmesí, como una gota de sangre sobre el cielo negro*”. La encontramos a 7.5 grados al sudoeste de Rigel. Su magnitud varía mucho, entre 5 y 11, y su índice B-V es un impresionante +5.75, especialmente notable cuando está cerca de su mínimo de brillo (¡ay, cuando es

más difícil encontrarla!).

Igualmente roja y mucho más fácil de encontrar es DY Crucis, el Rubí de la Cruz (B-V +5.8). Se encuentra pegada a la brillante Mimosa (β Crucis), y así la describió John Herschel: “*El más completo y profundo rojo granate; el más intenso rojo sangre de cualquier estrella que haya visto. Es como una gota de sangre, en contraste con la blancura de β Crucis*”. Beta Crucis (B-V -0.23) es bastante más azul que blanca, hay que decir, así que el contraste, en color y en brillo, es encantador (figura 03).

Compitiendo con R Lep y con DY Cru por el puesto de estrella más roja del cielo, tenemos otra estrella notable: V Hydrae (B-V +5.43, figura 04). Es bastante fácil de encontrar en la parte media de la larga Hidra, más o menos a igual distancia de las estrellas α de Crater y v de Hydra. Usualmente está a magnitud 7, pero como todas las estrellas de carbono, tiene pulsaciones de brillo cada 530 días, más adicionales caídas hasta magnitud 13. V Hya es una estrella de evolución tan avanzada que a veces se



la considera post-AGB, ya construyendo la nebulosa planetaria final, algo que manifiesta en forma de un disco a su alrededor y (lo más raro) eyecciones de materia muy colimada a alta velocidad, que han sido llamadas “balas de plasma”, que emite cada 8.5 años. Es la única estrella que se conoce haciendo algo semejante, por lo cual se sospecha que es una etapa muy breve, y que está dando importante información acerca del mecanismo de construcción de las nebulosas planetarias.

Compañeras desiguales

Como en el caso de Mimosa y el Rubí, o el de 40 Eridani, las estrellas dobles o múltiples de colores contrastantes son particularmente encantadoras, y más aun cuando las magnitudes son parecidas. Un par famoso es Albireo (β Cygni), formada por dos estrellas separadas por apenas 35 segundos de arco. Albireo A es una gigante anaranjada (B-V +1.13) y su compañera, algo

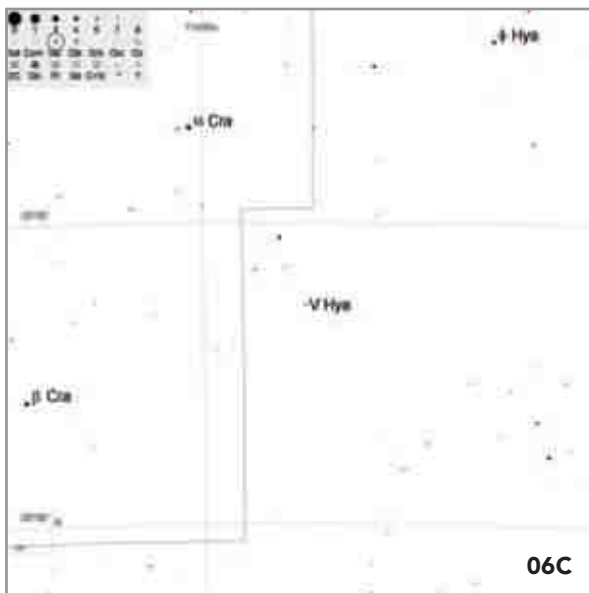
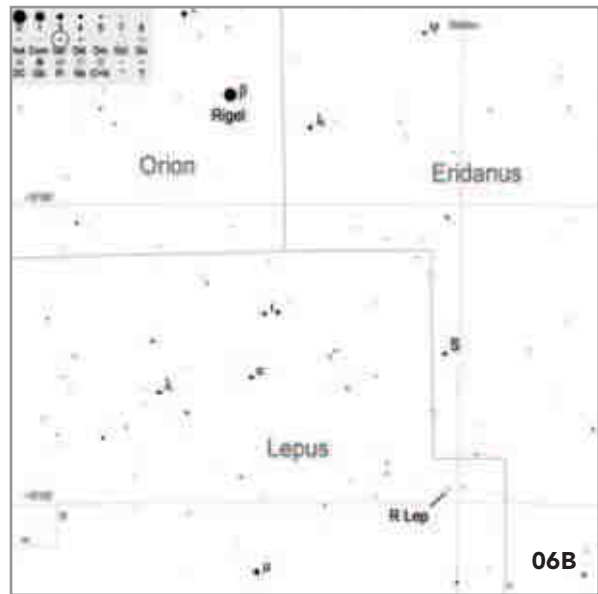
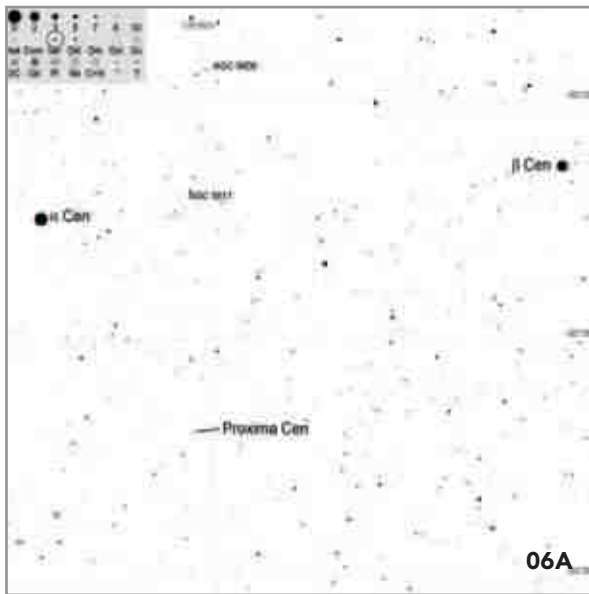
06 *Cartas celestes para encontrar algunas de las estrellas rojas mencionadas. Notar que el norte celeste está hacia arriba, y que cada carta tiene una escala diferente.*

A- Próxima Centauri, la estrella más cercana al Sol, está muy separada de Alfa Centauri (un par de estrellas en torno al cual gira la enana roja), y está “perdida” en un mar de estrellas de fondo de magnitud similar.

B- Para buscar R Lep (catálogo SAO 150058), se puede empezar por la azul Rigel, en Orión, y encontrar la constelación de la Liebre (Lepus).

C- Para apuntar hacia V Hya (catálogo Hip 53085) hay que encontrar la tenue constelación de la Copa (Crater), cuyas estrellas α y β son de cuarta magnitud.

D- La constelación del Microscopio es muy tenue, pero la estrella roja AX Mic (catálogo SAO 212873) es la enana roja más brillante del cielo y una de las más fáciles de encontrar.



Estrellas de carbono adicionales

Para quienes se entusiasmen con las recomendadas, dejamos en esta tabla algunas estrellas de carbono adicionales, bien ubicadas para observadores del hemisferio sur. Búsquenlas en su software favorito.

Estrella	Magnitud visual	B-V
U Hydrae	4.82	+2.69
U Antliae	5.38	+2.84
X Tri. australis	5.81	+3.38
W Orionis	6.10	+3.42
X Cancri	6.40	+3.23
SS Virginis	6.60	+4.19
Y Hydrae	6.63	+3.82
V Pavonis	6.67	+3.44
T Cancri	7.60	+4.47
TT Scorpii	8.18	+3.76
RT Capricorni	8.90	+4.02
U Apodis	11.00	+3.81

menos brillante, es bien azul (B-V -0.1). Otro caso muy bonito es el de π Gruis (figura 05), formada por dos estrellas a 4 minutos de arco una de la otra. La estrella π^2 Gru es blanco-azulada (B-V +0.36), mientras que π^1 Gru es roja (B-V +2.07). Se trata además de una estrella rarísima, más inusual aún que las estrellas de carbono. Es una gigante que se encuentra también al final de la etapa AGB, pero con iguales cantidades de carbono y oxígeno en su superficie, y con raros elementos pesados, como el titanio y el zirconio (forman una clase en sí mismas, llamada S). Tiene además la particularidad de que, por ser inmensa y encontrarse relativamente cerca, es una de las pocas estrellas de las cuales se ha podido fotografiar su superficie (usando técnicas de *interferometría*, es decir varios telescopios funcionando como uno), revelando los patrones característicos de convección de estas estrellas frías.

Tips para observar o fotografiar estrellas rojas

El ojo humano necesita un mínimo de brillo para apreciar el color (¡por eso “de noche todos los gatos son pardos”!). Por esta razón, si se puede, conviene usar binoculares o telescopio para observar estas estrellas, especialmente las más tenues. Hay que centrar la estrella en el campo del ocular (donde son mínimas las aberraciones ópticas de cualquier instrumento), y probar a desenfocar un poquito. Así, la luz de la estrella se extiende formando un disquito que permite apreciar mejor el color. Este truco también funciona en fotografía (como hicimos en la foto de V Hya), ya que cuando el enfoque es perfecto las estrellas pueden saturar los receptores de la cámara y salir blancas. Hay que probar desenfocando hacia ambos lados, ya que puede verse distinto de cada lado del foco.

También conviene observar cuando las estrellas se encuentran relativamente altas en el cielo (a más de 20 grados de elevación, e idealmente cerca de su *culminación*, cuando cruzan el meridiano local). Así se evitará el enrojecimiento adicional que produce la atmósfera terrestre. Finalmente, como mencionamos, muchas de estas estrellas son de magnitud variable. Conviene revisar en la AAVSO³ para comprobar el estado de la estrella en su ciclo, o para elegir la más conveniente fecha de observación. ■

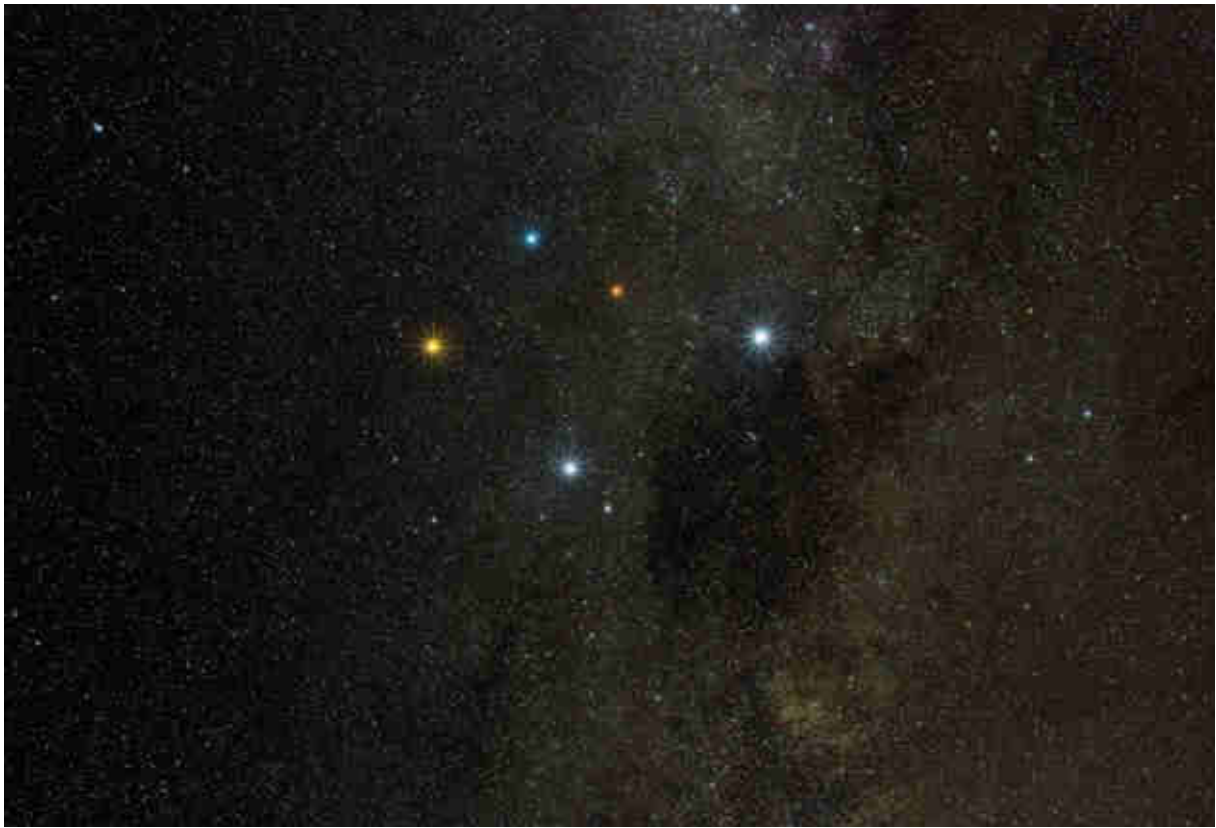
Notas

1 El Kelvin es la unidad de temperatura absoluta que usamos los físicos. Se llama así, Kelvin, no “grado Kelvin”, y su símbolo es la letra K. El tamaño de un Kelvin es igual al de un grado Celsius, así que es fácil imaginarlo. La escala, sin embargo, comienza en -273.15°C .

2 1 nm es una millonésima de milímetro, o una milésima de micrón, y equivale a 10 Å (ángstroms).

3 La AAVSO es la Asociación Americana de Observadores de Estrellas Variables. Es una organización internacional que permite a los aficionados participar en una fascinante actividad de la astronomía científica. Visiten su sitio web en www.aavso.org, donde hay una herramienta para graficar curvas de luz de todas las estrellas relevadas. Muchos astrónomos argentinos y latinoamericanos participan, y siempre hay actividades en castellano.





Carlos Di Nallo

Sergio Eguívar



Matías Tomasello



07 El cúmulo estelar NGC 4755, llamado el Joyero, exhibe una multitud de cientos de estrellas tenues, entre las que se destacan unas pocas azules brillantes y una única estrella bien roja (se puede buscar con su número de catálogo SAO 252073). Es fácil de encontrar y de observar, incluso, con binoculares. Hay que apuntar a la estrella Beta Crucis, la segunda más brillante de la Cruz del Sur, y el cúmulo del Joyero aparecerá muy cerca (apenas abajo a la derecha, en la imagen grande). Apenitas por encima de Beta Crucis (en la imagen de abajo a la izquierda), además, aparece DY Cru (catálogo Tyc 8659-1394-1), otra enana roja.