

# ESTUDIO FOTOMÉTRICO DE MESSIER 13 CAMPAÑAS DE LOS AÑOS 2019 Y 2020 (IV) L199, UNA NUEVA VARIABLE

FRANCISCO VIOLAT BORDONAU

Observatorio Astronómico *Norba Caesarina*, MPC Z71  
E-mail: [fviolat@yahoo.es](mailto:fviolat@yahoo.es)

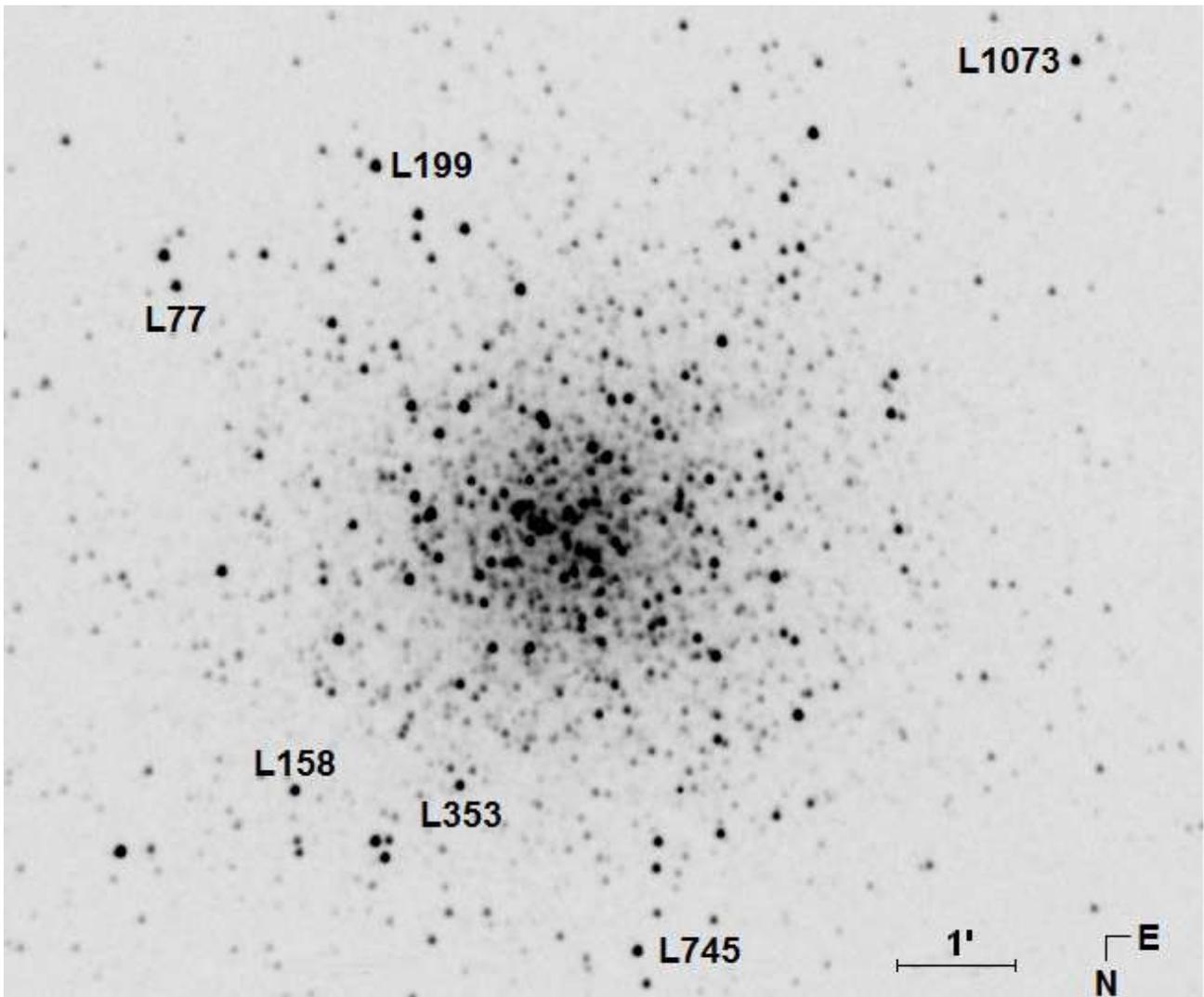
**Resumen.** En este trabajo fotométrico dedicado al estudio del cúmulo globular Messier 13 (NGC 6205) presentamos una nueva estrella variable, L199 (ahora V63), uno de los astros más brillantes del cúmulo. A partir de nuestra fotometría hemos determinado su período (próximo a los 27 días), amplitud en banda  $V$  ( $0,08 \pm 0,03$  magnitudes) y su magnitud media ( $12,153 \pm 0,024 V$ ). Nuestros resultados se han confirmado empleando las mediciones fotométricas del Zwicky Transient Facility (ZTF), en banda  $g$ , las mediciones TASS-SN (en bandas  $V$  y  $g$ ) y las publicadas por Deras *et al.* en banda  $V$  en su trabajo del año 2019.

---

## 1. ANTECEDENTES.

Como ya hemos expuesto en trabajos anteriores (Violat Bordonau, 2021a, b y c) de nuestras imágenes CCD filtradas obtenemos mediciones fotométricas a partir de las cuales determinamos los períodos, amplitudes, magnitudes medias y dibujamos curvas de luz de las variables del cúmulo hasta la magnitud  $\sim 15,5 V$  Johnson. Para evitar cometer errores en el delicado proceso de la calibración fotométrica utilizamos tres estrellas de magnitudes bien determinadas cuya variabilidad es, hasta donde hemos podido determinar de los trabajos publicados hasta la fecha, inexistente: de hecho las curvas de luz que hemos presentado en trabajos anteriores mostraban una calidad acorde con la precisión obtenida por nuestro equipo, sin que se apreciase en ellas *artefactos* o efectos inesperados achacables a fuentes de error no deseadas. Una vez acabadas de medir todas las fotografías de los años 2019 y 2020, cuyas mediciones fotométricas hemos ido publicando en los trabajos anteriores, durante la Navidad de 2020 se nos ocurrió la idea de emplear una única estrella como astro de calibración fotométrica, concretamente la brillante Ludendorff 199 (Ludendorff, 1905), en lo sucesivo L199: en SIMBAD podemos encontrarla con la denominación TYC 2588-1386-2 y 2MASS J16413253+3624424. Se trata de una Gigante Roja situada en la periferia de Messier 13 lejos del núcleo y su apiñamiento (Figura 1): en nuestra fotografía podemos ver que está localizada en la parte sudoeste del cúmulo, precisamente al final de una de las famosas “patas de araña” formada por la alineación de brillantes estrellas que se extienden, desde el núcleo de Messier 13, dando la impresión de ser un arácnido con sus extremidades extendidas.

Fotográficamente es una estrella de fuerte color ambarino que se encuentra entre los astros más brillantes del cúmulo (magnitudes  $\sim 12,0-12,5 V$ ): en base a su paralaje *Gaia* (Bailer-Jones *et al.*, 2021) esta estrella pertenece al cúmulo. En la literatura astronómica aparece con magnitud 12,25 (Kadla, 1966), 12,20  $V$  (Cudworth y Monet, 1979), 12,21  $V$  (Osborn, 2000), 12,175  $V$  en el trabajo de Sandquist *et al.* (2010) y 12,177  $V$  en el de Stetson *et al.* (2019). En ninguno de los diversos estudios fotométricos del cúmulo se menciona su posible variabilidad: así en el trabajo de Welty (1985) no hay ningún indicio hasta su límite de detección ( $>0,2$  magnitudes en banda  $B$  Johnson); en el estudio de Lupton *et al.* (1987) se tabulan tres velocidades radiales y las mismas son muy similares, lo que descarta su posible variabilidad; en el trabajo fotométrico de Osborn (2000) no se menciona que sea variable: sus mediciones presentan esviaciones estándar  $\sigma$  iguales a 0,02 en



**Figura 1.** Imagen CCD de Messier 13 (a través de un filtro  $V$  Johnson) que muestra la nueva variable (L199) así como las estrellas de calibración y chequeo fotométrico que hemos utilizado: Norte abajo, Este a la derecha.

banda  $V$  y 0,03 en  $B$ : si fuese variable sus amplitudes  $\Delta V$  y  $\Delta B$  deberían ser muy reducidas ( $<0,1$  magnitudes). En el trabajo de Heinze *et al.* (2018) se la tabula con la nota de *variabilidad dudosa*, aunque indican un período de variación igual a 24,86 días; Deras *et al.* (2019) no la incluyeron ni entre las variables ni entre las sospechosas de variabilidad que descubrieron en el cúmulo pese a que estaba situada dentro del campo que estudiaron. Finalmente Stetson *et al.* (2019) la tabulan en su monumental trabajo fotométrico indicando que su *índice de variabilidad* (la probabilidad de que sea un astro variable) es igual a 5,484 con un peso igual a 107,5: con estos dos valores este astro debería ser variable sin duda alguna... Nuestras mediciones fotométricas, unidas a las obtenidas por el Zwicky Transient Facility (Bellm y Kulkarni, 2015), las de ASAS-SN y las remitidas por el Dr. Deras (en comunicación privada) lo confirman: una vez publicado un resumen de este trabajo en el *Open European Journal on Variable Stars* (Violat Bordonau, 2021d), el día 8 de abril de 2021, este astro debe ser considerado una nueva variable de tipo Gigante Roja situada en Messier 13. Dado que hasta la fecha no está incluida en el *Catalogue of Variable Stars in Globular Clusters* (Clement *et al.*, 2001) será bautizada con el nombre de V63 (V63 = L199 = TYC 2588-1386-2 = 2MASS J16413253+3624424), salvo que se confirme de manera inmediata alguna de las quince candidatas a variables propuestas por Deras y colaboradores en junio de 2019.

## 2. OBSERVACIONES Y REDUCCIÓN DE DATOS.

### 2.1 Observaciones.

Desde la primavera de 1998 (Violat Bordonau, 2021a) estudiamos las variables de Messier 13: para ello empleamos un telescopio catadióptrico de 203 mm de abertura y 2.000 de focal situado en el Observatorio Astronómico *Norba Caesarina*, que se encuentra situado en Cáceres, España: está localizado a las afueras de la ciudad, lejos de la reducida contaminación lumínica y urbana de la misma, a una altura de 455 metros sobre el nivel del mar. Para este trabajo hemos empleado las fotografías CCD obtenidas entre junio de 2019 y octubre de 2020, en dos campañas distintas, en las cuales hemos obtenido un total de 507 (en 2019) y 741 imágenes (en 2020) empleando un filtro *V* Johnson: en la Tabla 1 detallamos el diario de observaciones de ambas campañas; en todos los casos las exposiciones han tenido una duración de 120 segundos para que la relación Señal/Ruido fuese alta incluso en las débiles estrellas de tipo RR Lyrae. La CCD empleada ha sido una Starlight Xpress británica modelo MXV-7, de  $752 \times 580$  píxeles, con una escala igual a  $0,90''/\text{píxel}$  y un campo de visión de  $11,4' \times 8,5'$ . El tratamiento de las imágenes ha consistido en una corrección de *bias*, *darks* (cuadros oscuros) y *flats* (cuadros planos) maestros, del modo habitual en este tipo de trabajos fotométricos, utilizando para ello el propio software de la cámara CCD.

Tabla 1

Año	DJH inicio	DJH final	Noches	Imágenes
2019	2458670,58133	2458767,33069	98	507
2020	2459003,67092	2459136,33689	134	741

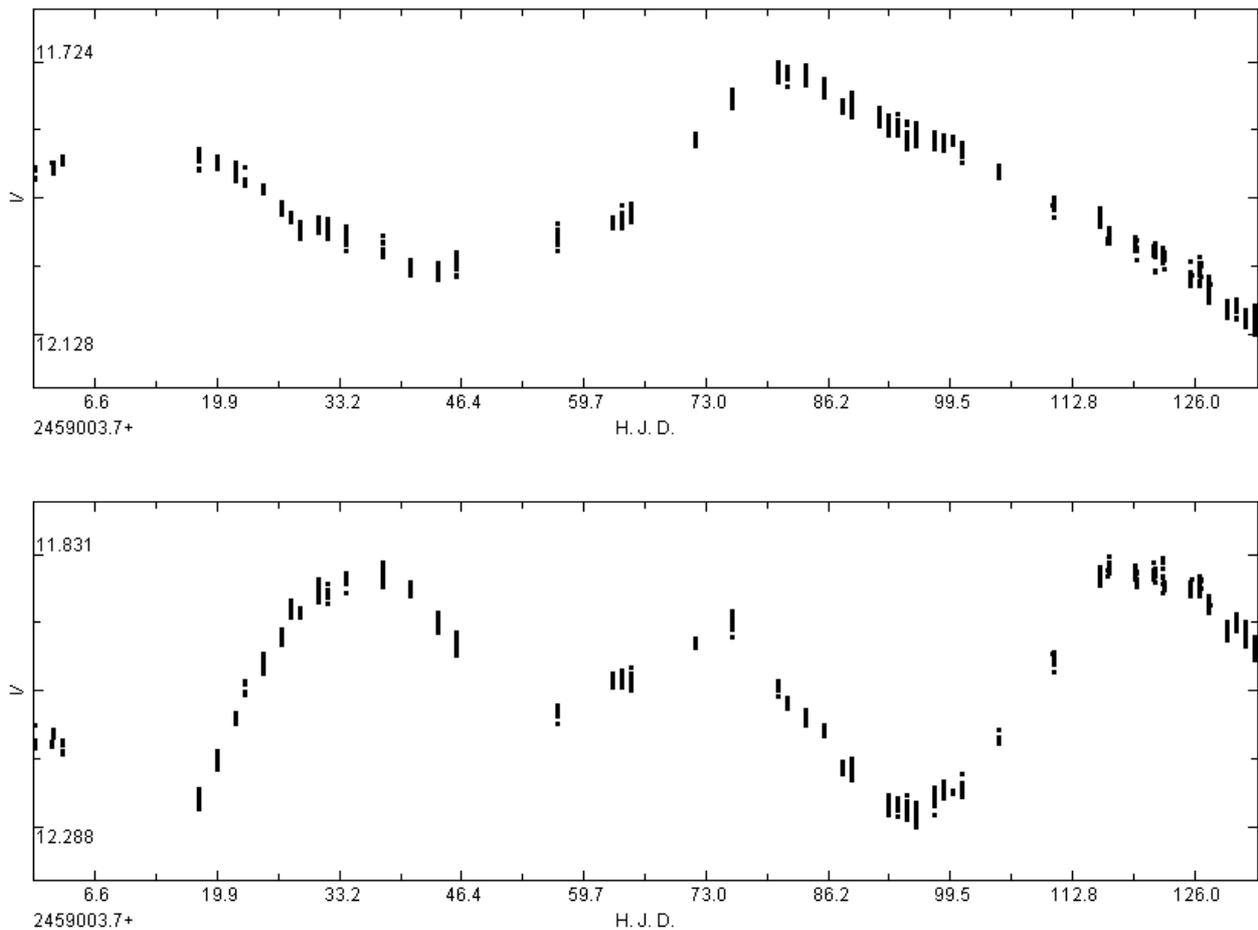
Las imágenes fueron abiertas utilizando el programa *FotoDif* (**Fotometría Diferencial**, escrito por Julio Castellano<sup>1</sup>, versión 3.109) y calibradas empleando tres estrellas de magnitudes *B* y *V* muy bien determinadas (Tabla 2) publicadas por Sandquist *et al.* (2010) que son L199, L745 y L158 mientras que como astros de chequeo empleamos las estrellas L77 (mag. 12,762 *V*), L353 (mag. 12,812 *V*) y L1073 (mag. 12,856 *V*). La Tabla 2 presenta las coordenadas de todas las estrellas (comparación y chequeo) tomadas de SIMBAD y sus magnitudes *V* e índices de color  $B - V$  de Sandquist *et al.* Este procediendo de calibración empleando tres estrellas ha funcionado perfectamente hasta la fecha: en la Figura 2 mostramos las curvas de luz de las variables V11 (panel superior) y V17 (panel inferior) obtenidas en la campaña del año 2020 y que han sido publicadas en abril de 2021 (Violat Bordonau, 2021c); las curvas son coherentes, de buena calidad y no se aprecian en ellas efectos inesperados –o extraños– tales como *oscilaciones* debidas a la variabilidad de alguna de las estrellas de comparación: esto se explica porque o bien ninguna de las estrellas utilizadas como astros de comparación es variable (hipótesis 1) o bien (hipótesis 2) porque puede que alguna de ellas lo sea –en este caso sospecharíamos del astro más brillante y frío: L199– pero sus oscilaciones lumínicas en banda *V* son muy reducidas<sup>2</sup> y éstas quedan amortiguadas por la no variabilidad de las otras dos estrellas. En este último caso, de ser cierta esta hipótesis, el software *compensa* y *diluye* estas levísimas oscilaciones de brillo con lo cual el resultado final enmascara y oculta la variabilidad de la estrella de comparación: su amplitud, por tanto, no puede ser superior a  $\sim 0,07$ – $0,08$  magnitudes en banda *V* o de lo contrario habría sido descubierta y anunciada como tal en cualquiera de los trabajos fotométricos publicados en los últimos veinte años (p. ej. el de Osborn, 2000) o incluso en los más recientes, como p. ej. Deras *et al.* de 2019. Su posición, lejos del núcleo, ha impedido que fuese detectada por Kopacki *et al.* (2003) mientras que por su reducida amplitud ha escapado a los dos primeros estudios fotométricos citados.

1 Disponible en la dirección: <http://www.astrosurf.com/orodeno/fotodif/index.htm>

2 De hecho ninguna de ellas era considerada como variable o sospechosa de variabilidad en diciembre de 2020.

**Tabla 2**

<b>Estrella</b>	<b>ID</b>	<b>A.R. (J2000)</b> [h:m:s]	<b>DEC. (J2000)</b> [° ' "]	<b>V</b> [mag]	<b>B - V</b> [mag]
L199	TYC 2588-1386-2	16:41:32,53	+36:24:42,57	12,175	1,363
L745	2MASS J16414486+3630514	16:41:44,85	+36:30:51,37	12,480	1,293
L158	2MASS J16413053+3629434	16:41:30,52	+36:29:43,44	12,686	1,144
L77	2MASS J16412464+3625449	16:41:24,63	+36:25:45,11	12,762	1,141
L353	2MASS J16413725+3629368	16:41:37,24	+36:29:36,77	12,812	1,138
L1073	2MASS J16420085+3623338	16:42:00,84	+36:23:33,67	12,856	1,087

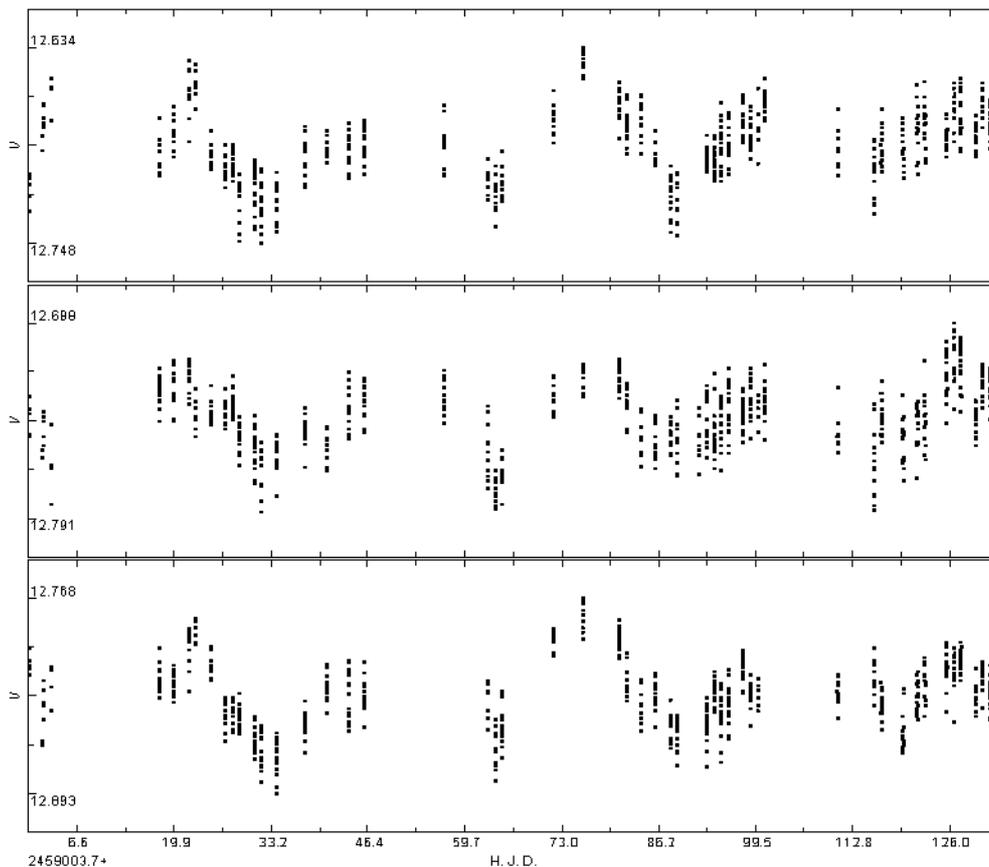


**Figura 2.** Curvas de luz, en bruto, de las variables V11 (panel superior) y V17 (panel inferior) obtenidas en la campaña del año 2020: ambos astros son estrellas Gigantes Rojas de tipo semirregular.

Ante la duda durante la Navidad decidimos dedicarle unos días al tema: buscamos en NASA ADS y en SIMBAD todos los trabajo fotométrico del cúmulo, que son bastante numerosos, para localizar en ellos algún indicio de su posible variabilidad; tras emplear la mitad de las vacaciones encontramos dos pistas, muy leves, que no aclaraban nada ni ayudaban a resolver nuestras dudas. Sólo quedaba poner manos a la obra, abrir todas las imágenes de nuevo y medir la magnitud de un buen número de estrellas de chequeo empleando L199 como único astro de comparación.

## 2.2 Reducción de datos.

Una vez que todas las imágenes fueron medidas y extrajimos de ellas las curvas de luz de las distintas variables que estudiamos (Gigantes Rojas, Cefeidas y RR Lyraes) nos preguntamos si la hipótesis 2 sería posible y si alguna de las estrellas de comparación podría ser variable; de ser cierta esta suposición pensamos que L199 sería el astro cuya probabilidad de ser variable era mayor ya que era la más fría de todas: esto se comprueba fácilmente a partir de su índice de color  $B - V$  y de su posición en un diagrama color-magnitud<sup>3</sup>. Hay al menos dos modos de comprobar si es o no variable dejando a un lado los resultados negativos que encontramos en la literatura astronómica: el primero de ellos era comprobar cuál era su *índice de variabilidad* en el trabajo de Stetson *et al.* (2019) y el segundo abrir de nuevo todas las imágenes, utilizar L199 como único astro de comparación y medir, otra vez, el brillo de las estrellas de chequeo (L745, L158, L77, L353, etc.). En el primer caso su *índice de variabilidad* era igual a 5,484 con un peso de 107,5: la probabilidad de ser una estrella variable era alta ya que dicho valor era superior al de V20 (3,217), al de V11 (3,394), al de V18 (4,568) y muy similar al de V17 (5,950). Tras medir cuidadosamente todas las imágenes nos encontramos con que las curvas de luz de las estrellas de chequeo presentaban unas curiosas *oscilaciones* periódicas idénticas en todas ellas (Figura 3): era bastante obvio que L199 era una nueva estrella variable... ¿¿Cómo era posible que nadie la hubiese descubierto antes!? Sólo nos quedaba determinar su período, amplitud, magnitud media y dibujar su curva de luz utilizando todas las mediciones fotométricas disponibles de los últimos años, tanto propias como ajenas.

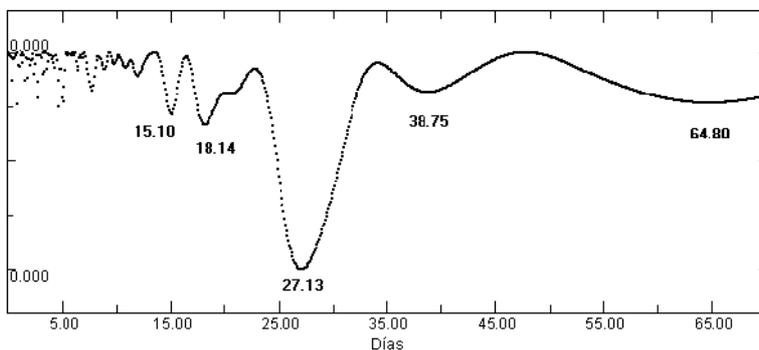


**Figura 3.** Curvas de luz de las estrellas de chequeo L158 (panel superior), L77 (panel central) y L353 (panel inferior): las oscilaciones que se aprecian ocurren en las tres estrellas exactamente en las mismas fechas.

3 Aparece en la *cima* de la Rama de las Gigantes Rojas, lugar en el que se sitúan el resto de las variables rojas del cúmulo como V11, V15, V17, V18, etc.; las otras estrellas son más calientes y aparecen más lejos de esta *cima*.

### 3. RESULTADOS.

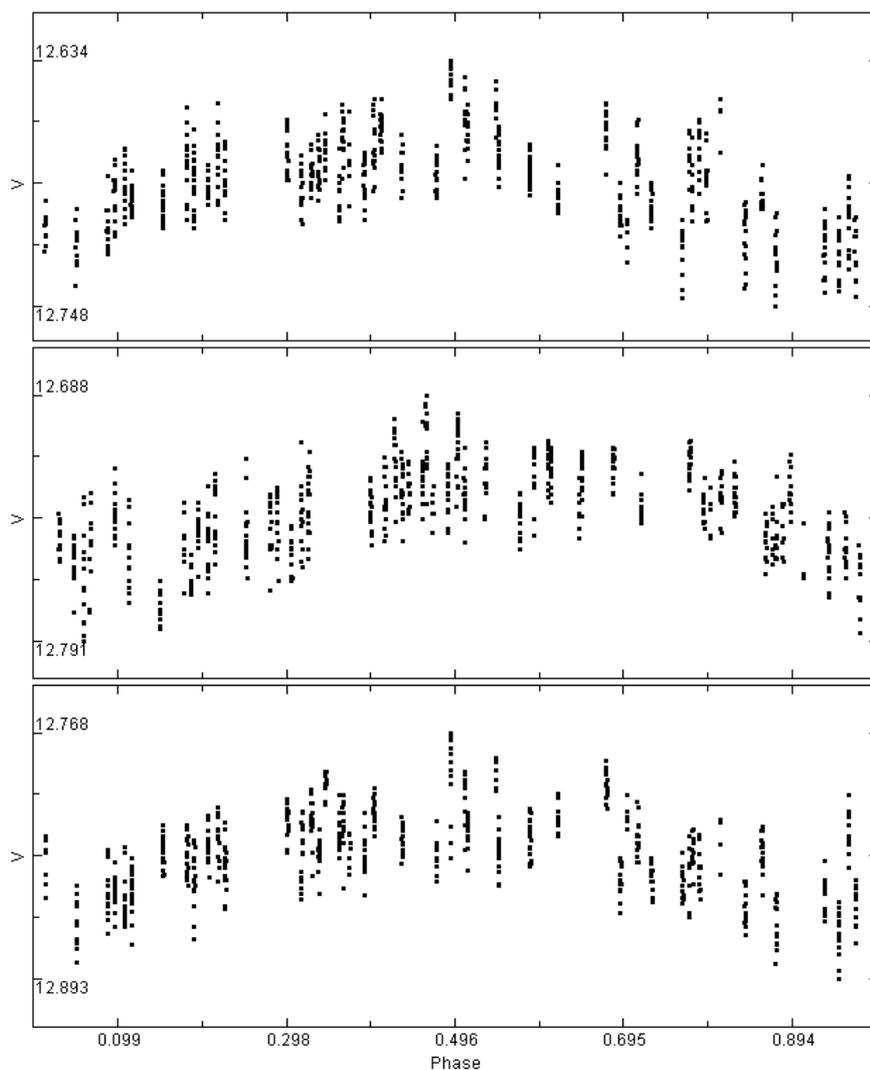
El análisis de las mediciones fotométricas de tres de las estrellas de chequeo se realizó con el programa *AVE* (“Análisis de Variabilidad Estelar”, escrito por Rafael Barberá, del *Grupo de Estudios Astronómicos*, G.E.A.) utilizando el algoritmo de Scargle (1982); realizamos la búsqueda en el intervalo 1–90 días (Figura 4) obteniendo un período igual a 27,13 días (L158), 27,04 días (L77) y 27,28 días para L353: el período medio era igual a 27,15 días. En principio nos pareció demasiado corto, ya que las brillantes Gigantes Rojas del cúmulo varían entre los 30 y los 92 días, pero una diferencia de algo menos de tres días con respecto al más corto tampoco era preocupante. Al dibujar las curvas de luz en fase de las estrellas de chequeo, utilizando el período medio, obtuvimos los resultados que mostramos en la Figura 5: en ella podemos ver que las tres curvas muestran prácticamente la misma forma y amplitud, lo que demuestra de manera inequívoca que la estrella L199 es variable y que su período es próximo a 27,1 días. Las curvas de luz muestran bastante dispersión lo que sugiere que este período no es exacto del todo (aunque los tres valores son muy similares) o que la estrella realmente tiene más de un ciclo, probablemente dos o más como vemos en la figura adjunta, mostrando cambios de magnitud que no se repiten exactamente con la misma exactitud y regularidad que presenta una variable de tipo Cefeida ni tampoco con la misma amplitud de ciclo en ciclo (modulación de su curva de luz). Este comportamiento es típico entre las variables de tipo Gigante Roja de Messier 13 cuyos períodos oscilan entre los 33 días de V33 (y V40) y los 92 días de V11, con amplitudes que varían de 0,09 magnitudes (V43) a 0,35 (V17) en banda *V* Johnson.



**Figura 4.** Resultado obtenido al buscar el período de la estrella L158 en el intervalo 1–70 días; el valor más destacado es igual a 27,13 días aunque se insinúan otros algo más cortos y también más largos.

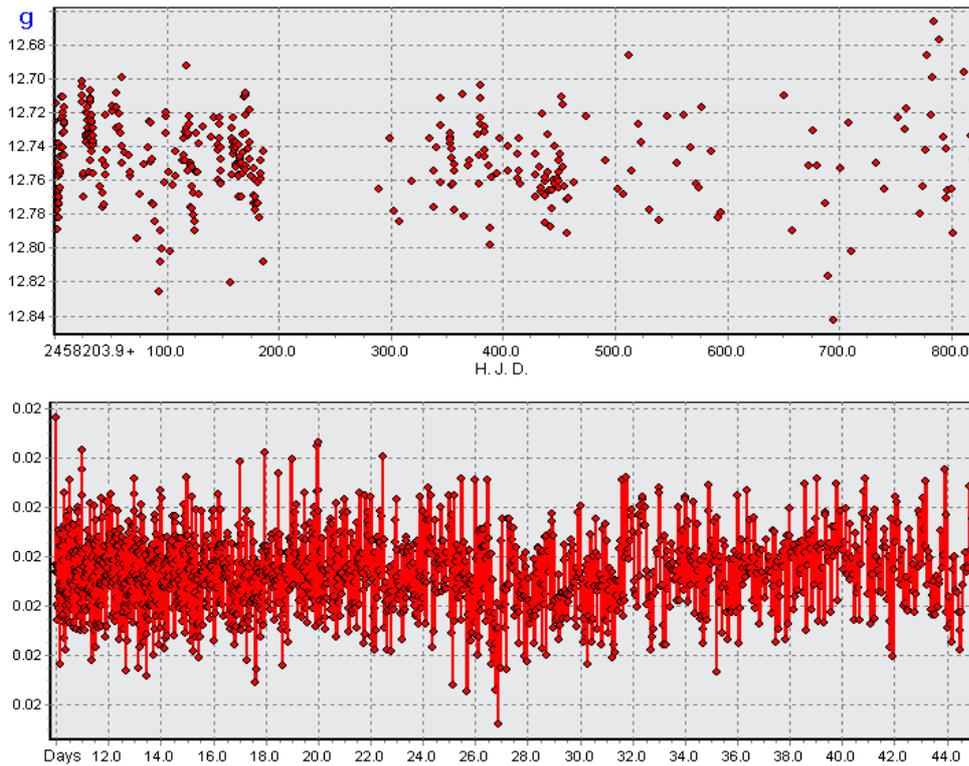
Para comprobar todos estos resultados tan prometedores (ya que, de ser variable, L199 sería lo que podríamos llamar una hermosa *pieza de caza mayor*)<sup>4</sup> contactamos con Juan Luis González Carballo, compañero fotometrista del *Grupo de Observadores de Supernovas*, quien amablemente nos descargó y envió las mediciones fotométricas obtenidas por el Zwicky Transient Facility (ZTF) en banda *g*: debido a su peculiar formato fueron abiertas y analizadas con *FotoDif* (Fig. 6); en el panel superior aparecen las mediciones obtenidas entre el Día Juliano Heliocéntrico 2.458.203,901 y 2.459.023,741 mientras que en el inferior, después de utilizar el periodograma de Winkler (1986), encontramos su período:  $26,882 \pm 0,016$  días que no es muy distinto al obtenido de nuestros datos. Cuando representamos las mediciones fotométricas con este nuevo valor obtenemos su curva de luz en fase (Figura 7): como en los casos anteriores hemos dibujado el máximo en la fase 0,5 para apreciar mejor su forma y amplitud; notamos que su forma es idéntica a la de las otras tres estrellas mientras que su amplitud se reduce a  $\sim 0,09$ – $0,10$  magnitudes eliminando algunos pocos puntos

<sup>4</sup> No todos los días se descubre una nueva estrella variable en un cúmulo globular tan estudiado como Messier 13, sobre todo si es moderadamente brillante, fácil de localizar y de medir debido a su lejanía del núcleo...

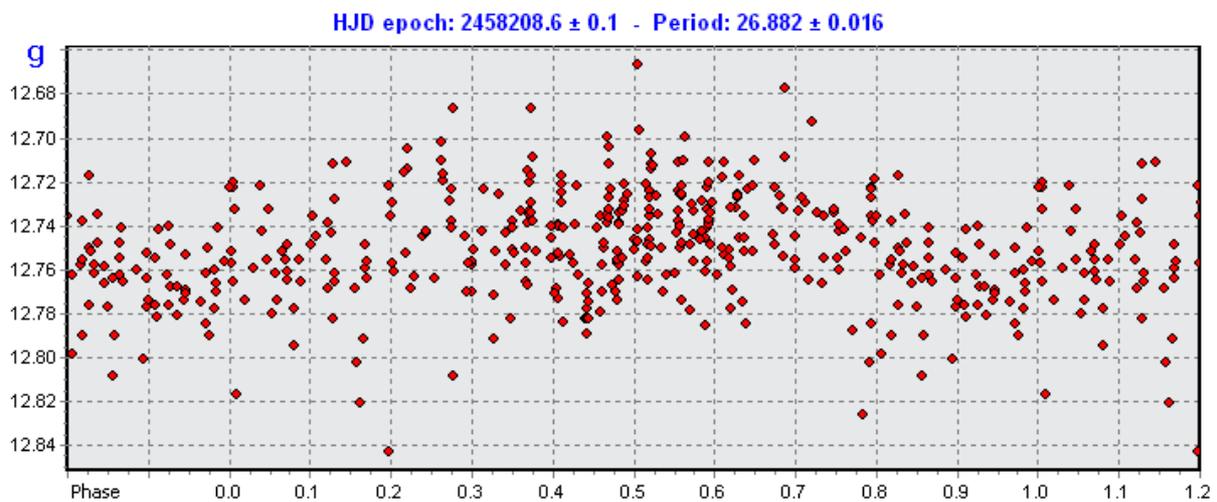


**Figura 5.** Curvas de luz, en fase, de las estrellas L158 (panel superior), L77 (panel central) y L353 (panel inferior): sus formas y amplitudes ( $<0,130$  magnitudes en banda  $V$ ) son similares.

dispersos: el resultado final es consistente con los ya presentados en la Figura 5. La nueva curva de luz demuestra, de manera clara y contundente, que L199 es no sólo una estrella variable sino que su período, amplitud y curva de luz es similar empleando un conjunto de mediciones ajenas a las nuestras. Cualquier observador ya habría quedado convencido por nuestros argumentos, sólidos y de peso, pero nosotros mismos somos siempre los más críticos con nuestro trabajo: asombrados, excitados, satisfechos y todavía muy sorprendidos (ya que nos costaba mucho creer que habíamos descubierto una nueva variable, brillante y conspicua, en un cúmulo tan observado como Messier 13) finalmente nos decidimos a enviarle un correo electrónico al Dr. Deras, del Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México (quien, junto a sus colaboradores, descubrió varias estrellas variables en el cúmulo en el año 2019) para solicitarle sus mediciones fotométricas; nuestra intención era analizarlas en profundidad, buscar el período, dibujar su curva de luz con él y comprobar si la misma avalaba nuestros resultados. Una vez recibidas y abiertas (Figura 8) apreciamos en ellas las mismas oscilaciones que encontramos en nuestras curvas de luz con una amplitud en banda  $V$  igual a 0,089 magnitudes. Empleando el programa *AVE* sobre estas mediciones encontramos tres períodos muy distintos: 11,03 días, 16,34 y 32,88 días, valor que es bastante parecido al intervalo que ellos observaron (36 días); ninguno de ellos permitía obtener curvas de luz de buena calidad: sin embargo utilizando un período igual a 27 días obtuvimos un resultado moderadamente coherente (Figura 9) con el mismo aspecto que los ya mostrados.

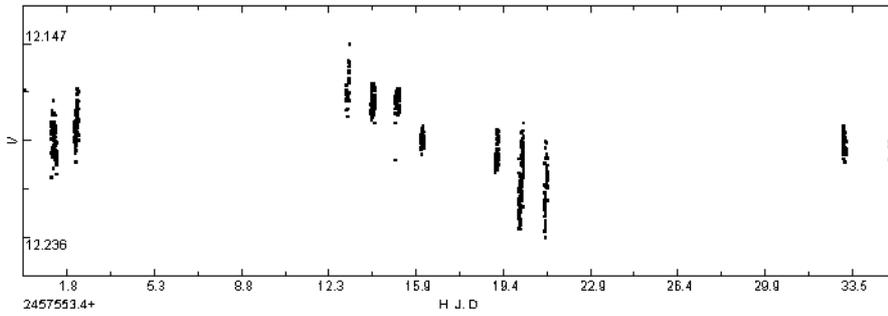


**Figura 6.** Mediciones fotométricas obtenidas por el Zwicky Transient Facility (ZTF) en banda  $g$  (arriba) y búsqueda del periodo en el intervalo 10–45 días (abajo): el resultado es igual a  $26,882 \pm 0,016$  días.

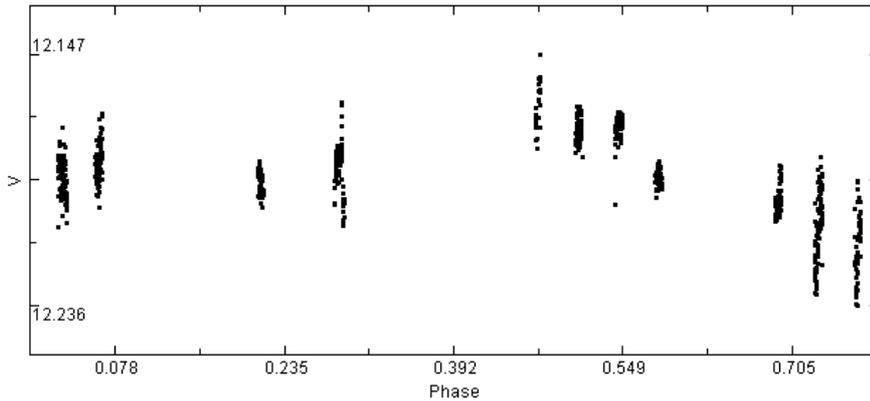


**Figura 7.** Curva de luz en fase, en banda  $g$ , obtenida de las mediciones del ZTF utilizando un período igual 26,88 días: como en los casos anteriores hemos dibujado el máximo en la fase 0,5 para apreciar mejor su forma y amplitud.

Las mediciones sugieren que L199 es una estrella variable cuyas oscilaciones lumínicas se producen con un período próximo a los 27 días (aunque probablemente se mueva en el intervalo 25–30 días) con una amplitud no superior a 0,07–0,08 magnitudes en banda  $V$ . Su comportamiento es similar al de las demás variables Gigantes Rojas cuyas curvas de luz no son idénticas en cada ciclo, no presentan un período bien definido (ya que se superponen varios) ni tampoco alcanzan en cada ciclo la misma magnitud en sus máximos y mínimos (Osborn *et al.*, 2017).

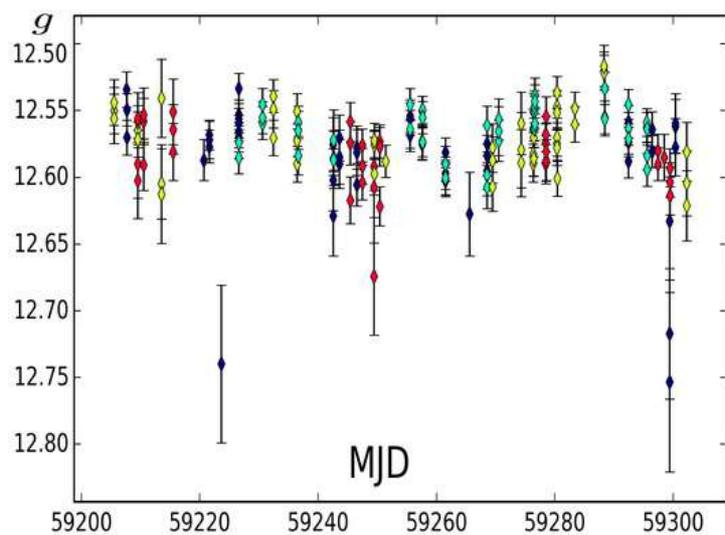


**Figura 8.** Mediciones en banda  $V$  proporcionadas por el Dr. Deras y capturadas en junio de 2016: muestran oscilaciones similares a las que registramos en 2020 y ya mostramos en la Figura 3.



**Figura 9.** Curva de luz, en fase, dibujada a partir de los datos de Deras *et al.* empleando un período igual a 27 días: es moderadamente coherente con una amplitud igual a 0,089 magnitudes in band  $V$ .

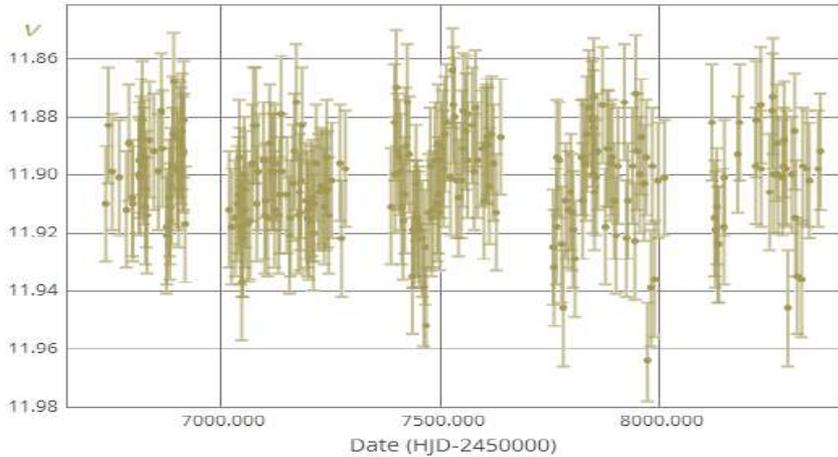
Para demostrar esta suposición entramos en el servidor de ASAS-SN (*All-Sky Automated Survey for Supernovae*)<sup>5</sup>, un grupo de telescopios robóticos que patrullan el cielo constantemente: al acceder al mismo<sup>6</sup> escribimos su Ascensión Recta en una de las casillas, la Declinación en la casilla situada debajo y el número de días que deseamos examinar (p. ej. 100); tras pasar un control para comprobar que somos humanos pulsamos en el botón llamado *Compute* (“Calcular”) y el servidor busca los datos que tiene almacenados; si la curva de luz ya ha sido determinada con anterioridad nos lo indica (*We have already computed V-band light curves for sources in this region on our photometry database and they are accessible*) ofreciéndola: podemos optar por pulsar en un enlace que nos muestra las mediciones disponibles y que, en este caso, suponen algo más de mil días o tocar en *Re-Compute This Light Curve* (“Recalcula esta curva de luz”); como muchos investigadores utilizan a la vez este servicio es posible que el servidor se sobrecargue (*Servers are overloaded, please try again later*), en cuyo caso nos presenta un mensaje de error y nos invita a repetir el proceso más tarde: si no hay atascos nos mostrará una curva de luz como la que insertamos junto a estas líneas (Figura 10) en cuyo eje vertical aparece la magnitud –banda  $g$ – y en el horizontal la fecha en formato Día Juliano Modificado. Basta darle un vistazo para apreciar con toda claridad



5 Es un programa automatizado, dirigido por la Universidad Estatal de Ohio (Estados Unidos), para buscar supernovas y otros fenómenos astronómicos transitorios: dispone de 24 telescopios robóticos instalados en ambos hemisferios.

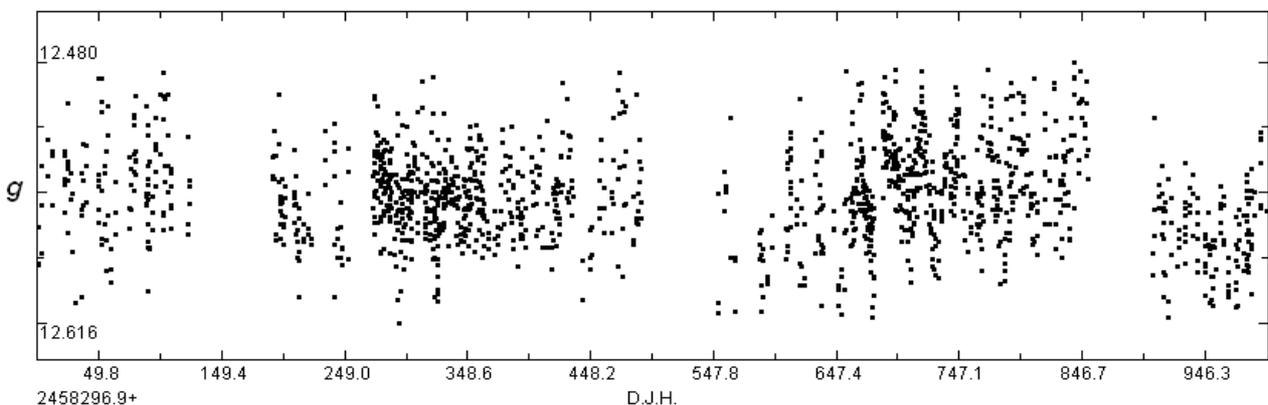
6 Desde esta dirección: <https://asas-sn.osu.edu/>

sus leves oscilaciones de brillo casi periódicas: en concreto se aprecian varios ciclos, muy notorios, ocurridos entre los días 59.210 (diciembre de 2020) y 59.300 (marzo de 2021) en los cuales su magnitud osciló en el intervalo  $\sim 12,53-12,62$  g o un poquito más, si incluimos algunos pocos puntos dispersos; la amplitud es muy similar a la que extraemos de nuestras imágenes.

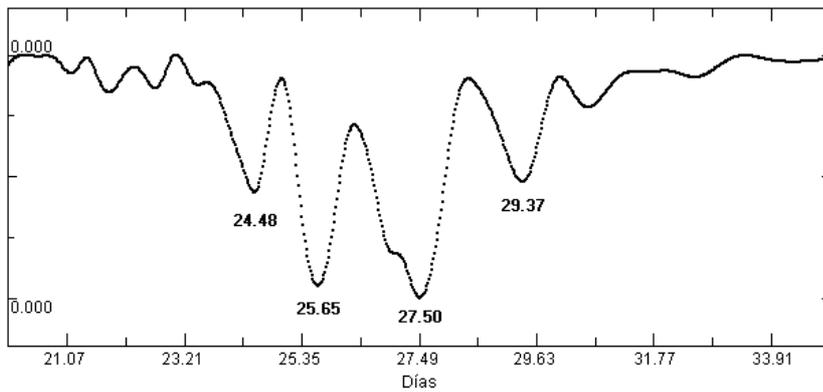


**Figura 11.** Mediciones ASAS-SN de L199 en banda  $V$ : podemos ver que su amplitud es inferior a 0,08 magnitudes moviéndose en el rango 11,87-11,94  $V$ . Nótese la caída tan brusca y pronunciada visible cerca del DJH 2.457.500 (abril de 2016).

Podemos solicitar al servidor las 1.575 mediciones –en banda  $g$ – obtenidas en los últimos 1.000 días (entre el D.J.H. 2.458.296 y el 2.459.292: desde el día 26 junio de 2018 al 18 de marzo de 2021) abriéndolas con *AVE* para examinarlas con minuciosidad y extraer el o los períodos; la curva de luz en bruto a lo largo de estos casi tres años (Figura 12) presenta una amplitud máxima en torno a 0,08–0,09 magnitudes que es similar a la que hemos detectado anteriormente. Notemos que tras un amplio período con pulsaciones no demasiado regulares ni marcadas hacia el día 645 (abril de 2020) aparecieron oscilaciones mucho más definidas y marcadas, perfectamente cíclicas, que se extendieron hasta aproximadamente el día 840 (mediados de octubre), mostrando después un comportamiento algo menos regular y brillando menos a partir del día  $\sim 900$  (diciembre de 2020): si comprobamos las fechas veremos que estas oscilaciones son las que registramos en la campaña del año 2020 (entre el D.J.H. 2.459.023 y 2.459.135) y se aprecian con toda claridad en la Figura 3.

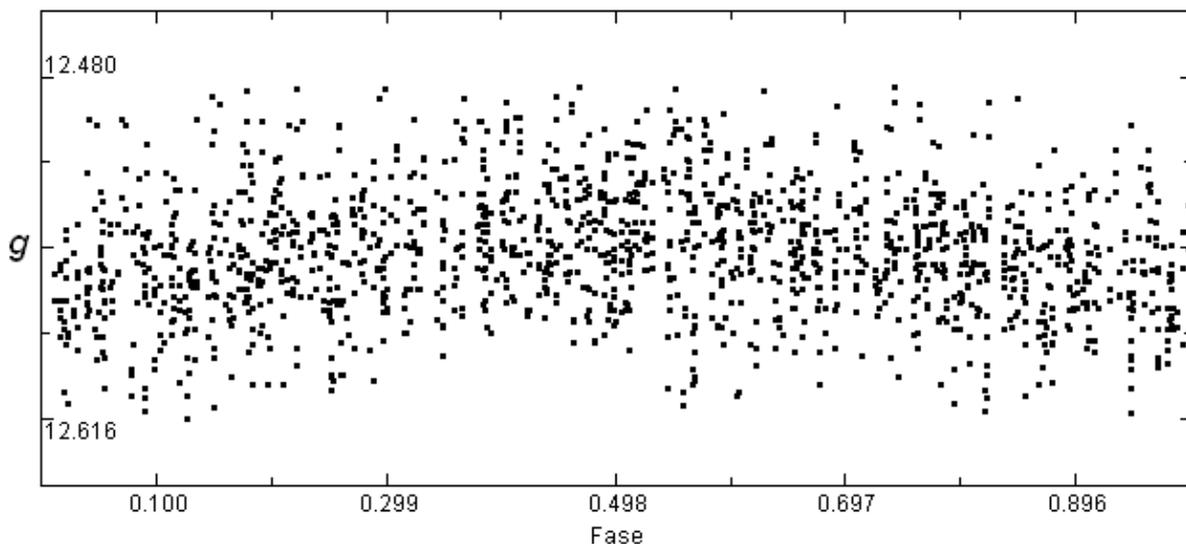


**Figura 12.** Mediciones ASAS-SN (en banda  $g$ ) de L199 obtenidas entre junio de 2018 y febrero de 2021: muestra su comportamiento a lo largo de los últimos 1.000 días; notemos que a partir del día  $\sim 600$  (febrero de 2020) se producen una serie de pulsaciones bastante regulares que cesan bruscamente hacia el día  $\sim 840$  (octubre de 2020).



Si buscamos el período más probable (en la Figura 13, junto a estas líneas) obtendremos un resultado ya insinuado en los periodogramas mostrados con anterioridad: el principal P1 = 27,50 días no es distinto al obtenido de nuestras propias mediciones; el siguiente o P2 = 25,65 días aparece junto a P3 = 24,48 que es casi idéntico al mencionado por Heinze *et al.*

(2018) y era igual a 24,86 días; finalmente nos queda un cuarto período P4 = 29,37 días que marca el límite máximo: hay algunos valores más cortos o más largos pero tienen ya poca intensidad. Cuando utilizamos P1 sobre estas 1.575 mediciones obtenemos una buena curva de luz, en fase, idéntica a las ya mostradas (Figura 14): su amplitud máxima es igual a 0,136 magnitudes contando algunos pocos puntos dispersos. La forma, el aspecto y la dispersión son casi idénticas a las ya dibujadas a partir de otros conjuntos de mediciones fotométricas.

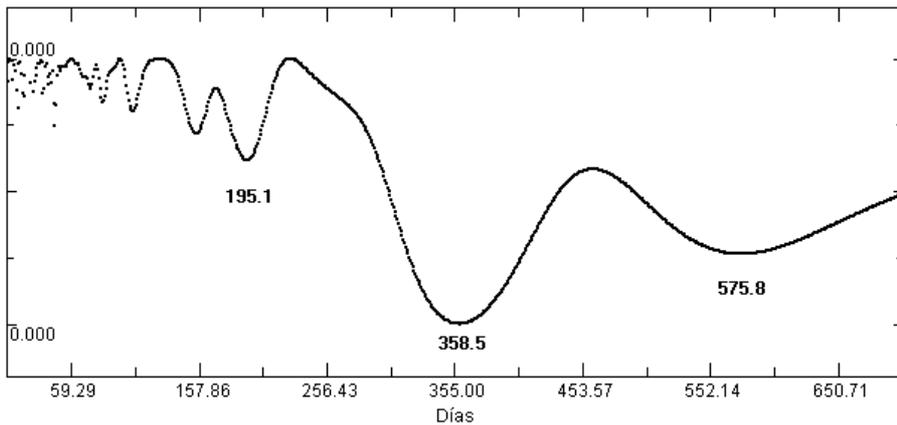


**Figura 14.** Curva de luz, en fase, dibujada utilizando 1.575 mediciones ASAS-SN con un período igual a 27,50 días.

#### 4. ¿L199 TIENE TAMBIÉN UN PERÍODO LARGO?

El comportamiento de la variable es complicado pero muy interesante: dado que disponemos de imágenes tomadas en campañas anteriores podemos medirlas y, como han sido tomadas con el mismo equipo (telescopio, filtros y CCD), comprobaremos que muestran su actividad de un modo más preciso y detallado –al menos durante los meses que la observamos– que el que nos puedan ofrecer cualquier conjunto de mediciones tomadas por telescopios robóticos. Al volver la vista atrás y medir las imágenes del año 2019 comprobamos que las mismas ya reflejaban sus cambios de brillo de modo muy similar a los mostrados hasta ahora, todos ellos pertenecientes a la campaña del año 2020. Tenemos imágenes capturadas en el intervalo 2000–2020: podríamos medirlas, extraer de ellas las mediciones fotométricas y analizar el comportamiento de la variable durante dos decenios;

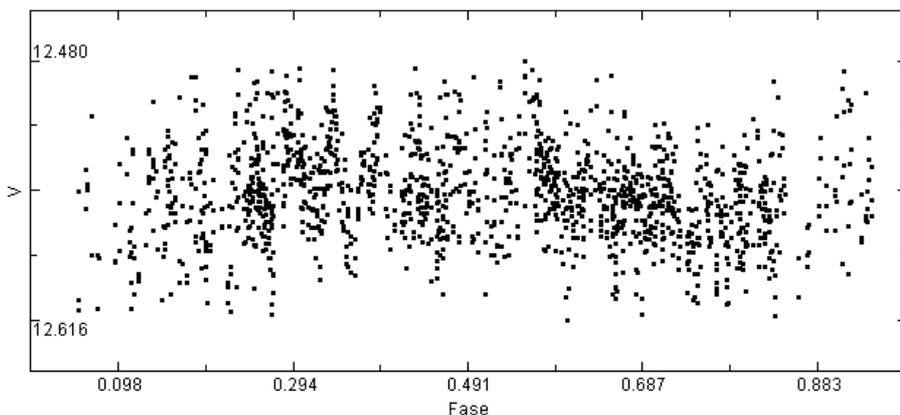
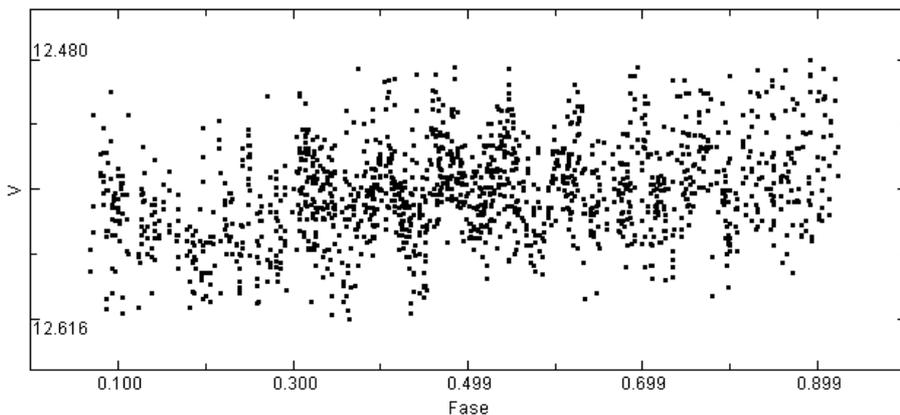
por desgracia ahora no disponemos del tiempo necesario para ello. Lo que sí podemos hacer es descargar las mediciones ASAS-SN obtenidas durante tres o cuatro campañas (que cubren más de 800–900 días) y analizarlas: un rápido vistazo a la Figura 12 pone de manifiesto que la variable presenta oscilaciones de brillo con un período  $P > 250$  días y quizá incluso superior: es lo que se suele llamar LSP (*Long Secondary Period*) descubierto por Payne-Gaposhkin (1954) en las curvas de luz de estrellas semirregulares con una duración típica de  $\sim 400$ – $1.500$  días (es decir: unas diez veces su período principal). En el caso de L199 esto sucede también: al analizar las mediciones mostradas en la Figura 12 y buscar el período en el intervalo 10–1.000 días encontramos (Figura 15, junto a estas líneas) dos períodos largos cuyas duraciones son iguales a 358,5 días y a 575,8 días: el

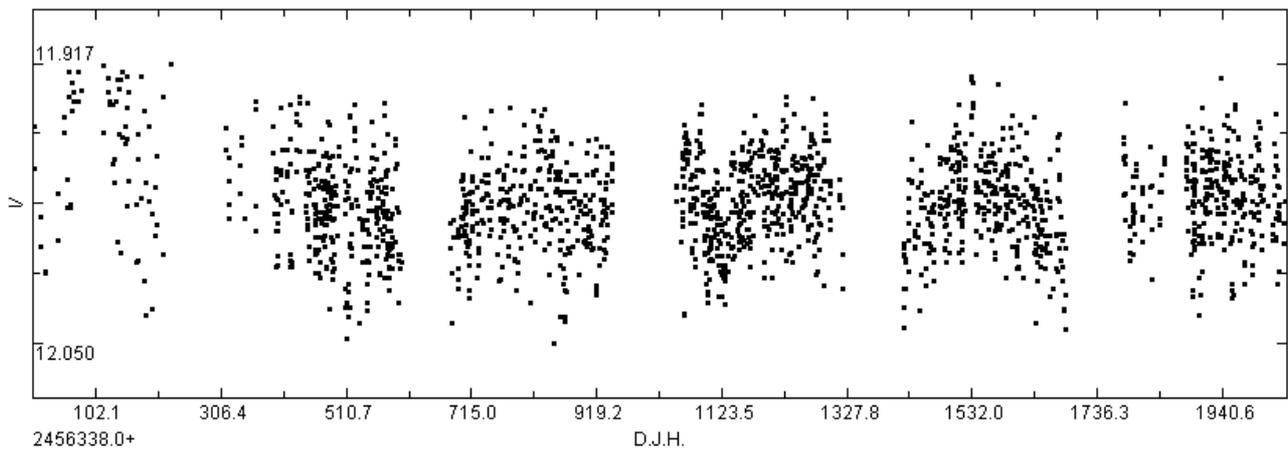


primero de ellos es tan notorio como el principal ( $P \sim 27$  días) mientras que el segundo es algo menos marcado y unas veinte veces más dilatado que el principal. Dibujemos las curvas de luz con ambos (Figura 16, bajo estas líneas) y analicemos los resultados: la primera de ellas es, a nuestro juicio, bastante caótica y en ella

se aprecian con claridad las oscilaciones con  $P \sim 27$  días en torno a la fase 0,5; la segunda, por el contrario parece tener mayor calidad y forma sinusoidal mostrando lo que parece una rama ascendente muy corta, el máximo, una bajada más lenta y el inicio de la rama ascendente. Es posible analizar un conjunto de datos todavía mayor: cuando solicitamos al servidor las mediciones

en banda  $V$  obtenidas a lo largo de algo más de 2.000 días (Figura 17, página 13) obtenemos un amplio conjunto de datos que muestra su brillo a lo largo de seis temporadas; en la antepenúltima (DJH  $\sim 2.457.458$ ) así como en la penúltima (en torno al DJH 2.457.870) notamos enseguida una especie de *oscilación* muy marcada que se ha extendido por casi toda la campaña: esto nos sugiere que además del período principal (de 25 a 29 días según la campaña) existe otro, de mayor duración, que no siempre se aprecia bien ni tampoco destaca en todas las campañas.

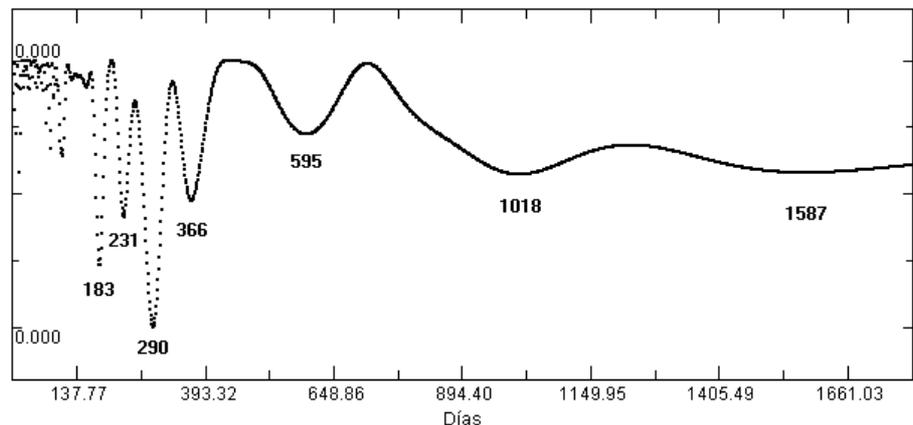




**Figura 17.** Mediciones fotométricas de la variable, en banda  $V$ , obtenidas por ASAS-SN a lo largo de unos dos mil días.

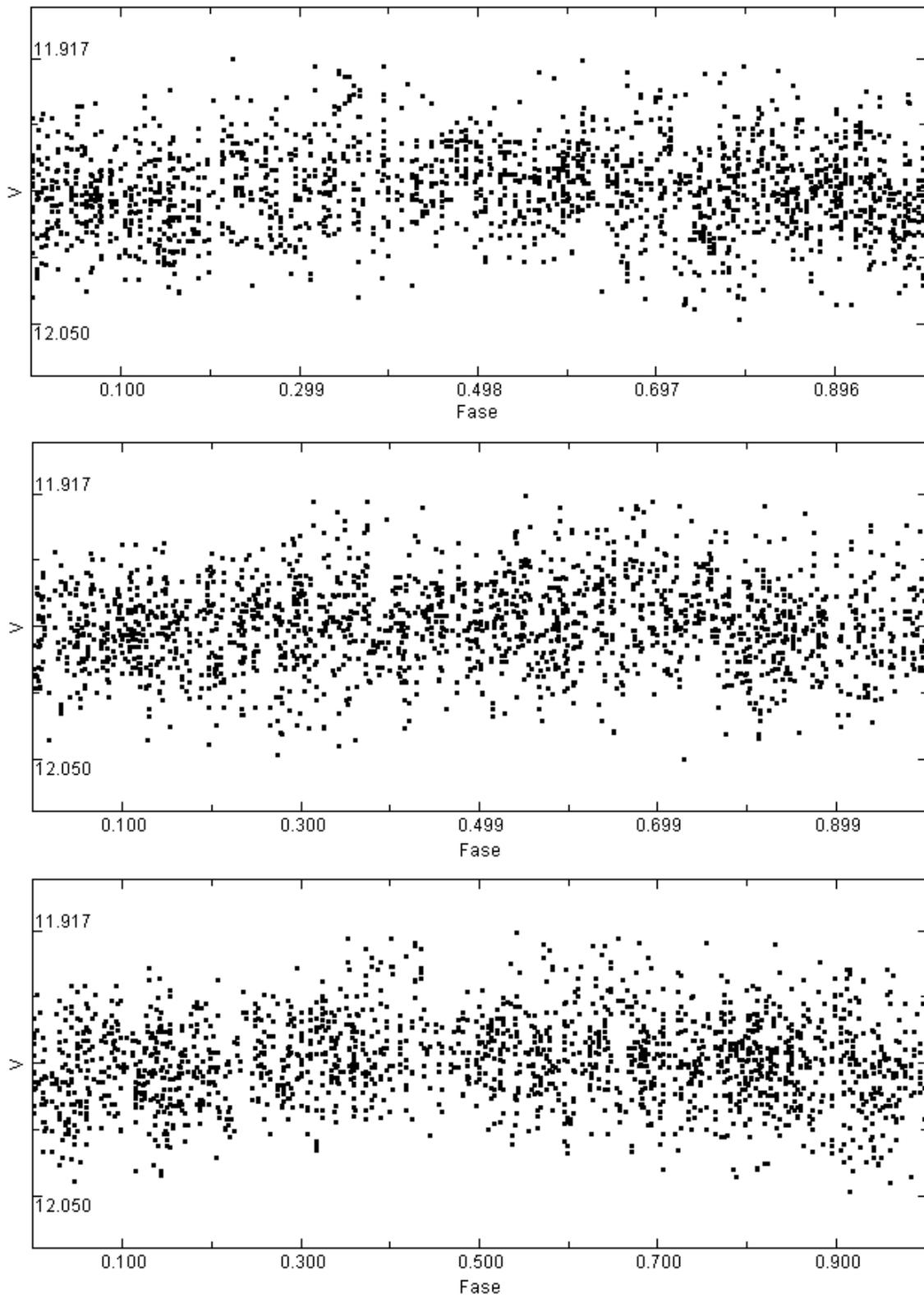
Cuando analizamos con *AVE* este amplio conjunto de mediciones y buscamos los períodos en el intervalo 50–2.000 días encontramos (Figura 18, bajo estas líneas) varios: el más destacado tiene una duración igual a 290 días seguido de otro, un poco menos marcado, de 183 días; el siguiente (231 días) es ya algo menos destacado seguido de un cuarto cuya duración es igual a 366 días e incluso aparecen tres, mucho más dilatados, cuyos valores oscilan entre los 595 y los 1.587 días.

Hemos intentado dibujar las curvas de luz, en fase, con los tres primeros: los resultados que hemos obtenido los mostramos en la Figura 19 de la página siguiente; ni con el primero ( $P = 183$  días) ni con el segundo ( $P = 231$  días) obtenemos un resultado bueno mientras que con el tercero ( $P = 290$  días) la curva es ya un poco más coherente.

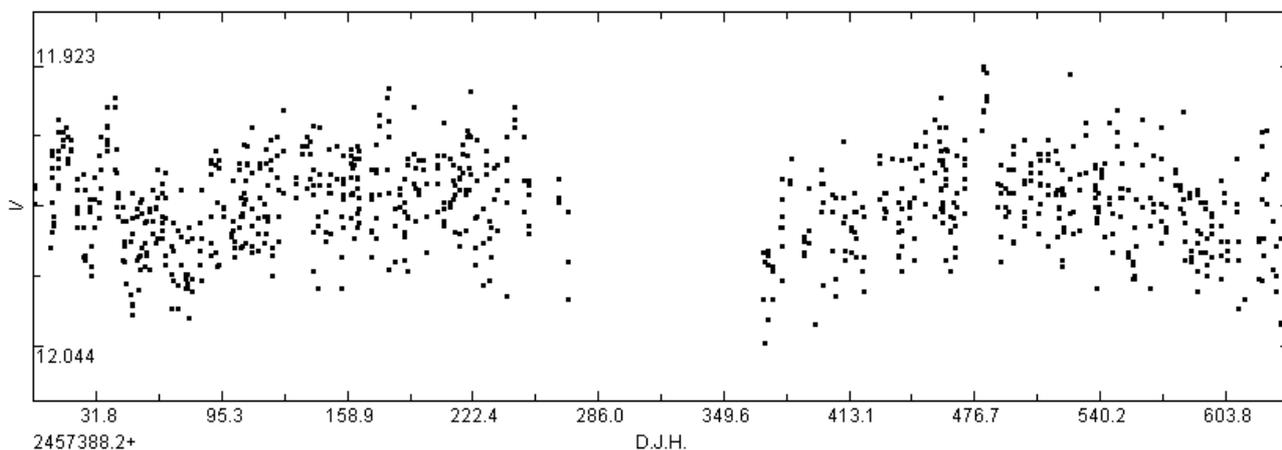


Los otros períodos, los cuatro que son superiores a 300 días, no ofrecen ningún resultado de calidad: con  $P = 366$  días aparece una curva sinusoidal (completa entre las fases 0,00 y 0,79) que sugiere que el período anterior es el correcto; con  $P = 595$  días el resultado ya no es coherente ni de calidad igual que con los restantes valores. Con los periodogramas y las curvas de luz a la vista pensamos que L199 tiene dos períodos bastante destacados: uno corto, que parece oscilar entre 25 y 29 días de duración, según la campaña, y otro largo centrado en torno a  $\sim 290$  días; el primero es capaz de producir curvas de luz bastante coherentes aunque su calidad no es muy alta, como ocurriría si la estrella pulsase siempre con el mismo período (p. ej. si fuese una RR Lyrae o una Cefeida): esto nos demuestra que su período cambia levemente de ciclo en ciclo con un valor próximo a 26-27 días. El período largo, por su parte, aparece centrado en torno a los  $\sim 290$  días y tampoco es invariable ni exacto de ciclo en ciclo: de lo contrario la curva de luz obtenida sería mucho más coherente y de mayor calidad.

Podemos hacer un último experimento para comprobar si este período largo existe y si, como sugieren los datos, se mueve en torno a los  $\sim 290$  días: tomaremos los datos de dos campañas en las cuales se aprecian oscilaciones largas que han durado tanto como las propias campañas, en concreto las de los años 2016 y 2017 que mostramos en la Figura 20 de la página 15.

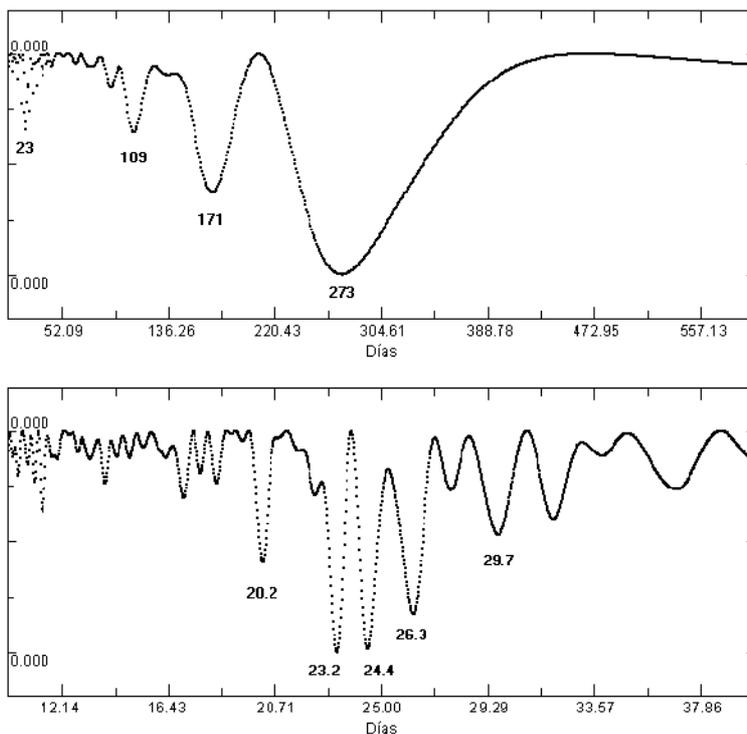


**Figura 19.** Curvas de luz, en fase, dibujadas con un período igual a 183 días (arriba), 231 días (centro) y 290 días (abajo): en todos los casos el resultado es moderadamente coherente, aunque parece que el último es de mayor calidad que los otros dos más cortos.



**Figura 20.** Comportamiento lumínico de la estrella L199 durante las campañas del año 2016 (izquierda) y 2017 (derecha): en ambos casos se aprecia un cambio de magnitud lento, constante y coherente que sugiere un período largo.

Cuando analizamos este amplio grupo de datos con *AVE* (Figura 21, bajo a estas líneas) encontramos dos conjuntos de períodos: los *largos* que mostramos en el panel superior (273 días, 171 días y 109 días por orden de importancia) y los *cortos* del panel inferior centrados en torno a  $\sim 24$  días (en realidad entre 20,2 y 29,7 días o mejor dicho:  $24,9 \pm 4,8$  días); el principal del grupo de los *largos* es lo suficientemente próximo a los  $\sim 290$  días mostrado en la Figura 18 como para ser significativo: de hecho la curva de luz obtenida con él es coherente y de bastante buena calidad. Los *cortos*, por su parte, son muy parecidos a los ya mostrados en la Figura 13 que oscilaban entre los 24,48 días del más corto y los 29,37 días del más largo: sin duda el valor recientemente expuesto ( $24,9 \pm 4,8$  días) no es sólo un simple *truco* matemático muy bonito y/o curioso, sino que es un fenómeno físico real asociado a la estructura interna de la estrella, su período principal y los modos de pulsación.



## 5. DISCUSIÓN.

¿Cómo es posible que no haya sido descubierta hasta finales del año 2020? El cúmulo ha sido fotografiado desde 1891 cuando Scheiner capturó algunas imágenes, empleando el refractor de 32,5 cm de apertura del Observatorio de Potsdam, a partir de las cuales realizó un catálogo de 833 estrellas. Más tarde fue estudiado por Bailey, Pickering, Barnard, Ludendorff, Shapley, Sawyer, Arp, Johnson, Kadla, Osborn, Demers, Pike y Meston, Cudworth y Monet, Russev y Russeva, Wehlau y Bohlender, Welty, otra vez Osborn, Kopacki y finalmente Deras. ¿Cómo se les ha

escapado a todos estos investigadores? Es como pescar en un pequeño lago: todos los *peces* grandes ya han sido capturados por los numerosos pescadores expertos que nos han precedido; en 2019 y 2020 sólo podrían quedar en él *pececillos* diminutos... sin embargo nosotros “lanzamos la caña”, esperamos un par de años hasta disponer de suficientes mediciones de calidad y sacamos un *pez* enorme de muchos kilos de peso. Creemos que la pregunta que abre esta sección tiene, al menos, tres respuestas distintas. En primer lugar la variable tiene una amplitud muy reducida tanto en banda *V* como en *B* Johnson: si no puedes medir oscilaciones de brillo tan reducidas como 0,05–0,07 magnitudes la variable se te puede escapar. En segundo lugar está situada lejos del núcleo, en la periferia del cúmulo: bastantes investigadores modernos han empleado cámaras CCD con chips pequeños (p. ej. Kopacki *et al.* en el año 2003) cubriendo un campo muy reducido, en este caso concreto 6' x 4'; esta (y otras variables periféricas, como V54) se les ha escapado... Y en tercer lugar porque varía con un período moderadamente largo: si un investigador obtiene fotometría muy precisa del cúmulo y busca los períodos en un intervalo corto (p. ej. entre 0,1 y 7 días) probablemente descubrirá variables de tipo RR Lyrae y Cefeidas, pero una Gigante Roja como L199 (cuyo período es superior a 25 días) se le escapará... Una cuarta posibilidad es que la curva de luz de la variable, así como sus ciclos de año en año, están modulados porque no pulsa en el modo fundamental (F0)<sup>7</sup> sino en el primer sobretono (F1), segundo sobretono (F2), etc.: en unas campañas su amplitud es mayor, y sus oscilaciones muy marcadas (como ocurrió en el año 2020), mientras que en otras apenas cambia de brillo o lo hace de modo no demasiado regular. Haber pescado un *pez* muy grande –en un lago ya esquilado por los pescadores que nos precedieron– se ha debido a disponer de un chip moderadamente grande que ha capturado un campo de 11.4' x 8.5' trabajando a foco primario<sup>8</sup>, haber obtenido fotometría de precisión durante al menos tres/cuatro meses cada año durante dos años, estar muy atentos a los resultados y haber estudiado la variable en una época en la cual sus oscilaciones lumínicas han sido bastante regulares y amplias.

## 6. RESUMEN Y CONCLUSIONES.

Utilizando las mediciones fotométricas obtenidas durante las campañas de los años 2019 y 2020 desde el Observatorio Astronómico *Norba Caesarina* (Cáceres, España), hemos descubierto la variabilidad de la estrella Ludendorff 199 (L199 = TYC 2588-1386-2 = 2MASS J16413253+3624424), un astro de color ambarino y magnitud 12,175 *V* Johnson situado en el cúmulo globular Messier 13 (NGC 6205), que dista unos 7,1 kpc de la Tierra y tiene una edad próxima a 12.600 millones de años: con este descubrimiento el número de variables bien estudiadas que posee este cuerpo asciende ahora a sesenta y tres. De nuestros datos, confirmados con las mediciones fotométricas del ZTF, las remitidas amablemente por el Dr. Deras (en comunicación privada) y las capturadas por el ASAS-SN, podemos determinar su amplitud que es igual a  $0,08 \pm 0,03$  magnitudes en banda *V*. La estrella cambia de brillo con un período principal que en el año 2020 era próximo a 27 días, aunque probablemente oscile entre ~25 y ~30 días: el análisis de varios conjuntos de datos sugiere que este período es igual a  $24,9 \pm 4,8$  días; detectamos también un período secundario más dilatado (*Long Secondary Period*) de ~270 a ~290 días, según el ciclo, que en ciertas campañas es muy marcado. Los datos sugieren que la estrella pulsa con varios períodos y modos (sobretonos) lo que modula su curva de luz y su amplitud: esto es normal en las Gigantes Rojas de Messier 13 cuyos períodos varían entre los 30 y 92 días aproximadamente, con amplitudes comprendidas entre 0,09 (V15 y V18) y 0,35 magnitudes (V17) en banda *V*. La Dra. Clement, responsable del *Catalogue of Variable Stars in Globular Clusters*, nos informó –en comunicación privada– que el día 15 abril de 2021 fue incluida en la versión electrónica (online) del mismo con el nombre de V63. (Todos sus parámetros aparecen listados en la página 18.)

<sup>7</sup> Es decir, presenta pulsaciones radiales que agrandan y reducen su diámetro con cierta periodicidad.

<sup>8</sup> Hasta 34' x 25' con una cámara fotográfica digital *Nikon* trabajando a foco primario.

## AGRADECIMIENTOS.

Este trabajo ha sido realizado gracias a las imágenes CCD filtradas y fotográficas digitales obtenidas desde el Observatorio Astronómico *Norba Caesarina* (MPC Z71) situado en Cáceres (España), utilizando sus telescopios, CCDs, filtros fotométricos, cámara fotográfica digital y otro material. Estamos en deuda con Juan Luis González Carballo (amigo y compañero en el *Grupo de Observadores de Supernovas*) por su impagable ayuda al enviarnos las mediciones ZTF y hacernos valiosos comentarios sobre la variable, así como con el Doctor Deras por compartir con nosotros sus mediciones y su tiempo. Esta investigación ha sido realizada utilizando los catálogos y bancos de datos de VizieR y SIMBAD (Centro de Datos Estelares CDS, Strasbourg, France), Aladin Sky Atlas, ASAS-SN, ZTF y NASA's Astrophysics Data System. Las mediciones fotométricas utilizadas en el estudio de esta nueva estrella variable pueden solicitarse enviando un e-mail al autor: [fviolat@yahoo.es](mailto:fviolat@yahoo.es).

## REFERENCIAS.

- Bailer-Jones *et al.*, 2021, AJ, 161, 147: [2021AJ....161..147B](#)
- ASAS-SN: <http://www.astronomy.ohio-state.edu/asassn/index.shtml>
- Bellm, E. C., Kulkarni, S. R., 2015, AAS Meeting #225: [2015AAS...22532804B](#)
- Catalogue of Variable Stars in Globular Clusters*, NGC 6205 / C1639+365 / Messier 13:  
<http://www.astro.utoronto.ca/~cclement/cat/C1639p365>
- Clement *et al.*, 2001, AJ, 22, 2587: [2001AJ....122.2587C](#)
- Cudworth, K., M., Monet, D. G., 1979, AJ, 84, 774: [1979AJ.....84..774C](#)
- Deras D., *et al.*, 2019, MNRAS, 486, 2791: [2019MNRAS.486.2791D](#)
- Heinze, A. N. *et al.*, 2018, AJ, 156, 241: [2018AJ....156..241H](#)
- Kadla, Z. I., 1966, *Izvestiya Glavnoj Astronomicheskoy Observat. Pulkove*, 24, 93: [1966IzPul..24...93K](#)
- Kopacki, G. *et al.*, 2003, A&A, 398, 541: [2003A&A...398..541K](#)
- Ludendorff, H., 1905, *Publ. Astrophys. Obs. Potsdam*, Vol. 15, N° 50: [1905POPot..50....1L](#)
- Lupton, R. H. *et al.*, 1987, AJ, 93, 1114: [1987AJ.....93.1114L](#)
- Osborn, W., 2000, AJ, 119, 2902: [2000AJ....119.2902O](#)
- Osborn, W. *et al.*, 2017, *Acta Astronomica*, 67, 131: [2017AcA....67..131O](#)
- Mészáros, Sz. *et al.*, 2009, AJ, 137, 428: [2009AJ....137.4282M](#)
- Payne-Gaposhkin, C., 1954, *Harvard Annals*, 113, 4: [1954AnHar.113..189P](#)
- Sandquist, E. L. *et al.*, 2010, AJ, 139, 2374: [2010AJ....139.2374S](#)
- Scargle, J. D., 1982, *ApJ*, 263, 835: [1982ApJ...263..835S](#)
- Stetson, P. B. *et al.*, 2019, MNRAS, 485, 3042: [2019MNRAS.485.3042S](#)
- Violat Bordonau, F., Bennasar Andreu, T., 2003, *AFOEV*, 104, 19: [2003AFOEV.104...19V](#)
- Violat Bordonau, F., 2021a, febrero, web Casanchi: <http://casanchi.org/ast/fotometria2019202001.htm>
- Violat Bordonau, F., 2021b, marzo, web Casanchi: <http://casanchi.org/ast/fotometria2019202002.htm>
- Violat Bordonau, F., 2021c, abril, web Casanchi: <http://casanchi.org/ast/fotometria2019202003.htm>
- Violat Bordonau, F., 2021d, *OEJV*: <https://oejv.physics.muni.cz/issues.html>
- Welty, D. E., 1985, AJ, 90, 2555: [1985AJ.....90.2555W](#)
- Winkler, L., 1967, AJ, 72, 226: [1967AJ.....72..226W](#)
- The Zwicky Transient Facility (ZTF): <https://www.ztf.caltech.edu/>

**APÉNDICE.**  
**LA NUEVA VARIABLE V63.**

El día 8 de abril de 2021 se publicó en el *Open European Journal on Variable Stars* (OEJV) nuestro trabajo anunciando la variabilidad de L199: unos días más tarde, el 15 del mismo mes, esta estrella fue incluida por la Dra. Clement en el *Catalogue of Variable Stars in Globular Clusters* con el nombre de V63; reproducimos la parte final del mismo (a partir de V54) con la información de la nueva variable que incluye su número, la posición (Ascensión Recta y Declinación), el equinoccio (R0: J2000), el período (medido en días), la magnitud media, la amplitud medida en magnitudes, C es la banda (*V* Johnson en todos los casos), *Type* el tipo de variable (RR1 = RRc, SXP = SX Phe, EW = eclipsante, L = variable de tipo irregular lenta y SR? = ¿semirregular?) y varias notas sobre la misma explicadas en tres recuadros situados más abajo:

ID	Position RA/X	Dec/Y	Units	Period	<mag>	ampl	C	Type	Notes/ Remarks
54	16:42:07.65	+36:29:36.5	R0	0.2954	14.90	0.16	V	RR1	Note
55	16:41:48.47	+36:26:13.6	R0	0.0405	17.60	0.23	V	SXP	
56	16:41:45.63	+36:26:54.9	R0	0.0241	17.21	0.18	V	SXP	
57	16:41:21.37	+36:28:17.9	R0	0.2854	18.60	0.52	V	EW	
58	16:41:40.70	+36:27:16.2	R0	----	13.77	--	V	L?	Note
59	16:41:33.92	+36:30:05.5	R0	----	12.27	--	V	SR?	Note
60	16:41:44.53	+36:27:52.6	R0	----	14.47	--	V	L?	Note
61	16:41:41.89	+36:28:18.2	R0	11.42	13.13	--	V	SR?	Note
62	16:41:44.00	+36:22:33.9	R0	11.52	12.92	--	V	SR?	Note
<b>63</b>	<b>16:41:32.53</b>	<b>+36:24:42.6</b>	<b>R0</b>	<b>27.1</b>	<b>12.175</b>	<b>0.08</b>	<b>V</b>	<b>SR?</b>	<b>Note</b>

V63: Violat-Bordonau (2021) demonstrated the variability of V63 (=Ludendorff 199) by using it as a reference star for plotting light curves of three other stars L158, L77 and L353. All three stars appeared to have the same oscillations on the same dates, thus indicating that L199 was varying. The analysis was based on data obtained on 98 nights in 2019 and 134 in 2020, a span of 11 months.  
After consultation with Deras, it was established that the variability and period of L199 were confirmed in the data of Deras et al. (2019) as well.

V63 = Ludendorff #199  
Violat-Bordonau (2021) with RA, Dec and an ID chart with Ludendorff #199 labelled

Violat-Bordonau, F. 2021, *Open European Journal on Variable Stars* (OEJV), Issue 213 (08.04.2021)