

ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE ETA CARINAE

por LIVIO GRATTON
Observatorio Astronómico, La Plata

1. La famosa variable η Carinae, por sus variaciones de brillo sin igual, su espectro y su posición en una región galáctica muy notable, es una de las estrellas más interesantes de todo el cielo. Una serie de investigaciones de la estrella misma y de sus alrededores, que es una prosecución de los importantes trabajos de Gaviola, está planeada en nuestro Observatorio, pero parece útil presentar en esta ocasión algunas consideraciones de carácter preliminar con la finalidad de una orientación general sobre los problemas particulares de esta estrella.

Es cosa muy conocida que la región de η Car es una de las más ricas en estrellas O y Be. Las figuras 1 y 2 muestran la distribución de las estrellas O—B3 del Catálogo Draper. La tendencia a formar aglomeraciones es particularmente notable entre las estrellas O; evidentemente éstas forman una asociación estelar del tipo descubierto por Ambartsumian. La *Asociación O de Carina* está incluida en una lista del Observatorio Burakhan⁽¹⁾.

12 estrellas O y las dos conocidas estrellas de tipo P Cygni, AG Car y GG Car se encuentran en el interior de un círculo con radio $2^{\circ},5$ y centro en η Car; allí se encuentran también

(1) Las publicaciones del Observatorio Burakhan no llegan a La Plata. Además de la Conferencia de Ambartsumian en el Symposium de Roma sobre la evolución de las estrellas, la única mención que se pudo encontrar de la Asociación de Carina es en el resumen de las investigaciones rusas publicado por Kurganoff en *Astronomical News Letters*, nº 64.

el cúmulo galáctico NGC 3324 y la gran nebulosidad difusa que rodea η Car, conocida como la «nebulosa de la cerradura» (Keyhole nebula, Fig. 3). Entre 10^h09^m y 11^h20^m sólo 4 estrellas O caen afuera del círculo mencionado; puede tratarse de miembros alejados de la asociación o de estrellas independientes.

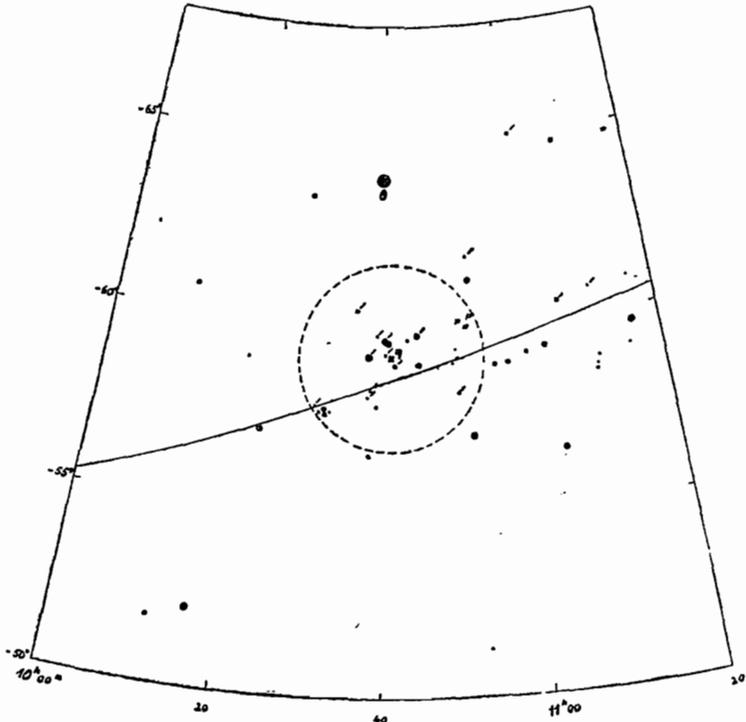


Fig. 1

La señorita Anger⁽²⁾ encontró otras 6 estrellas O en la región, no incluidas en el Catálogo Draper, de manera que no puede dudarse de la realidad de la asociación. Bok⁽³⁾ en su conocido estudio de la región de η Car mostró que la gran nebulosa está seguramente relacionada con estas estrellas de los primeros tipos que son las que excitan su luminosidad. El obtuvo para la nebulosa y las estrellas asociadas una distancia de 1100 ps.

⁽²⁾ Harvard Circ. 373, 1932.

⁽³⁾ Harvard Repr. 77, 1932.

Mucho menos clara es la relación entre la nebulosa y las numerosas estrellas de tipo de B3 en adelante que se encuentran en esta región. Es indudable que muchas deben pertenecer a la asociación, pero un gran número de ellas son seguramente objetos más cercanos o más lejanos que se proyectan en la misma parte del cielo, inclusive el pequeño cúmulo alrededor de ϑ Car.

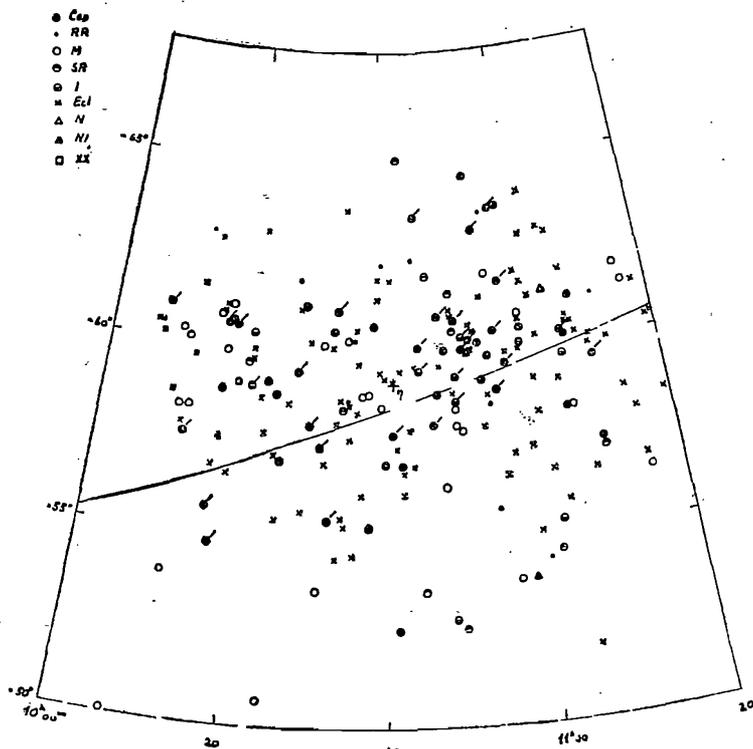


Fig. 2

La distancia obtenida por Bok en 1932 está basada sobre los datos siguientes: a) las paralajes espectroscópicas de las estrellas de los primeros tipos determinadas por Anger, y b) la ausencia de absorción interestelar.

La falta de absorción entre el Sol y la nébula, sin embargo, parece poco probable según los datos modernos. Como es sabido, muchos investigadores⁽⁴⁾ encontraron en el plano galác-

(4) Cfr. PARENAGO, Uspeki Astronomitcheski Nauk, Vol. 4, 106, Moscú, 1948.

tico una absorción de hasta 3 m/kps (en luz fotográfica) y no parece que en este sentido la región de η Car pueda considerarse excepcional, como muestran los recuentos estelares del mismo Bok. Las conclusiones de Bok del 1932 dependen de que él no pudo encontrar un exceso de color sensible en sus observaciones de las estrellas B de la región. Sin embargo mediciones recientes de color por Oosterhoff⁽⁵⁾ y por Bok y Van Wijk⁽⁶⁾, empleando fotómetros fotoeléctricos, muestran que muchas estrellas en esta región tienen excesos de color muy considerables.

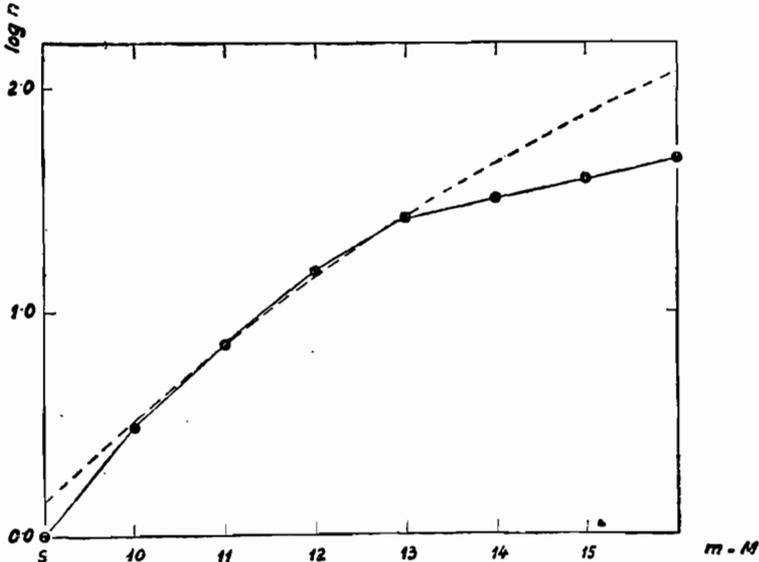


Fig. 3

Ahora, no es fácil separar el exceso de color debido a la absorción general de aquel debido a la nebulosa, puesto que las estrellas observadas están seguramente más o menos profundamente sumergidas en aquella. Pero una absorción total de algo como una magnitud y media (visual) para el promedio de las estrellas de la asociación y mucho más para algunas, más veladas por la nebulosa, es sin duda una estimación razonable⁽⁷⁾.

Por otra parte las magnitudes absolutas de Anger para las

⁽⁵⁾ B. A. N. 11, 299, 1951.

⁽⁶⁾ A. J. 57, 213, 1952.

⁽⁷⁾ Véase también la discusión por D. HOFFLEIT, Harvard Ann. 119, 37, 1953.

estrellas de los primeros tipos son seguramente incorrectas por errores de escala y de punto cero. Por ej., la magnitud absoluta espectroscópica de las estrellas Oe5 de su catálogo es, en promedio, $-3,5$, mientras se esperaría un valor de aproximadamente $-4,5$.

Hasta que no se obtengan nuevas observaciones (lo que esperamos hacer en un futuro próximo), lo mejor es adoptar cierto valor medio para la magnitud absoluta de las estrellas de los tipos O—B3 y calcular el módulo de distancia, $m - M$, en base a la magnitud media. Debido al posible efecto de selección (especialmente para las estrellas B hay mayor probabilidad que sean observadas las estrellas intrínsecamente más brillantes), es conveniente adoptar una magnitud absoluta algo más brillante de la que corresponde a la Secuencia Principal. Se obtiene así la Tabla siguientes; en ésta es muy probable que el valor bajo de $m - M$ obtenido para las estrellas B3 se debe a que varias

Esp.	\bar{m}	Nº estr.	M_{ad}	$\bar{m} - M$
Oe5	8,7	6	$-4,5$	13,2
BO	7,9	7	$-4,2$	12,1
B1	8,0	3	$-3,8$	11,8
B2	9,2	10	$-3,3$	12,5
B3	8,6	16	$-2,8$	11,4
Estr. c	7,8	8	$-5,5$	13,3

entre éstas son gigantes o supergigantes, de manera que el valor adoptado para M es demasiado débil.

De estas maneras, atribuyendo peso 1/2 al tipo B1 y 2 al tipo B3 (a causa del número de estrellas en cada grupo), se halla para el módulo aparente de distancia de la asociación O en Carina

$$m - M = 12,3.$$

Estimamos que un valor más elevado (hasta 13,0) es bastante probable, pero la posibilidad de un valor mucho más bajo debe ser casi seguramente excluida.

No es fácil comparar en los detalles la discusión de Hoffleit⁽⁷⁾ de las magnitudes absolutas de las estrellas O y B de la región, pero sus conclusiones son idénticas a las nuestras.

Merrill y Burwell⁽⁸⁾ alistan 16 estrellas Be en esta región, 7 de las cuales a menos de 2,5 de distancia de η Car. Si suponemos que estas últimas pertenezcan a la asociación (con motivo de su gran aglomeración en esta parte de la Galaxia), podemos

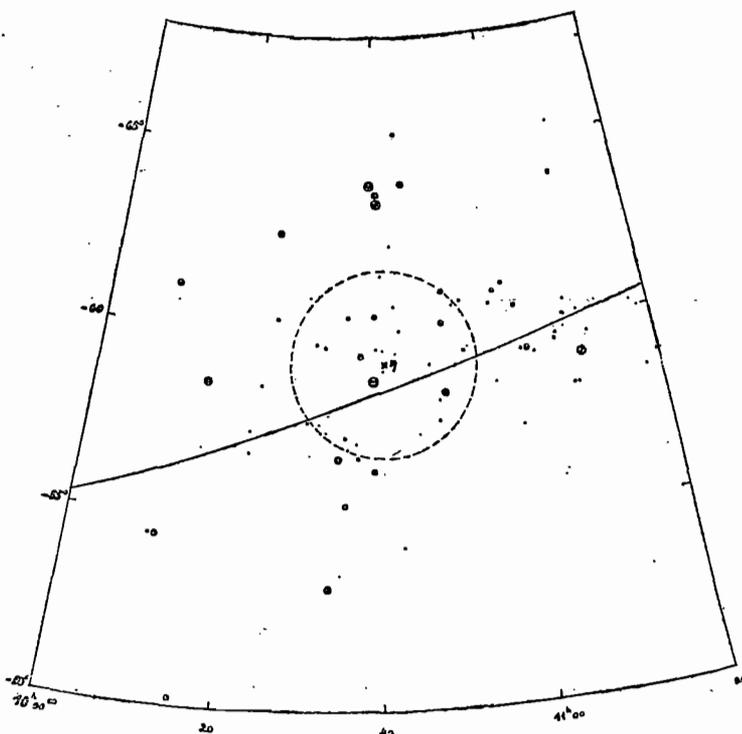


Fig. 4

obtener otra estimación de la distancia. Su magnitud aparente es en promedio 8,0; una magnitud absoluta de $-4,5$ (lo que daría un módulo aparente de 12,5) está de acuerdo con el valor comúnmente aceptado para las estrellas Be.

Muy interesante es el estudio de las Cefeidas. La figura 4 muestra la distribución de las variables de tipo conocido con-

(⁸) M. Wilson Contr., nº 471, 1933.

tenidas en el Catálogo de Kukarkin y Parenago. La uniformidad de la distribución, comparada con la de las estrellas O y B es muy notable e indica que seguramente no hay relación entre

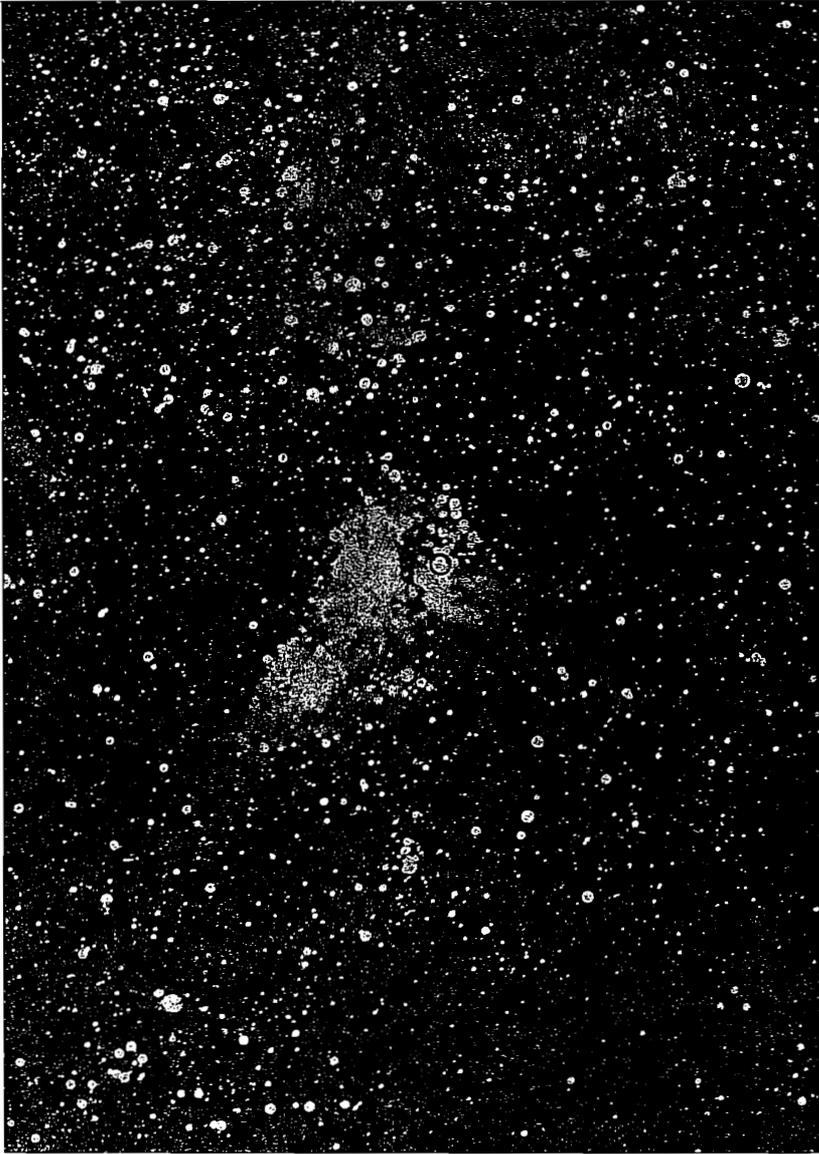


Fig. 5

las variables y la asociación. Hay muchas Cefeidas delante de la nebulosa y, sin duda, detrás también.

Ahora, como para las Cefeidas la magnitud absoluta se conoce en base al período, se puede calcular el módulo de distancia $m-M$ y contar cuántas entre ellas tienen un valor de $m-M$ menor de un valor dado. La figura 5 muestra los resultados de tal recuento, comparados con los números que pueden calcularse en la hipótesis de una densidad espacial uniforme y de una absorción fotográfica de 3 m/kps. Los números observados y calculados concuerdan bien hasta $m-M=13,0$; pero para Cefeidas más lejanas los números observados son demasiado pequeños. Desde luego, esto puede ser debido a una disminución de la densidad espacial de las Cefeidas con la distancia o al no haber sido observadas todas las Cefeidas más débiles. Pero como las variables conocidas de magnitud 13 y 14 son numerosas en esta región, pensamos que lo que se observa es el efecto de la absorción de la nebulosa; si esta interpretación es correcta las observaciones muestran que el borde más cercano de la nebulosa corresponde a un módulo de distancia $m-M=13,0$.

El valor así encontrado debe, sin embargo, ser corregido primero para reducir la absorción de visual a fotográfica y luego por el punto cero de la relación período-luminosidad. Las dos correcciones son más o menos iguales y de signo contrario, de manera tal que este razonamiento confirma un valor del módulo aparente de distancia del orden de 13.

Para la discusión se puede entonces adoptar

$$m - M = 12,3$$

como se encontró anteriormente. Con una absorción de 1,5 magnitudes, esto corresponde a una distancia de 1400 ps. Como se hizo notar, es posible que el módulo aparente sea algo mayor, pero por otra parte es también probable que la absorción haya sido subestimada, de manera que se puede adoptar con bastante confianza como *distancia media de la asociación O en Carina*.

$$1400 \text{ parsecs}$$

con un error que puede estimarse no mayor del 20 %. La Señorita Hoffleit llega en su discusión al valor de 1300 ps y estima que este es probablemente un poco bajo.

Sería importante tener una confirmación de estas conclusiones. Desgraciadamente no hay por ahora ninguna posibilidad de aplicar los métodos conocidos para determinar la distancia de estrellas lejanas. Por ejemplo, muchas de las estrellas O y B de la asociación están incluidas en el Catálogo General de Boss; pero después de aplicar las correcciones sistemáticas del G. C., su movimiento propio medio es prácticamente cero.

Más promisor es el método basado sobre la rotación galáctica, en la hipótesis de que la velocidad media de las estrellas de la asociación sea idéntica a la velocidad circular en la Galaxia. Hay tres probables miembros de la asociación y la nebulosa misma con velocidad radial conocida; pero uno de ellos es una estrella Oe, cuya velocidad observada no corresponde a la velocidad verdadera de la estrella. Adoptando para ésta la velocidad que resulta de las líneas de emisión y dándole peso 1/2, hallamos una velocidad radial media de -9 km/sec. Esta no difiere mucho del valor -6 km/sec que se obtiene sumando la componente del movimiento solar reflejado (18 km/sec hacia $270^\circ + 30^\circ$) y la debida a la rotación galáctica para una distancia de 1400 ps.

2. En varias ocasiones se sospechó una relación entre η Car y la gran nebulosa de la cerradura, pero Bok mostró que con seguridad la variable no puede ser la causa del brillo de la nebulosa. Por supuesto esto no quiere decir que no exista otra clase de relación (por ejemplo, una relación genética) entre la estrella y la nebulosa y que la primera no se encuentre envuelta en la otra. Si fuera así, deberíamos llegar a la conclusión de que η Car también es un miembro de la asociación O, lo que a priori es muy probable por su posición estratégica en la asociación y en la nebulosa.

Como es sabido, η Car fué medida en varias ocasiones como estrella múltiple. Gaviola⁽⁹⁾ discutió hace cuatro años todas las observaciones disponibles, llegando a la conclusión de que las diferentes «componentes» no son otras cosas que «condensaciones» en una pequeña nébula descubierta por él mismo⁽¹⁰⁾

⁽⁹⁾ Ap. J. 111, 408, 1950.

⁽¹⁰⁾ Revista Astronómica, 18, nº 5, 1946; Nature, 158, 403, 1946.

y por Thackeray⁽¹¹⁾. Gaviola mostró también que estas condensaciones se alejan de la estrella como si hubiesen sido emitidas por aquella en 1843, año en que η Car alcanzó su máximo brillo; los movimientos centrifugos observados están entre $0'',032$ y $0'',075$ por año.

El espectro de η Car, sin llegar a la complejidad de aquel de una Nova, es bastante complicado; varias componentes con velocidades radiales diferentes han sido observadas tanto en emisión como en absorción⁽¹²⁾ ⁽¹³⁾. Sin embargo, es muy probable que la velocidad de expansión de la masa principal de la nebulosa que rodea la estrella, obtenida desde el desplazamiento de las líneas de absorción más intensas, sea del orden de 475 km/sec⁽¹³⁾.

Ahora, no está muy claro a cual de los movimientos observados de las condensaciones discutidas por Gaviola corresponda esta velocidad; seguramente no al más lento, porque sería muy improbable que esto se efectúase perpendicularmente al rayo visual; aún el más rápido podría corresponder a una sensible inclinación. De todas maneras, en la suposición de que $0'',075$ por año a la distancia de estrella correspondan a 475 km/sec, se halla una distancia de 1340 ps. Siguiendo las mismas líneas de razonamiento, Thackeray⁽¹⁴⁾ llega a una distancia de 1200 ps.

Pese a la inevitable inseguridad de las estimaciones presentadas, nos parece que los argumentos que preceden muestran de una manera convincente que *η Car se encuentra en el interior de la gran nebulosa* (eventualmente cerca del borde) y, por lo tanto, *es sumamente probable que sea un miembro de la asociación O en Carina*.

Este resultado, que consideramos muy importante, permite llegar a ciertas conclusiones muy notables sobre la naturaleza de η Car.

Antes todo, en base al módulo aparente de distancia resulta que en el momento de su máximo brillo ($m = -0,7$) la estrella

⁽¹¹⁾ Obs., 69, 31, 1949.

⁽¹²⁾ E. GAVIOLA, Ap. J. 118, 234, 1953.

⁽¹³⁾ A. D. THACKERAY, M. N. 113, 211, 1953.

⁽¹⁴⁾ Obs. 71, 167, 1951.

era un objeto excesivamente luminoso con una magnitud absoluta

$$M_{\max} = -13,0$$

y quizás más brillante. Aún actualmente η Car es un objeto intrínsecamente muy luminoso, con una magnitud absoluta visual de -5 .

Esto elimina automáticamente la posibilidad de considerar η Car como una Nova (aunque sea peculiar). Dicho sea de paso, eliminada η Car, no queda un solo caso de una Nova que sea miembro de una asociación estelar, si no se consideran las estrellas P Cygni como novas. En verdad, se puede invertir el razonamiento y afirmar que, puesto que las estrellas P Cygni se encuentran a menudo y las Novas típicas nunca en asociaciones O, debe existir una diferencia profunda entre las dos clases de objetos, pese a la semejanza superficial de sus espectros (en ciertas fases).

Desde luego, la magnitud absoluta de η Car al máximo sugiere una afinidad con las Supernovas. Pero aquí también no hay que llegar a conclusiones apuradas. Las Supernovas son objetos que suben bruscamente a un brillo colosal en pocos días, tal vez en pocas horas, y luego en el curso de unos meses o, a lo sumo, de pocos años desaparecen y en el lugar se observan, en el final, pocos residuos en forma de nebulosas de tipo peculiar, sin ningún objeto estelar bastante brillante que pueda identificarse con seguridad.

Ni el espectro actual, ni las variaciones pasadas de su brillo permiten pensar, en el caso de η Car, a fenómenos explosivos tan violentos como los de una Supernova.

Las primeras observaciones registradas de η Car remontan al comienzo del siglo XVII, pero no hay ninguna prueba de que la estrella no fuera de primera o segunda magnitud por varios siglos antes. Desde las primeras observaciones hasta el año 1843, el brillo fué aumentando más o menos irregularmente con varios máximos secundarios, por lo menos durante la primera mitad del siglo pasado⁽¹⁵⁾. Se puede así afirmar que durante los últimos 250 años la estrella emitió en el espacio bajo

⁽¹⁵⁾ *Innes*, Cape Ann. IX, 75B, 1903.

forma de radiación una cantidad de energía del orden de 10^{50} ergs y mucho más si se admite la posibilidad de una fuerte corrección bolométrica.

Otra vez esto es de un orden de magnitud completamente diferente de lo que corresponde a una Nova (10^{44} ergs), y posiblemente mayor aún de la energía irradiada por una Supernova, especialmente si consideramos que el tiempo en que η Car quedó brillante puede haber sido mucho más largo que 250 años.

Una discusión del espectro de η Car y de aquel de la nebulosidad que la rodea podrá conducir a una determinación de la masa emitida. Pero en base a consideraciones generales es razonable pensar que ésta es mucho mayor que la cantidad correspondiente para una Nova. Por ejemplo si entre la masa emitida y la energía irradiada hay la misma proporción que para una Nova, obtenemos una masa de 10^{34} gramos, considerablemente mayor que la masa del Sol.

Muy importante es una observación mencionada por Thackeray⁽¹³⁾: «Un espectro ha sido hasta ahora obtenido de una parte de la envoltura a 3'' de distancia del núcleo, incluyendo la condensación c' de Gaviola. Este espectro es muy diferente del espectro del núcleo. Hay bandas muy anchas, tipo Nova, bordeadas del lado violeta por absorción, sobre un continuo intenso. Bandas del FeII permitidas y prohibidas son todavía fuertes». Esto parecería indicar que las «condensaciones» son objetos de carácter estelar, aunque muy peculiares.

Un problema de gran interés es el de cuál podría ser la fuente capaz de desarrollar en un tiempo tan corto una cantidad tan inmensa de energía, y esto sin dar lugar a fenómenos violentamente explosivos como los de las Novas y Supernovas. En efecto la estrella parece haberse quedado en un estado semiestacionario por un tiempo considerable.

Por supuesto, este problema no puede ser considerado ahora. Pero estas consideraciones son suficientes para mostrar que los fenómenos de η Car son de un tipo completamente nuevo y diferente de todo lo que hasta ahora se conoce, tanto por su escala colosal como por su naturaleza, en forma tal que parece natural preguntarse si η Car puede considerarse una «estrella» en el sentido ordinario de la palabra. Es sumamente importante la circunstancia que un objeto tan extraordinario es casi seguramente un miembro de una asociación O y, por lo tanto, de formación muy reciente.