

## **SOBRE LOS GLÓBULOS DE BOK**

El astrónomo norteamericano de origen holandés Bart J. Bok (1906-1983) nos habló ya en 1947 de las características particulares de una clase especial de nubes oscuras interestelares de las que propuso considerarlas como criaderos de estrellas, como lugares donde se forman las estrellas.

Se trata de nubes aproximadamente esféricas de polvo y gas interestelar que a nuestra observación destacan sobre un fondo estrellado o sobre zonas luminosas de gas. La observación indica que se contraen y que, en consecuencia, podría tratarse de estrellas en formación. Se encuentran inmersas en el contexto del disco galáctico, retenidas por las fuerzas autogravitatorias del disco.

### **Detección:**

Se trata de pequeñas nubes interestelares, por lo que, para detectarlas, es necesario la fotografía de larga exposición realizada con telescopios de gran envergadura, si bien es verdad que algunas de mayor tamaño pueden detectarse a simple vista por su opacidad sobre un fondo brillante estelar, y ya eran conocidas por astrónomos de la antigüedad aunque, obviamente, sin establecer su naturaleza.

Para la detección óptica de estas nubes oscuras es conveniente que se den tres características básicas:

- En primer lugar, la nube oscura debe contener a lo largo de nuestra visual de observación polvo y gas suficiente para que disminuya sensiblemente el número de estrellas que se ve a través de su estructura.
- En segundo lugar, para poder establecer la existencia de la nube es preciso que el fondo de estrellas donde se encuentra sea muy denso, con un número relativamente alto de estrellas por unidad de área, a fin de que la disminución de estrellas en la zona del glóbulo no pueda atribuirse a fluctuaciones estadísticas de la posición de las estrellas sobre el fondo de la bóveda celeste.
- Y una tercera característica, bastante útil, sería que la nube no esté demasiado alejada de nuestro sistema solar, al objeto que las estrellas que aparezcan en la línea de visión entre nuestra posición y la situación de la nube no dificulten su localización.

La zona del plano diametral de la galaxia es donde más nubes oscuras han sido observadas, pues se distinguen mucho más claramente sobre la densidad estelar del disco. Señalemos, en particular el conjunto de nubes oscuras

interestelares encadenadas que cubren una amplia zona de las constelaciones de Cisne y Aguila, y que se conoce como la *Grieta del Cisne*.

### La naturaleza de los glóbulos:

Aparentemente, en las fotografías de larga exposición aparecen como verdaderos agujeros sobre el fondo estelar. A finales del siglo XIX y principios del siglo XX se les consideraba realmente así, como "agujeros en el cielo", esto es, como zonas de vacío real en el contexto interestelar. Todo ello, a pesar de que ya en la última mitad del siglo XIX había sido propuesto por el astrónomo ruso G. W. Struve que se considerase a estas zonas como bloques de gas y polvo absorbente de la luz.

Fue a principios del siglo XX cuando se inicia un amplio debate sobre la naturaleza de estos objetos especiales, protagonizado por astrónomos prominentes como E. Emerson Barnard, o Maximilian Wolf, que sistematizaron el estudio de la observación astronómica mediante fotografía estelar. En particular Barnard publicó en 1919 un informe en donde establecía la naturaleza real de estas nubes oscuras como aglomerados inmensos de polvo y gas interestelar.



Detalle de NGC 3576



Detalle de NGC 3603

### La cohesión de los glóbulos:

Bart J. Bok, junto con E. F. Reilly estaban siguiendo un programa de investigación en busca de nubes que pudieran ser criaderos de estrellas, nubes opacas en las que se pudieran formar por autogravitación estrellas nuevas, cuando, en 1947, repararon sobre la existencia de este tipo especial de nubes redondeadas o lenticulares y con un nivel de opacidad bastante grande. La opacidad pronunciada indicaría una gran cantidad de polvo y gas en un volumen pequeño, esto es, una alta densidad, y el carácter redondeado nos mostraría que las fuerzas de compresión gravitatoria habrían comenzado a actuar sobre la nube en el proceso que la llevaría al colapso y por consiguiente a la formación de nuevas estrellas.

Los llamados *Glóbulos mayores de Bok* son grandes nubes muy opacas y redondeadas, de las que han sido catalogadas ya alrededor de un centenar. Aunque en general resulta bastante complicado en Astronomía establecer el carácter redondeado, con simetría, de los diversos objetos observados, pues al aumentar el nivel de definición surgen siempre irregularidades diversas,

podemos considerar a estos glóbulos, a fin de estudiarlos de forma diferenciada, como nubes opacas interestelares de una mínima conformación de regularidad geométrica.

Los *Glóbulos menores de Bok*, en cambio, son compresiones ínfimas de materia interestelar, de una enorme oscuridad, que generalmente observamos proyectadas sobre regiones de fondo de HII, lo que indica su situación física entre nuestro punto de observación y dichas regiones HII. El conocimiento de estas pequeñas nubes es menor que el que tenemos de los glóbulos mayores, y su carácter alargado, menos esférico, nos hace pensar en una posible distorsión gravitacional y electromagnética debida a su probable cercanía a las regiones ionizadas sobre las que se observan proyectadas, y de las que incluso podrían formar parte.

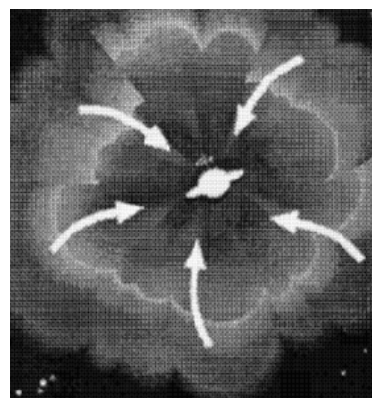
### El posible colapso autogravitacional:

Para estudiar la hipótesis de Bok de que los glóbulos son objetos gravitacionalmente inestables que colapsarán para formar una o más estrellas, es necesario realizar un análisis completo de la estructura de los glóbulos.

Puesto que no se conocen datos observacionales fehacientes de que se estén formando estrellas en el interior de los glóbulos, es necesario estudiar los procesos físicos que puedan producir el desplome de estas nubes interestelares. La causa principal del desplome es la gravitación que tiende a comprimir, a aplastar, la nube de polvo y de gas. Y se opone al efecto gravitacional tanto la presión térmica del interior de la nube como otros elementos perturbadores tales como la acción de campos magnéticos, la rotación estructural de la nube, o la posible existencia de turbulencias de tipo hidrodinámico.



Detalle de IC 2944 donde se aprecian los glóbulos de Bok



En ciertas condiciones puede producirse el desplome de la nube oscura interestelar

- La presión térmica que tiende a equilibrar las fuerzas de autogravitación:

Para analizar la presión térmica del interior de la nube, que tiende a oponerse a las fuerzas gravitatorias de compresión es necesario tener en cuenta fundamentalmente tanto la masa como el radio de la nube y la temperatura predominante en su interior.

La acción de la gravitación en el sentido de aplastar a la nube gaseosa depende de su masa y del radio interno de la estructura de gas y polvo. Esta dependencia es de forma directa de la masa y es de forma inversa del radio,

mientras que la resistencia a esta acción autogravitatoria depende directamente de la temperatura interna.

Se tiene, en definitiva, que a mayor masa y menor radio la acción autogravitatoria de compresión del glóbulo es más intensa, mientras que el aumento de temperatura interior aumenta la presión térmica resistente a la acción gravitatoria.

Si consideramos fijos la masa y la temperatura interna del gas de la nube, la autogravitación depende del radio, puesto que la fuerza gravitatoria de atracción entre objetos depende inversamente de la distancia entre ellos. Cuanto más pequeño es el radio del glóbulo, mayor es la acción autogravitatoria. Existirá en definitiva un valor  $r_0$  crítico del radio de la nube por debajo del cuál se produce el colapso.

El problema práctico a resolver consiste tanto en determinar observacionalmente la masa del glóbulo, como la medida aproximada de su radio, así como la estimación de su temperatura interna.

En cuanto a la determinación de la masa, es necesario el uso de la fotografía estelar, utilizándose comúnmente el método estadístico de los recuentos estelares para conocer el grado de oscurecimiento que produce el polvo constituyente del glóbulo. El hidrógeno, aproximadamente se determina suponiendo que se cumple que es constante la proporción entre el polvo y el hidrógeno calculada por Lilley. No está, de todos modos, exenta de posibles errores de estimación esta forma de cálculo de la masa de una nube oscura interestelar.

La medida del radio puede hacerse también usando los recursos de la fotografía estelar. Mediante la determinación de su tamaño aparente en la fotografía, puede calcularse el radio real utilizando el conocimiento de nuestra distancia a la nube. También en el cálculo del radio real de la nube oscura existe una aproximación acotada por límites de error.

Para conocer, por otra parte, la temperatura del interior de la nube interestelar es necesario el recurso de la radioastronomía de rayas moleculares.

El método más usado hoy es el de la observación de las rayas moleculares emitidas por formas isótopas del monóxido de carbono, pues es el monóxido de carbono la molécula más difundida en el medio interestelar. En las mismas pautas que permiten la conversión de hidrógeno atómico a hidrógeno molecular es muy sencilla la observación de la raya espectral del monóxido de carbono a longitud de onda de 2,6 mm. Esta raya espectral procede de dos niveles de rotación de la molécula del monóxido de carbono cuyas poblaciones están termalizadas, esto es, en un estado estacionario de equilibrio entre los procesos de excitación y de caída radiativa, reflejándose en esta situación de forma adecuada la temperatura del hidrógeno molecular de la nube. La temperatura típica de las nubes interestelares resulta ser de alrededor de unos 10 K, salvo notables excepciones, como los glóbulos Barnard 5 o Lynds 134 (18 K y 14 K aproximadamente).

- Los campos magnéticos como retardadores del colapso gravitacional:

Los campos magnéticos actúan en el glóbulo como fuerzas retardadoras de la compresión gravitatoria. Del mismo modo en que se oponen los polos opuestos

de un imán, la acción de los campos magnéticos tienden a oponerse a la autogravitación en los glóbulos.

Sin embargo, los campos magnéticos en el interior de la nube son generalmente extremadamente débiles en glóbulos de geometría aproximadamente esférica, pues caso contrario, si el campo magnético fuera relativamente fuerte, tendería a modificar, alargándolo, la geometría del glóbulo, aparte de aumentar la temperatura interna del mismo.

- Las turbulencias hidrodinámicas en la nube:

Las turbulencias son el movimiento arremolinado del gas y el polvo en el interior de la nube oscura. La presión adicional que provocan las turbulencias se debe, principalmente, a que los remolinos en la nube chocan entre sí, ofreciendo resistencia a la autogravitación.

La confirmación de que los glóbulos de Bok son realmente criaderos de nuevas estrellas, por encontrarse en fases de colapso gravitacional, sería, obviamente, encontrar por lo menos uno de estos glóbulos en donde aparezca al menos una estrella o un cúmulo estelar en proceso de formación, lo cual presenta mucha dificultad puesto que la masa habitual de los glóbulos típicos no pasa de unas cien masas solares, mientras que, por otra parte, son miles de masas solares las masas de las grandes nubes moleculares en donde se sabe que se forman estrellas y sistemas estelares.

### **Bibliografía:**

STRUVE, Otto; ZEBERGS, Velta; Astronomy of the 20th Century. Mc Millan Company, 1962.

LYNDS, B.T.; Nebulae and Interestelar Matter. University Chicago Press, 1968

ZUCKERMAN, B.; PALMER, Patrick; Radio raditation from interestellar molecules. Annual Review of Astronomy and Astrophysics, vol 12, 1974

DICKMAN, Robert, Los Glóbulos de Bok, Investigación y Ciencia\_ Temas 7, 1997