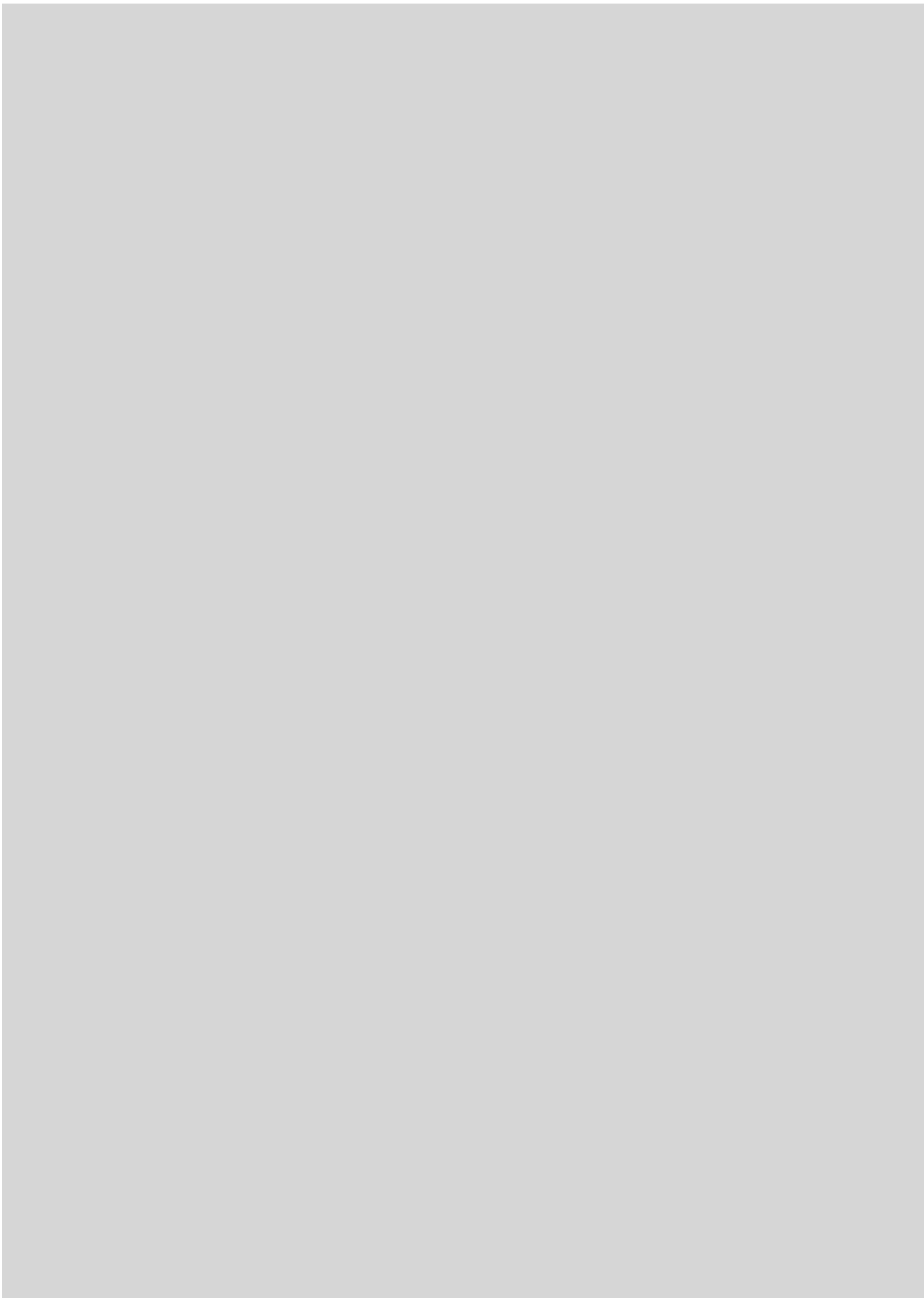


**TEMAS 7**

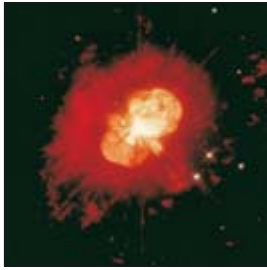
INVESTIGACION  
*y*  
CIENCIA

**La vida  
de las estrellas**

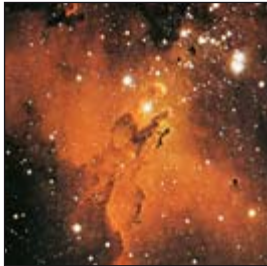




# Sumario

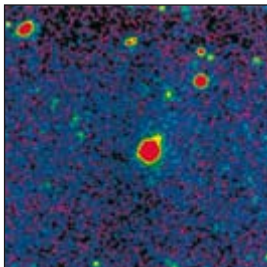


**Polvo cósmico** ..... 2  
*Ulf Borgeest*



**Los glóbulos de Bok** ..... 14  
*Robert L. Dickman*

**Los orígenes de las estrellas** ..... 26  
*Steven W. Stahler*



**La propulsión a chorro de las estrellas jóvenes** ..... 34

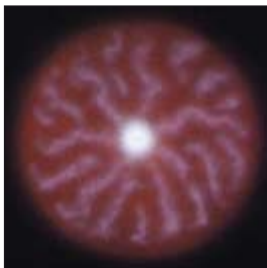
**Nubes moleculares, formación de estrellas y estructura galáctica** ..... 36  
*Nick Scoville y Judith S. Young*



**Supernovas y formación de estrellas** ..... 50  
*William Herbst y George E. Assousa*

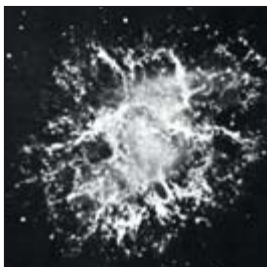
**Génesis de los púlsares** ..... 58  
*Jesús Gómez González*

**Colapso y formación de estrellas** ..... 70  
*Alan P. Boss*



**Heliosismología** ..... 77  
*John W. Leibacher, Robert W. Noyes, Juri Toomre y Roger K. Ulrich*

**Astrosismología** ..... 88  
*Juan Antonio Belmonte Avilés, Fernando Pérez Hernández y Teodoro Roca Cortés*



**Así explota una supernova** ..... 98  
*Hans A. Bethe y Gerald Brown*

**Nacimiento y muerte de la nova V1974 Cygni** ..... 108  
*Sumner Starrfield y Steven N. Shore*

# Polvo cósmico

Ulf Borgeest

*La Vía Láctea y las demás galaxias espirales están atravesadas por agregados de partículas muy finas. Aunque estos velos nos oculten parte del universo remoto, tienen una importancia capital en el nacimiento de las estrellas y de los sistemas planetarios*

---

**T**odavía a principios del siglo XX la mayoría de los astrónomos consideraba que el espacio situado entre las estrellas estaba prácticamente vacío. Pero Johannes Franz Hartmann (1865-1936) descubrió en 1904 desde el observatorio de Potsdam (Berlín) que en el espectro de la estrella binaria próxima  $\delta$  Orionis, Mintaka, las líneas de absorción no podían ser de origen estelar, sino que debían ser causadas por el gas situado a lo largo del trayecto entre la Tierra y las estrellas. El americano Edward E. Barnard (1857-1923) se dio cuenta finalmente de que las numerosas zonas desprovistas de estrellas que hay en la banda brillante de la Vía Láctea no es que carezcan de

materia, sino que se trata de nubes de gas cuyo contenido de partículas de polvo es relativamente grande y absorben la luz de las estrellas situadas tras ellas.

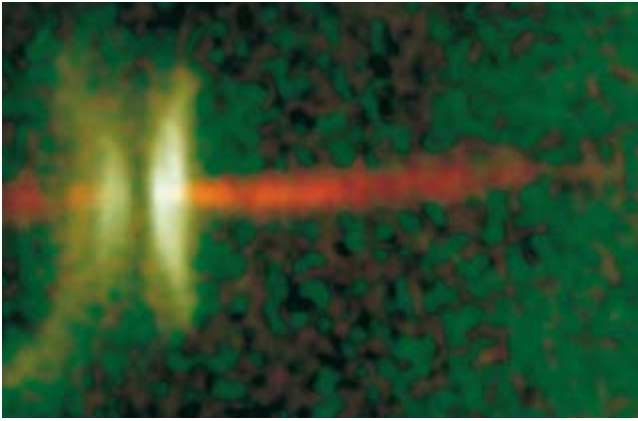
Muchas de estas nubes oscuras interestelares cubren áreas del cielo de extensión considerable y tienen forma irregular; algunas, sin embargo, se nos presentan como muy compactas y redondeadas (*figura 1*). El astrónomo Bart J. Bok (1906-1983) fue el primero que sospechó, en 1942, que tales globulillos pudieran ser la antesala de las protoestrellas. Como la radiación de las estrellas vecinas no puede penetrar muy profundamente en su interior, éste se encuentra relativamente frío, lo que permite que los

glóbulos se contraigan por su propia gravitación, desatando el proceso de la formación estelar.

Hace 4600 millones de años que el Sol se formó de un conglomerado de gas y polvo similar. Una nube constituida principalmente de hidrógeno y de helio se encontraba en aquella época a más de 30.000 años luz del centro de la Vía Láctea. Debido a las bajas temperaturas reinantes en su interior, de sólo unos pocos grados Kelvin, la mayoría de los elementos más pesados estaban condensados en forma de granitos de polvo, ejemplos de los cuales pudieran ser partículas de carbono similares al hollín, cristallitos de silicatos o hielos de agua y de amoníaco. Dada la poca agitación tér-



**1. PEQUEÑAS NUBES OSCURAS**, conocidas como glóbulos de Bok; están compuestas fundamentalmente de gas molecular, pero contienen además tanto polvo que apagan la luz de las estrellas situadas detrás de ellas. La poca agitación térmica que tienen las partículas del centro de los glóbulos hace que su propia fuerza gravitatoria los contraiga, terminando por convertirse en regiones de nacimiento de estrellas.



**2. LAS ÚLTIMAS FASES** de la contracción de una nube de polvo antes de convertirse en una nueva estrella son espectaculares. La fotografía de la izquierda, tomada con el telescopio espacial Hubble, muestra el objeto protoestelar HH30 situado a 450 años luz, cuyo disco de polvo circunestelar se observa de canto. La luz de la estrella recién formada ilumina las partes superior e inferior del disco, aunque el propio cuerpo iluminante esté oculto tras su densa región central. El objeto arroja dos rojizos surtidores de gas en direcciones opuestas y perpendiculares al plano del disco —los conocidos “jets” o chorros—, cuya longitud total es varias veces el diámetro del sistema solar. En una fase posterior podrían formarse satélites de la nueva estrella, gracias al polvo y al gas restantes en el disco.

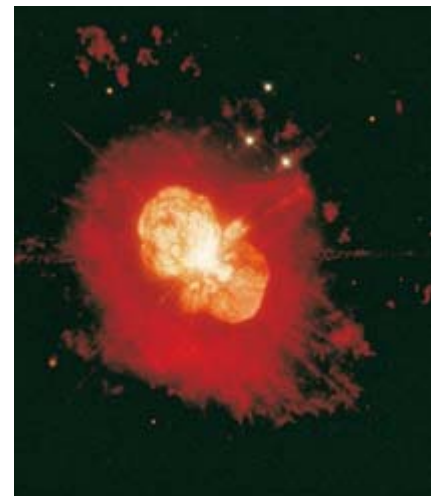
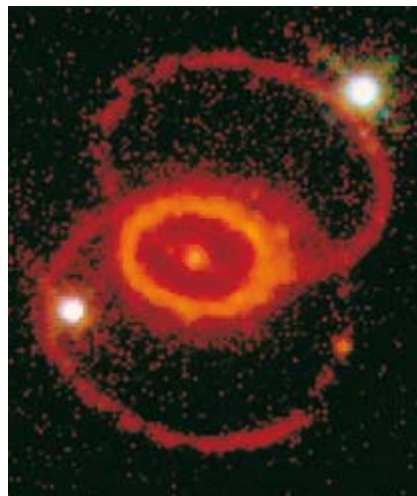
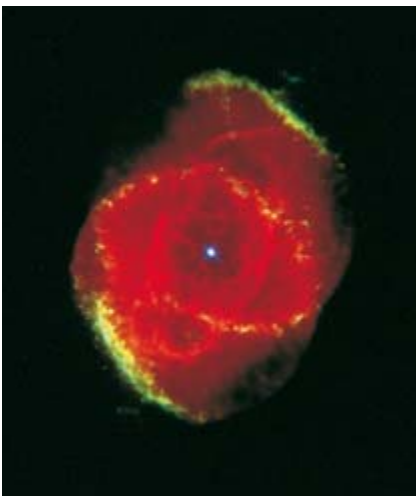
mica que tenían el gas y las partículas, predominó el efecto de la gravitación, de modo que los conglomerados de materia pudieron seguir contrayéndose. Cuanto más avanzó el desplome, tanto mayor se hizo la densidad y tanta más energía gravitatoria se convirtió en calor. Tras varias decenas de miles de años de que continuase el proceso, se llegó a una situación en la que la densidad y la temperatura del centro alcanzaron los valores a los que los núcleos de hidrógeno comienzan a fusionarse, momento en el que resplandeció una nueva estrella.

Este proceso sigue ocurriendo actualmente en muchos lugares de nuestra galaxia, a pesar de lo cual no

es directamente observable, porque las densas nubes de polvo obstruyen la visión de las protoestrellas. Solamente las modernas técnicas de observación permiten que los astrónomos se formen una idea de lo que acontece poco después del nacimiento de las estrellas. Gracias a estas técnicas pueden distinguirse actualmente objetos jóvenes que ya brillan y que expulsan materia al universo en forma de violentos chorros, pero que todavía están rodeados por un disco de polvo circunestelar (véase la figura 2).

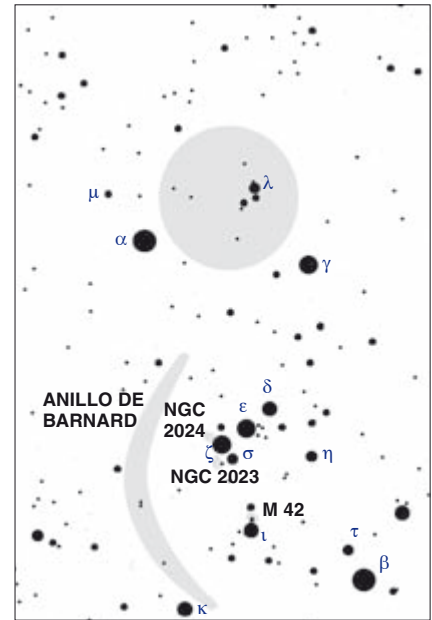
Las estrellas también expulsan una parte importante de su masa en la fase final de su evolución (figura 3). Parte del gas disponible, que está enrique-

cido con elementos pesados, generados bien en su interior, a través de la fusión nuclear, bien en anteriores explosiones de supernova (y que constituyeron parte del material que intervino en la formación de la estrella), se condensa en este caso en forma de polvo y se vuelve disponible para la formación de una nueva generación de estrellas. Es así como el polvo desempeña un papel importante en la circulación de los elementos dentro de la Vía Láctea y en la evolución de otros miles de millones de galaxias. Los elementos de los que está formada la Tierra, con sus seres vivos incluidos, entre los que nos encontramos nosotros, los seres humanos, también han pasado varias veces por el



**3. EN LAS ÚLTIMAS ETAPAS** de su evolución las estrellas pierden sus capas externas, lanzando gas y polvo al espacio interestelar. El Sol, como otras estrellas de masas similares, terminará por formar una nebulosa planetaria, expulsando así de manera relativamente suave una parte considerable de su masa (la fotografía de la izquierda corresponde a la nebulosa NGC 6543, situada en la dirección del polo norte de la eclíptica y conocida también como la del Ojo de Gato). En cambio las estrellas de mayor masa explotan con una energía monstruosa, expulsando más de la mitad de sí mismas en fracciones de segundo. Es el caso de la supernova 1987A, que resplandeció en la Pequeña Nube de Magallanes en febrero de 1987; siete años más tarde aparece rodeada de un sistema de tres anillos brillantes (foto central). En los sistemas de estre-

llas dobles cercanas pueden producirse repetidas explosiones, cuando el gas de una gigante roja hinchada se precipita sobre una estrella compañera pequeña y, en períodos de tiempo más o menos regulares, detona como una bomba de hidrógeno. Un objeto especialmente interesante, que claramente ha experimentado varias erupciones, es  $\eta$  Carinae, quizá la estrella de mayor masa y luminosidad de la Vía Láctea (derecha). A pesar de encontrarse a una distancia de más de 10.000 años luz de nosotros, llegó a ser la segunda estrella más brillante del firmamento durante una erupción que sufrió hace unos 150 años; las capas de gas que fueron eyectadas entonces forman ahora una nebulosa brillante de polvo y de gas (NGC 3372, la nebulosa del Homúnculo). Las tres fotografías fueron tomadas por el telescopio espacial Hubble.



4. LA CONSTELACION DE ORION es uno de los espectáculos más impresionantes del cielo nocturno. Incluso a simple vista puede verse su nebulosa (cuya denominación astronómica es M42), en forma de manchas difusas situadas debajo de las tres estrellas del llamado cinturón ( $\zeta$ ,  $\epsilon$  y  $\delta$  Orionis). Las fotos tomadas con exposiciones largas, como ésta de Eckhard Slawick, permiten ver además otras nubes de gas y de polvo con estructuras rojizas. Un arco semicircular (que se denomina el anillo de Barnard en honor a su descubridor, el americano Edward E. Barnard) atraviesa la región sudeste de la constelación y es probable que sea parte de una burbuja interestelar de materia lanzada al espacio durante la formación de un grupo de estrellas en las cercanías de la nebulosa de Orión. Otro anillo de polvo y de gas rodea la estrella  $\lambda$  Orionis. En las cercanías de la estrella  $\zeta$  Orionis, Alnitak, pueden verse también las nebulosas NGC 2024 y NGC 2023, que se muestran luego en la figura 6.



**5. SOLO LA LUZ INFRARROJA** permite ver que toda la región de la constelación de Orión está atravesada por una enorme nube de gas y de microscópicos granos de polvo. Esta foto, tomada con el satélite infrarrojo IRAS, muestra la misma región del cielo que la figura 4 y representa la radiación de las partículas de polvo que se calientan por absorción de la luz

de las estrellas. La temperatura de las partículas de la imagen disminuye del rojo al azul, pasando por el amarillo. Se distingue fácilmente el anillo alrededor de  $\lambda$  Orionis y la estrella Betelgeuse ( $\alpha$  Orionis) en el margen izquierdo. La nebulosa de Orión se encuentra en el centro de la mancha brillante de color blanco-amarillento de la mitad inferior de la foto.



**6. LAS CERCANIAS DE LA ESTRELLA ζ ORIONIS en luz visible.** Su gran brillo la hace aparecer sobreexpuesta en esta fotografía, pero a cambio pueden distinguirse las estructuras detalladas de las nubes de gas y de polvo vecinas. Llama la atención la nebulosa de la Cabeza de Caballo (Barnard 33), que se perfila como un espolón compacto de una enorme nube oscura que ocupa la parte izquierda de la fotografía, sobre el fondo de una fina nebulosa rojiza de emisión (IC 434); el color de esta última procede de la emisión del hidrógeno ionizado por la radiación ultravioleta de una estrella caliente. Las nebulosas azules por reflexión, como lo es NGC 2023, situada en la parte superior izquierda de la Cabeza de Caballo, pertenecen a nubes oscuras que dispersan la luz de aquellas estrellas que no alcanzan la temperatura necesaria para ionizar las nubes de gas. A la izquierda de ζ Orionis y atravesada por densas nubes oscuras se encuentra la nebulosa de emisión NGC 2024; la presunta estrella que la hace brillar se oculta tras una gran cantidad de polvo.

ciclo de intercambio de materia que se produce entre las estrellas y el medio interestelar.

El polvo acuña la imagen que tenemos del universo de un modo directo, pues las oscuras nubes no sólo ocultan el centro y muchas de las estrellas de nuestra galaxia, sino también buena parte de las galaxias lejanas y, con ello, del universo más reciente. Y la mayoría de los cuásares, tan importantes para conocer la evolución temprana del universo y que son los cuerpos celestes más lejanos que pueden verse, se encuentran detrás de enjambres de galaxias que contienen polvo.

### Polvo galáctico

Vista desde el exterior, la Vía Láctea parece un conglomerado de estrellas en forma de disco delgado, que tiene una llamativa estructura espiral. La abundancia de polvo en el medio interestelar gaseoso es del uno al dos por ciento. En promedio, existe un átomo de gas por centímetro cúbico, mientras que se necesita el volumen de un cubo de 30 metros de lado para encontrar un único grano de polvo, que puede que no llegue ni a la millonésima de gramo. Pero su monstruosa extensión permite al espacio interestelar contener, a pesar de ello, materia equivalente a una parte considerable de la masa total de las galaxias (aproximadamente el diez por ciento).

La consecuencia de todo esto es que la materia interestelar sólo se hace evidente allí donde se concentran muchas nubes densas de variopinta apariencia. El diferente aspecto que presentan las llamadas nebulosas depende fundamentalmente de la forma en que han nacido, de su densidad y del modo en que resplandece su materia, según lo haga iluminada por otras fuentes de radiación o absorbiendo su luz.

En la dirección de la constelación de Orión se observa un grupo de nubes de polvo de especial espectacularidad (como reflejan las figuras 4 y 5). Esta constelación ocupa unos  $30 \times 20$  grados cuadrados de cielo (lo que corresponde a unas tres mil veces la superficie de la Luna llena) y está situada a una distancia de 1500 años luz. Las estrellas más brillantes de Orión, las que le confieren su conspicua forma, están situadas delante de la nube, mientras que la luz de las más lejanas resulta dispersada o absorbida por el polvo y no puede percibirse a simple vista. Esta región del cielo permite