

VARIABLES ERUPTIVAS EN EL HALO GALACTICO

Guillermo Haro y Enrique Chavira*

Las observaciones realizadas por Iriarte y Chavira⁽¹⁻²⁾ en Tonantzintla y posteriormente las efectuadas por Haro y Luyten⁽³⁾ en Monte Palomar, aunque tienen como objeto fundamental el descubrimiento y estudio de la frecuencia y tipo de distribución de estrellas de alta temperatura en el halo de nuestra galaxia, nos han proporcionado, adicionalmente, algunos datos de interés sobre la existencia de estrellas conspicuamente azules que muestran variaciones de considerable amplitud en su luz. De manera preliminar, uno de los autores⁽⁴⁾ sugirió la posibilidad de que estas variables pertenecieran a la familia de las SS Cygni o U Geminorum. Las observaciones posteriormente obtenidas nos forzan a extender nuestro criterio, señalando la posibilidad de que entre las variables azules existentes en el halo galáctico se den diferentes representantes de variables eruptivas como pueden ser las pertenecientes a los tipos U Geminorum, Z Camelopardalis, R Corona Borealis y objetos similares a Novas. Por lo pronto, no podemos desechar la posibilidad de que algunas de las estrellas con fuerte color ultravioleta encontradas en el halo sean del tipo UV Ceti observadas durante uno de sus máximos (ráfagas). De igual modo es conveniente aclarar que, debido a los escasos datos de observación, podemos confundir variables de tipo geométrico con estrellas eruptivas. En realidad, la presente nota tiene como propósito total el llamar la atención a otros observadores, induciéndolos al estudio fotométrico y espectroscópico de las variables descubiertas.

Hasta la fecha, entre los varios miles de estrellas azules encontradas en la dirección general de los Polos Galácticos por Iriarte y Chavira⁽¹⁾, Chavira⁽²⁾, y por Haro y Luyten⁽³⁾, se han identificado varias docenas de estrellas sospechosas de variabilidad y, en forma definitiva, se ha detectado variación de gran amplitud en la luz de trece estrellas que tienen en común un fuerte color azul y ultravioleta. Es interesante insistir en que todas estas variables se destacan, por encima del promedio de las estrellas azules descubiertas, debido a su decisivo color azul ($B - V$) y a su muy fuerte color ultravioleta ($U - B$), especialmente durante el máximo. La forma en que estas variables han sido encontradas —comparando rápida y someramente sólo un par de placas tomadas en dos fechas diferentes— sugiere que un examen más cuidadoso, en un mayor número de fotografías, dará como resultado el descubrimiento de una considerable cantidad de variables azules.

En este trabajo presentamos la información preliminar obtenida sobre siete de las variables azules. Las observaciones fotográficas comprenden placas del "Sky Survey" de Monte Palomar, placas en 3 colores logradas por Haro y Luyten con la Schmidt de Monte Palomar y placas tomadas por Chavira con la Schmidt de Tonantzintla. El programa de observación que se ha iniciado en Tonantzintla y que se intenta continuar en el futuro haciéndolo extensivo a las otras variables descubiertas por Haro y Luyten y publicadas en este mismo Boletín, pág. 17, tiene un doble objeto: primero, obtener un buen número de observaciones para la construcción de la curva de luz de las variables conocidas; segundo, vigilar el comportamiento de todas las estrellas azules en las que sólo se ha sospechado variabilidad o en aquellas comprendidas en los campos observados y que hasta ahora no han mostrado cambio alguno. Este segundo propósito, eventualmente, nos ayudará a determinar qué proporción de las estrellas azules encontradas en el halo son o no variables y qué posible relación pueda existir entre el color de éstas y el tipo de variabilidad.

En la Tabla I damos los datos de observación para siete variables azules. La primera columna contiene las fechas de observación; las columnas 2 a 6, las magnitudes fotográficas determinadas en las fechas en que se observó cada una de las cinco estrellas descubiertas por Luyten y Haro⁽⁵⁾. Las magnitudes fotográficas de estas cinco primeras variables se determinaron mediante comparaciones hechas con el Area Selecta N° 68 y están dadas con una aproximación de ± 0.10 . En la columna 7 se incluyen las magnitudes fotográficas de la estrella N° 408 descubierta por Iriarte y Chavira⁽¹⁾ y, en la columna 8, las magnitudes de la estrella N° 1143 encontrada por Chavira⁽²⁾.

Los datos presentados en la Tabla I no nos parecen suficientes como para clasificar, en forma definitiva, a las estrellas estudiadas dentro de un determinado tipo de variable eruptiva. Hecha la aclaración anterior, permítasenos especular sobre este grupo de variables azules en el halo galáctico partiendo de la suposición de que todas, o la gran mayoría, no deben su gran amplitud de variación a un fenómeno fundamentalmente geométrico, sin que ésto signifique que desechemos la probabilidad de que algunas de ellas sean estrellas binarias.

Tanto las estrellas contenidas en nuestra Tabla I como las nuevas variables descubiertas por Haro y Luyten, y publicadas en este mismo Boletín, pág. 17, tienen en común un decidido color azul ($B - V$) y un muy fuerte color ultravioleta ($U - B$) durante sus máximos. En cambio, durante sus mínimos las podemos dividir en dos sub-grupos: las de color amarillo y las de color azul. Típicos ejemplos de estrellas amarillas durante el mínimo son las variables Nos. 6, 10 y 11 presentadas por Haro y Luy-

* Becario del Instituto Nacional de la Investigación Científica.

TABLE I
Variables azules en el halo

Fechas Obs.		Variable Nº 1	Variable Nº 2	Variable Nº 3	Variable Nº 4	Variable Nº 5	Estrella Nº 408	Estrella Nº 1143
23 Jul	1942				13.1			
6 Agst.	51			18.5				
7 Dic.	53	19.2						
4 Agst.	54		19.0					
6 "	54					>21.0		
1 Oct.	54				18.5			
13 Mar.	55							17.8
30 Dic.	56						15.3	
3 Ene.	57						>17.4	
27 "	57							>17.4
29 "	57							14.6
6 Feb.	57						>17.4	
3 Mar.	57						>17.4	
4 "	57						16.6	
25 "	57						16.2	
26 "	57						16.2	
2 Oct.	57				13.8*			
14 "	57					>19.2		
15 "	57				13.1			
13 Ene.	58							16.5
20 "	58							13.8
14 Oct.	58	17.0						
15 "	58		18.0					
16 "	58				13.0			
5 Nov.	58			14.0				
7 "	58					17.5		
13 Ene.	59							>17.4
14 "	59							14.8
15 "	59							14.7
19 "	59							>17.0
29 "	59							>17.4
10 Mar.	59							14.0
14 "	59						17.0	
30 Jul.	59		18.9	18.4	12.9	>19.2		
31 "	59	19.1	18.8	18.4	12.9	>19.1		
5 Agst.	59			17.2	12.9	>19.2		
7 "	59	19.0	18.9	17.8	12.9	>19.2		
10 "	59	18.9	18.9	18.3	12.9	>19.0		
27 "	59		18.9	18.3	12.9	>19.0		
28 "	59		18.9	18.4	12.9	>19.0		
29 "	59	19.1	18.9					
1 Sept.	59	19.1						
3 "	59	19.1	18.9	18.4				
8 "	59	19.1	18.9	18.4	12.9	>19.2		
9 "	59	19.1		18.4	12.9			
10 "	59	19.2		18.3	12.9	>19.2		
20 Nov.	59	16.7	19.0	18.4	12.9	>19.1		
26 "	59	19.1		18.3				
27 "	59				12.9			
29 "	59	19.1				>19.2		
19 Dic.	59				12.9	>19.2		
20 "	59	19.1		18.4				
22 "	59				12.9			
30 "	59				12.9	>19.2		16.0

* Mag. fotorója.

1.—La variable N° 1 fué observada en 15 diferentes fechas. En 13 de las placas obtenidas la variable se mantiene en el mínimo, mag. 19.0 ± 0.15 y sólo en dos ocasiones sube de luminosidad aproximadamente en 2 magnitudes. Tanto en el máximo como en el mínimo la estrella muestra color azul y es fuertemente ultravioleta.

2.—La variable N° 2 es la que muestra menor amplitud en la variación observada y es también, del grupo de 5 variables encontradas por Luyten y Haro, la menos azul durante el máximo. La magnitud media en el mínimo es 18.9 y la variación observada fué de 0.9 mag. En 12 observaciones, de fechas diferentes, sólo en una ocasión se le encontró cerca del máximo.

3.—La variable N° 3 fué observada 16 diferentes noches, conservándose en su mínimo en 13 placas (18.4 ± 0.10). La variación mayor observada fue de 4.4 magnitudes. Si la variación acaecida entre el 31 de Julio de 1959 y el 10 de Agosto del mismo año tuvo su máximo en los 4 primeros días de Agosto, la duración total del cambio de luz fue menor de 10 días.

4.—La variable N° 4 presenta características en su cambio de luz totalmente diferentes al resto de las estrellas presentadas en la Tabla I. En 20 placas, obtenidas de 1942 a 1959, se conserva extraordinariamente constante en su máximo (13.0 ± 0.10) y sólo en una ocasión baja de luminosidad 5.5 magnitudes. El color en el mínimo es bastante azul y durante el máximo es del orden de $B - V = -0.2$, $U - B = -0.8$.

5.—La variable N° 5 fue observada en 16 diferentes noches y sólo en una placa aparece en su máximo, mag. 17.5. En todas las otras placas tomadas con la Schmidt de Tonantzintla es más débil que la magnitud 19.0 y en las placas del "Sky Survey" de Monte Palomar (magnitud fotográfica límite 21.0) no aparece. La amplitud de esta variable es por lo menos del orden de 3.5 magnitudes.

6.—La estrella N° 408, descubierta por Iriarte y Chavira⁽¹⁾, muestra en sólo 8 diferentes placas cinco claras desviaciones de su mínimo, que pueden corresponder a 3 subidas al máximo o bien a magnitudes intermedias entre el máximo y el mínimo. Esta variable aparece muy ultravioleta tanto en su máxima como en su mínima luz.

7.—La estrella N° 1143, encontrada por Chavira⁽²⁾, es una variable con una amplitud observada de 3 magnitudes. En 12 diferentes observaciones se le ha encontrado cinco veces cerca del máximo y sólo 4 veces en o cerca del mínimo. El color ultravioleta de esta estrella es considerable en máxima y en mínima luminosidad.

ten en este mismo Boletín. Si consideráramos a todas estas estrellas como variables eruptivas, la interpretación de esta diferencia de color durante el mínimo nos sugiere por lo menos dos posibilidades:

Primera: Todas estas variables, excepción hecha de la variable N° 4, pertenecen a las clases U Geminorum o Z Camelopardalis, y por lo tanto son estrellas sub-enanas. Las diferencias en color durante el mínimo pueden deberse a que algunas de ellas son binarias en que una de las componentes tiene color amarillo o rojizo. En efecto, es bien sabido que algunas estrellas SS Cygni poseen componentes de tipo G y K y que, especialmente durante el mínimo, la contribución del color de la componente tardía predomina. Si esto es así, las diferencias de color durante el mínimo podrían ser indicativas de la naturaleza binaria de la variable eruptiva.

Segunda: El color rojizo durante el mínimo introduce la duda de si se trata de una variable del tipo UV Ceti que al subir al máximo muestra, especialmente, un fuerte color ultravioleta. Creemos que esta segunda posibilidad resultará más fácil de aclarar.

Por lo que se refiere a la variable N° 4, nos encontramos ante un caso de enorme interés: el comportamiento en la variación es enteramente similar al de una estrella de tipo R Corona Borealis. De acuerdo con las ideas dominantes en la astronomía contemporánea, este último tipo de variables es de alta luminosidad intrínseca y, por lo tanto, la variable N° 4, si es realmente del tipo RCB, resultará una estrella temprana, de alta luminosidad, relativamente joven y a una distancia del plano galáctico del orden de más de 20,000 parsecs.

El problema anteriormente planteado carecerá de peso si se comprueba que la variable N° 4 no es del tipo RCB (luminosidad absoluta del orden de -4), o bien que existen dos clases de RCB: unas de alta luminosidad y otras sub-enanas. El estudio espectroscópico, además del fotométrico, de esta variable, podría esclarecer este importante punto.

Las investigaciones realizadas por diferentes astrónomos a partir del trabajo pionero de Humason y Zwicky⁽⁶⁾ sobre las estrellas azules en el halo de nuestra galaxia sugieren, cada vez con un mayor número de evidencias, que este grupo de estrellas de alta temperatura comprende —además de una cierta proporción de objetos variables— muy distintos tipos de luminosidades absolutas: estrellas de alta luminosidad de la secuencia principal, estrellas sub-enanas y estrellas enanas. Esto es, una mezcla de estrellas de Población I y de Población II.

La posible existencia de un número significativo de estrellas azules de Población I en el halo y cuyas distancias al plano galáctico indiquen una vida mayor que la vida señalada por sus magnitudes absolutas, nos llevaría, necesariamente, a la conclusión de que en el halo se han formado estas estrellas y que no solamente se trata de objetos de Población I que han escapado de los brazos o del disco galáctico.

Por lo que se refiere a las estrellas azules, enanas y sub-enanas, encontradas en el halo, es altamente probable que se trate de representantes típicos de Población II similares a las estrellas que en el diagrama magnitud-color de un cúmulo globular caen en la rama horizontal o descendente azul.

Si la mayoría de las estrellas azules, enanas y sub-enanas, encontradas en el halo, tienen las mismas características de Población II que en los cúmulos globulares en el mismo halo, resultará a la vez muy probable que las variables azules provisionalmente clasificadas como del tipo U Geminorum o Z Camelopardalis puedan ser encontradas entre las estrellas muy azules de la rama azul descendente del diagrama magnitud-color de los cúmulos globulares más cercanos. Entendemos, desde luego, que la dificultad principal en este caso particular residirá en la baja luminosidad absoluta de este tipo de variables eruptivas que podrían encontrarse entre las estrellas de magnitud absoluta del orden de $+9$.

REFERENCIAS

1. Iriarte, B. y Chavira, E. Bol. Obs. Tonantzintla y Tacubaya N° 16, Pág. 3, 1957.
2. Chavira, E. Bol. Obs. Tonantzintla y Tacubaya N° 18, Pág. 3, 1959.
3. Haro, G. y Luyten, W. Trabajo en preparación.
4. Haro, G. in *Second Conference on Coordination of Galactic Research* (Cambridge: Cambridge University Press, 1959), p. 24.
5. Luyten, W. J. and Haro, G. Pub. A. S. P. 71, 469, 1959.
6. Humason, M. L. and Zwicky, F. Ap. J. 105, 85, 1947.

ERUPTIVE VARIABLES IN THE GALACTIC HALO

Even though the main purpose of the observations carried through by Iriarte and Chavira⁽¹⁻²⁾ in Tonantzintla and those effected subsequently by Haro and Luyten⁽³⁾ in Mount Palomar is that of discovering and studying the frequency and type of distribution of high temperature stars in the halo of our galaxy, they have additionally provided some interesting data on the existence of conspicuously blue stars which show considerable variations in their brightness. One of the authors⁽⁴⁾ has preliminary suggested the possibility that these variables may belong to the SS Cygni or U Geminorum family. The observations made further on compel us to extend our criterion and to mention the possibility that amongst the blue variables which exist in the galactic halo perhaps there are different representatives of eruptive variables as could be those belonging to the U Geminorum, Z Camelopardalis and R Corona Borealis types, and Novae like objects. For the time being, we cannot disregard the possibility that some of the stars with strong ultraviolet colour found in the halo may be of the UV Ceti type observed during one of their maxima (flares). Likewise it is convenient to clarify that, owing to the scarce observational data, we can confuse geometrical type variables with eruptive stars. Actually, the main purpose of the present note is to call the attention of other observers, persuading them to effect a photometric and spectroscopic study of the variables discovered.

Up to now, amongst the various thousands of blue stars found by Iriarte and Chavira⁽¹⁾, by Chavira⁽²⁾, and by Haro and Luyten⁽³⁾ in the general direction of the Galactic Poles, several dozens of stars with suspected variability have been identified, and considerable variation in the brightness of 13 stars which have in common a strong blue and ultraviolet colour has been definitely detected. It is interesting to insist that all these variables distinguish themselves from the average of the blue stars discovered because of their decidedly blue colour ($B - V$) and very strong ultraviolet colour ($U - B$), particularly during the maximum. The way in which these variables have been found —rapidly and briefly comparing only one pair of plates taken in two different dates —suggests that a more careful examination of a greater number of photographs will lead to the discovery of a considerable amount of blue variables.

In this paper we are presenting the preliminary information obtained on seven of the blue variables. The photographic observations comprise plates of the Mount Palomar "Sky Survey", 3-colour plates obtained by Haro and Luyten with the Mount Palomar Schmidt, and plates taken by Chavira with the Tonantzintla Schmidt. The observational program which has been initiated in Tonantzintla and which we intend to continue in the future, making it extensive to the other variables discovered by Haro and Luyten and published in this same Bulletin, page 17, is twofold: first, to obtain a good number of observations in order to derive the light curve of the known variables; secondly, to watch the behaviour of all the blue stars with suspected variability or of those comprised in the observed fields and which up to now have not revealed any suspected change. This second purpose will eventually help us to determine the proportion of variables amongst the blue stars found in the halo, and the possible relation that may exist between their colour and the type of variation.

In Table I we give the observational data for seven blue variables. The first column contains the dates of observation; columns 2 to 6, the photographic magnitudes determined in the dates in which each one of the five variables discovered by Luyten and Haro⁽³⁾ was observed. The photographic magnitudes of these first five variables were derived by comparisons made with Selected Area N° 68 and are given with an approximation of ± 0.10 . Column 7 includes the photographic magnitudes of star N° 408 discovered by Iriarte and Chavira⁽¹⁾, and column 8 the magnitudes of star N° 1143 found by Chavira⁽²⁾.

Notes for Table I

1.—Variable N° 1 was observed in 15 different dates. In 13 of the plates obtained the variable maintains itself in the minimum, mag. 19.0 ± 0.15 , and only in two occasions the luminosity increases approximately 2 magnitudes. Both in the maximum and in the minimum the star shows a blue colour and is strongly ultraviolet.

2.—Variable N° 2 is the one that shows less amplitude in the variation observed and, of the group of 5 variables found by Luyten and Haro, is also the less blue during the maximum. The mean magnitude in the minimum is 18.9 and the variation observed was of only 0.9 mag. In 12 observations of different dates, only in one occasion it was found near the maximum.

3.—Variable N° 3 was observed 16 different nights, maintaining itself in its minimum in 13 plates (18.4 ± 0.10). The greatest variation observed was of 4.4 magnitudes. If the variation which occurred between July 31st 1959 and August 10th of the same year reached its maximum during the first 4 days of August, the total duration of change in brightness was less than 10 days.

4.—Variable N° 4 shows totally different characteristics in its change of brightness than the rest of the stars presented in Table I. In 20 plates, obtained from 1942 to 1959, it maintains itself extraordinarily constant in its maximum (13.0 ± 0.10) and only in one occasion its luminosity decreases in 5.5 magnitudes. The colour in the minimum is quite blue and during the maximum it is of the order of $B - V = -0.2$, $U - B = -0.8$.

5.—Variable N° 5 was observed in 16 different nights and only in one plate it appears in its maximum, mag. 17.5 In all the other plates taken with the Tonantzintla Schmidt it is fainter than magnitude 19.0 and does not appear in the plates of the Mount Palomar "Sky Survey" (limiting photographic magnitude 21.0). The amplitude of this variable is at least of the order of 3.5 magnitudes.

6.—Star N° 408, discovered by Iriarte and Chavira⁽¹⁾, shows in only 8 different plates five evident deviations from its minimum, which might correspond to 3 different maxima or else to intermediate magnitudes between the maximum and the minimum. This variable appears very ultraviolet both in its maximum and in its minimum brightness.

7.—Star N° 1143, found by Chavira⁽²⁾, is a variable with an observed amplitude of 3 magnitudes. In 12 different observations it has been found, in five occasions, near the maximum and only 4 times in or near the minimum. The ultraviolet colour of this star is considerable in maximum and in minimum luminosity.

The data presented in Table I does not seem to be sufficient as to definitely classify the examined stars within a given type of eruptive variables. After this explanation, we would like to speculate on this group of blue variables in the galactic halo assuming that the great amplitude in the variation of all or of most of them is not due to an essentially geometrical phenomenon without this meaning that we disregard the probability that some of them may be binary stars.

Both the stars contained in Table I and the new variables discovered by Haro and Luyten and published in this same Bulletin, page 17, have in common a decidedly blue colour ($B - V$) and a very strong ultraviolet colour ($U - B$) during their maxima. However, during their minima we can divide them in two sub-groups: the yellowish and the blue ones. Variables Nos. 6, 10 and 11 presented by Haro and Luyten in this same Bulletin are typical examples of yellow stars during the minimum. If we should consider all these stars as eruptive variables, the interpretation of this difference in colour during the minimum at least suggests two possibilities:

First: All these variables, with exception of variable N° 4, belong to the U Geminorum or Z Camelopardalis types and therefore are sub-dwarf stars. The differences in colour during the minimum might be due to the fact that some of them are binaries, where one of the components has a yellow or reddish colour. Actually, it is well known that some SS Cygni stars have components of type G and K and that, especially during the minimum, the colour contribution of the late component predominates. If such were the case, the differences in colour during the minimum might indicate the binary nature of the eruptive variable.

Second: The reddish colour during the minimum leads to the doubt as to whether it is a variable of the UV Ceti type, that when reaching the maximum shows a strong ultraviolet colour. We believe that this second possibility will be easier to clarify.

As far as variable N° 4 is concerned, this is a case of enormous interest. The behaviour in the variation is entirely similar to that of a R Corona Borealis type star. According to the ideas that prevail in modern astronomy, this latter type of variables is of high intrinsic luminosity and therefore if variable N° 4 is actually of the RCB type, it would be a relatively young early star of high luminosity and at a distance from the galactic plane of the order of more than 20,000 parsecs.

The problem stated above will have no bearing if it is proven that variable N° 4 is not of the RCB type (absolute luminosity of the order of -4), or else that there exist two classes of RCB: some of high luminosity (Population I) and others sub-dwarfs (Population II). The spectroscopic as well as the photometric study of this variable might clarify this important point.

The investigations made by various astronomers since Humason's and Zwicky's⁽⁶⁾ pioneer work on the blue stars in the halo of our galaxy suggest, each time with more evidence, that this group of high temperature stars comprises—apart from a certain proportion of variable objects—very different types of absolute luminosities: high luminosity stars of the main sequence, sub-dwarf and dwarf stars. That is, a mixture of stars from Population I and Population II.

The possible existence in the halo of a significant number of blue stars of Population I and whose distances from the galactic plane may indicate a longer life than that indicated by their absolute magnitudes, would necessarily lead us to the conclusion that these stars were formed in the halo and that they are not only objects of Population I which have escaped from the spiral arms or from the galactic disk.

As regards the blue stars, dwarfs and sub-dwarfs, found in the halo, it is highly probable that they are typical representatives of Population II, similar to the stars that in the colour-magnitude diagram of a globular cluster fall in the horizontal or blue descendent branch.

If most of the blue stars, dwarfs and sub-dwarfs, found in the halo, have the same characteristics of Population II than in the globular clusters in the same halo, it would likewise be very probable that the blue variables provisionally classified as of the U Geminorum or Z Camelopardalis type might be found amongst the very blue stars of the blue descendent branch of the colour-magnitude diagram of the nearest globular clusters. We obviously understand that the principal difficulty in this particular case will consist in the low absolute luminosity of this type of eruptive variables that could be found amongst the stars of absolute magnitude of the order of $+9$.