

# Estrellas de Carbono Galácticas en el VVV

David C. Merlo

Observatorio Astronómico, Universidad Nacional de Córdoba



## Resumen:

Las estrellas de carbono son estrellas gigantes frías evolucionadas que presentan material circunestelar. Este estadio evolutivo, característico de las estrellas de masa intermedia, resulta importante en la evolución química de la galaxia. En el momento en que la estrella AGB ingresa en ella, ha fabricado en su interior una cantidad importante de  $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$  y  $^{14}\text{N}$  así como una amplia variedad de elementos pesados (que incluyen desde Sr hasta Pb), los cuales gran parte de ellos son transportados convectivamente hacia las capas superficiales, lo que se pone de manifiesto en la sobreabundancia de C y otros elementos en sus fotosferas.

Debido al proceso de pérdida de masa que tiene lugar en estos objetos, el medio interestelar se enriquece y contribuye a la formación de nuevas estrellas y planetas e, incluso, las moléculas más grandes (formadas en el material circunestelar) pueden iniciar el desarrollo de la vida (Wallerstein & Knapp 1998).

Uno de los rasgos distintivos que caracterizan a estos objetos es su variabilidad, la cual depende del estado evolutivo y de su masa. Por lo tanto, el estudio de la misma resulta relevante para poder explicar los procesos físicos que tienen lugar en sus atmósferas. El relevamiento VVV ("Vista Variables in the Via Lactea") provee una excelente oportunidad para llevar adelante este análisis, ya que permite disponer fotometría infrarroja profunda multiépoca para construir curvas de luz de nuestros objetos de interés con muy buena precisión (Minniti et al. 2010).

Como primera etapa en el objetivo propuesto, en este trabajo presentamos un procedimiento implementado para identificar estrellas de carbono galácticas dentro del área de cobertura del VVV y los primeros resultados obtenidos en el mismo.

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 "Vista Variables in the Vía Láctea" (VVV)

Es un relevamiento IR público multiépoca profundo en las bandas J ( $1.25\mu\text{m}$ ), H ( $1.65\mu\text{m}$ ), Ks ( $2.15\mu\text{m}$ ), Y ( $1.02\mu\text{m}$ ) y Z ( $0.88\mu\text{m}$ ), además de  $1.18\mu\text{m}$ , que utiliza el telescopio VISTA de 4.1 m (Cerro Paranal, Chile) para analizar en detalle el "bulge" de la Vía Láctea y una sección adyacente del plano medio de la misma, donde es muy activa la formación estelar. Hasta el momento lleva adquirida  $\sim 2000^{\text{h}}$  de exposiciones, incluyendo  $\sim 10^9$  fuentes puntuales en un área de 520 grados cuadrados, 33 cúmulos globulares conocidos y  $\sim 350$  cúmulos abiertos (Saito et al. 2010), disponiendo  $\sim 50$  épocas en los "tiles" del "bulge" y  $\sim 40$  en los del disco (Minniti 2014) (ver Fig. 1). El producto final será un atlas y un catálogo de  $\sim 10^6$  fuentes puntuales variables, que producirá –entre otros– un mapa 3-D de la región, utilizando indicadores de distancia muy precisos (Minniti et al. 2010).

### 1.2. Estrellas de Carbono (CS)

Son estrellas gigantes frías evolucionadas con material circunestelar. En sus fotosferas se encuentran presentes compuestos de carbono ( $\text{C/O} > 1$ ) debido al fenómeno de "dredge-up" desde el interior estelar. Las bandas moleculares  $\text{C}_2$  Swan dominan el espectro óptico, estando presentes también el  $\text{C}_3$ , CN, CH,  $\text{SiC}_2$ , Ca II y líneas intensas del NaD (Berlind 2014). Uno de los fenómenos característicos de estos objetos es su variabilidad, el cual depende del estado evolutivo y la masa, entre otros parámetros. Por lo tanto, resulta importante el estudio de la variabilidad de las mismas ya que permite explicar las propiedades físicas y los procesos que tienen lugar en sus atmósferas y una manera de determinar su estadio evolutivo (Alksne et al. 1991).

## 3. PRIMEROS RESULTADOS: CS 1812-3759

Elegimos la estrella pulsante semi-regular 1812-3759 ( $V^*$  HR CrA), con  $V_{\text{min}}=13.7$  y  $V_{\text{max}}=15.9$  (Kukarkin et al. 1971), la cual fue identificada en el "tile" b204 del "bulge" (Fig. 1). Para ello primero procedimos a descargar los 52 catálogos del mismo desde la base CASU ( $\sim 2 \times 10^5$  fuentes en formato "fits" c/u), uni-época para las bandas J, H, Y y Z y multi-época para los 48 restantes en la banda Ks. Luego descargamos y compilamos el programa *fitsio.f* que transforma en tabla *ascii* todas las fuentes y sus parámetros fundamentales (incl. magnitud y error). Finalmente diseñamos otro código que, mediante campos centrados en la coordenada de catálogo de la estrella, cuenta e identifica fuentes estelares a medida que va tomando campos cada vez mas pequeños hasta llegar a un conteo unitario. Cabe mencionar que en algunos casos se identificaron más de una fuente, procediendo a un análisis astrométrico más preciso para desambiguarlas y/o descartarlas.

Los resultados uni-época obtenidos fueron los siguientes (en  $t=2455307.5$  JD):

$$\begin{array}{cccc} J = 11,88 \pm 0,01 & H = 11,58 \pm 0,01 & Y = 16,69 \pm 0,02 & Z = 11,28 \pm 0,01 \\ (0,107^{\text{d}}) & (0,000^{\text{d}}) & (0,798^{\text{d}}) & (0,802^{\text{d}}) \end{array}$$

Las Figs. 4 resume las magnitudes Ks multi-época obtenidas y la precisión en el proceso de identificación del objeto en cada "tile" considerado.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Dr. Sebastián Gurovich por toda la disposición e información recibida para el manejo e interpretación de los datos VVV. Asimismo, nuestra gratitud al Dr. Dante Minniti por la presteza en responder a las preguntas formuladas y enviarnos datos importantes para este trabajo, y al Dr. Javier Ahumada por la interesante discusión acerca de la naturaleza de la estrella estudiada.

Finalmente, agradecemos al A.S. Omar Silvestro por habernos brindado información necesaria para la automatización del proceso de descarga y procesamiento de los catálogos VVV. Este trabajo utilizó la base de datos SIMBAD que funciona en CDS (Strasbourg, Francia).

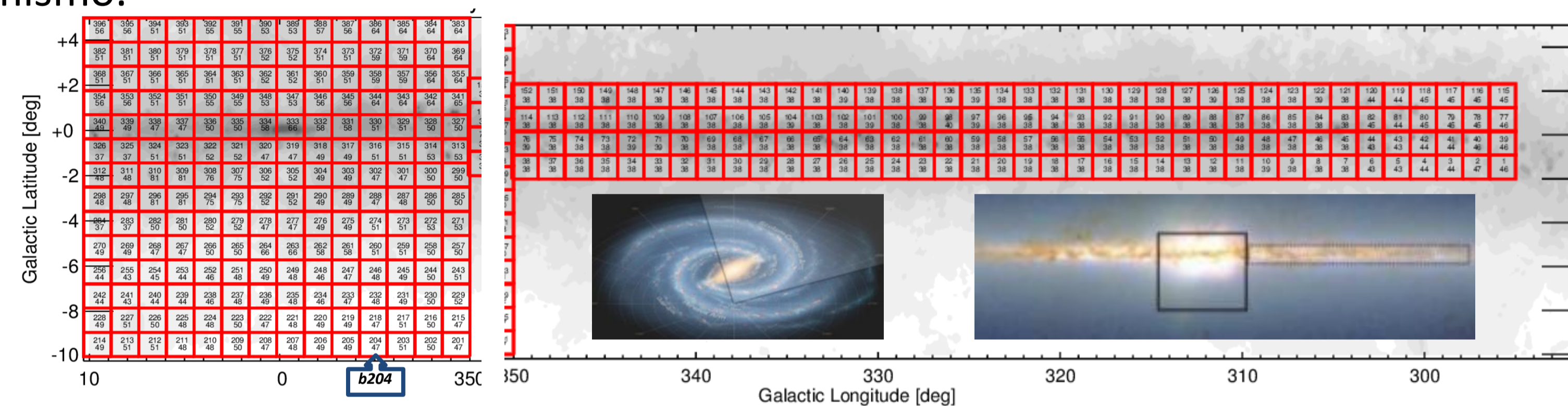


Fig. 1: Progreso y distribución de los "tiles" en el VVV (izq. "bulge", der. "disco") hasta el 17/05/2014 realizado por la Dra. Maren Hempel (PUC-Chile) (Minniti 2014) y campo de observación del VVV (Minniti et al. 2010, Saito et al. 2010).

## 2. PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACIÓN

A partir de las coordenadas de los centros de cada tile ("bulge" + disco) (Minniti 2014), construimos cuadrículas centradas en los mismos y de anchos igual a la separación entre centros consecutivos (para obtener más precisión en la identificación). El campo del "bulge" está formado por  $14 \times 14$  tiles, mientras que el disco por  $4 \times 36$  tiles, como lo muestra la Fig. 1.

Utilizando el catálogo de CS galácticas de Alksnis et al. (2001), identificamos las estrellas pertenecientes a los campos VVV. De un total de 6891 objetos, hallamos 162 en el "bulge" y 363 en el "disco" (Fig. 2). Escribimos un código que determina en qué "tile" se localiza cada una de estas estrellas: las Figs. 3 muestran los histogramas respectivos, llamando la atención a 2 concentraciones encontradas en el disco, la cual analizaremos más adelante.

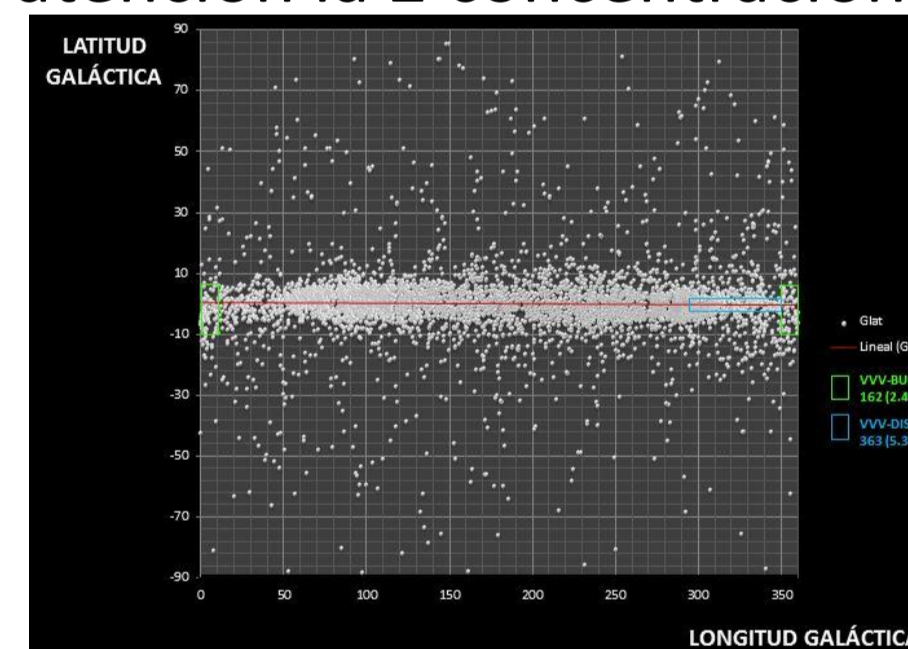


Fig. 2: Distribución galáctica de las CS.

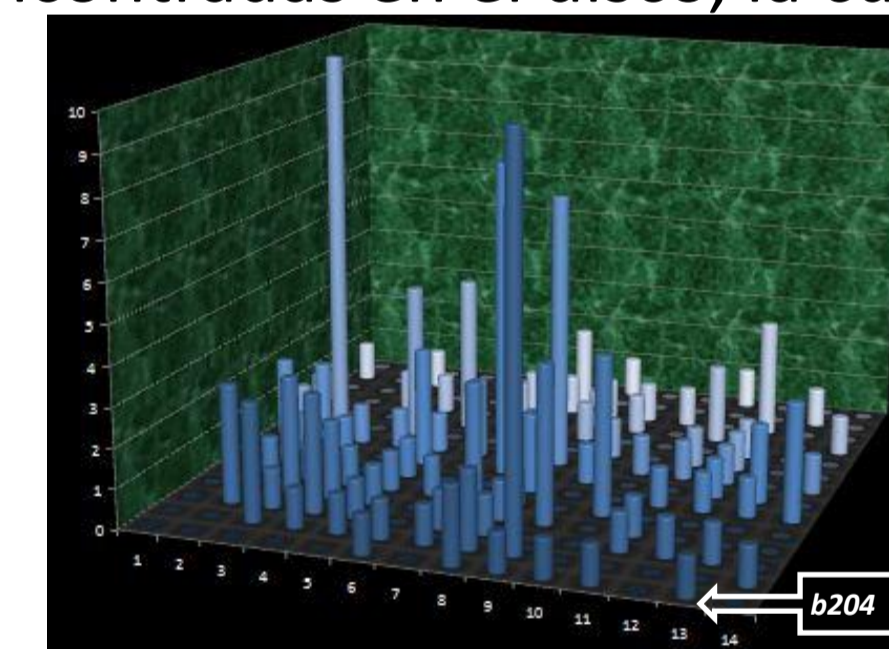


Fig. 3: Histograma de las CS identificadas en el "bulge" (izq.) y en el disco (der.)

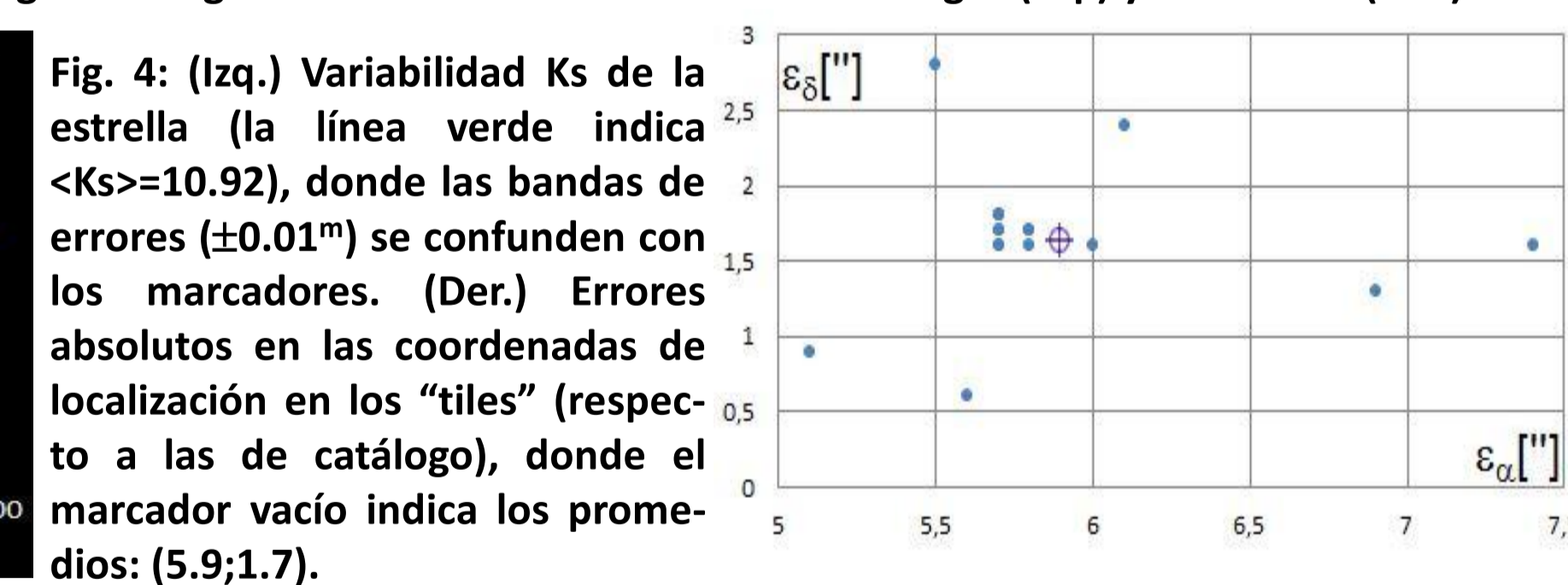
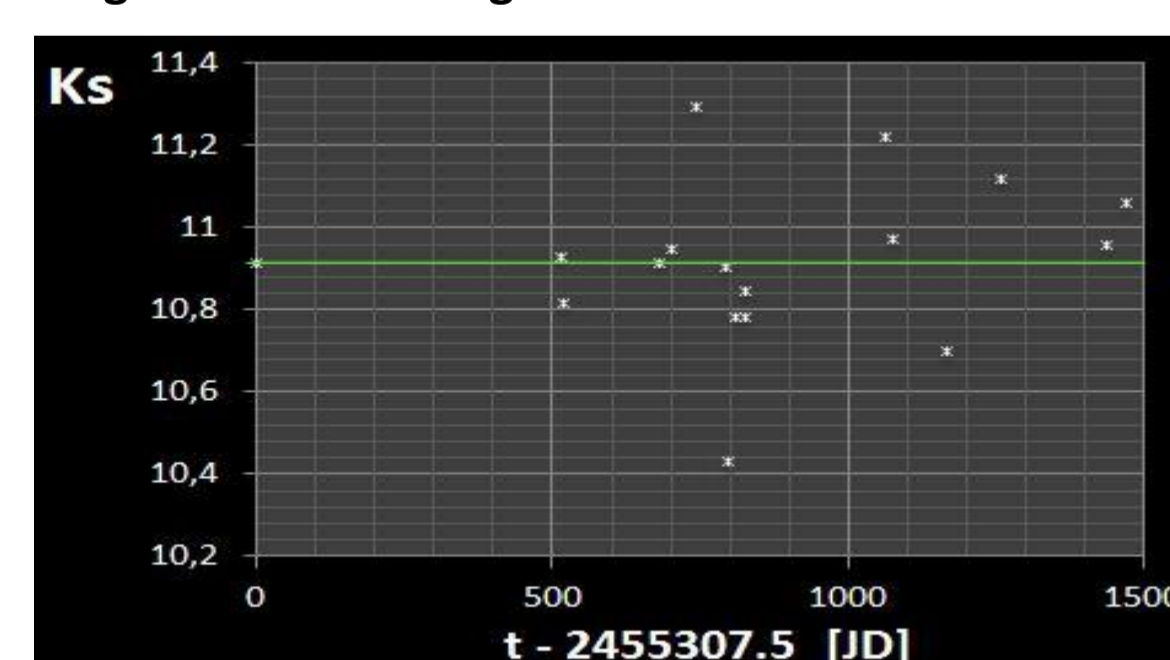
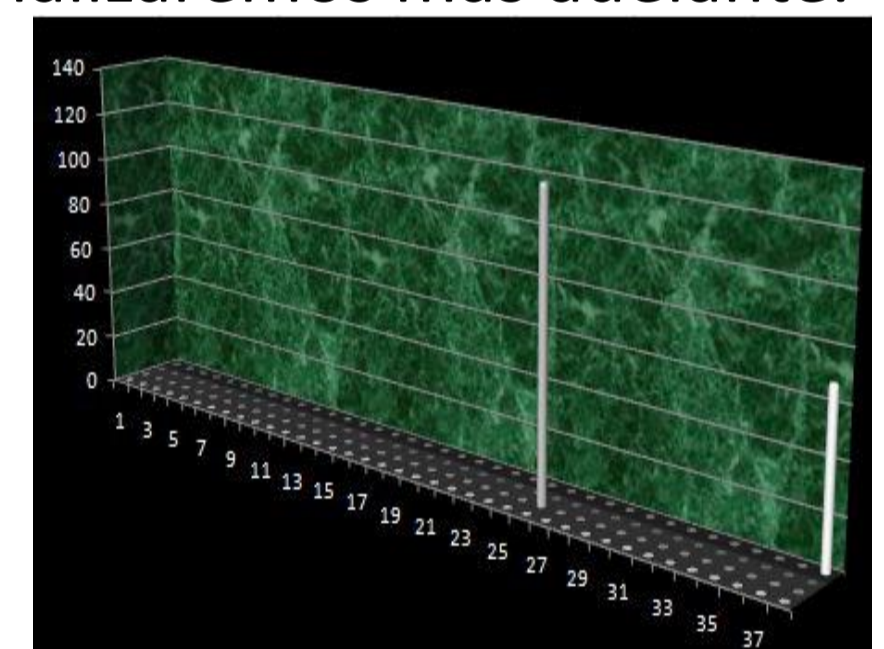


Fig. 4: (Izq.) Variabilidad Ks de la estrella (la línea verde indica  $\langle Ks \rangle = 10.92$ ), donde las bandas de errores ( $\pm 0.01^{\text{m}}$ ) se confunden con los marcadores. (Der.) Errores absolutos en las coordenadas de localización en los "tiles" (respecto a las de catálogo), donde el marcador vacío indica los promedios: (5.9;1.7).

## 4. CONCLUSIONES PRELIMINARES Y PERSPECTIVAS

- Los resultados muestran el carácter semi-regular del objeto, con dos probables abrigamientos (distanciados  $369^{\text{d}}$ ), el más intenso  $\sim 50^{\text{d}}$  después del máximo debilitamiento detectado. Esta estrella respondería al subtipo SRB, pero estamos trabajando en la procura de otros puntos que mejoren la curva de luz y permita confirmar estas aseveraciones.

- Automatizamos el proceso de adquisición y procesamiento de los catálogos VVV. Trabajo similares a éste será realizado con todas las estrellas del catálogo de Alksnis et al. (2001).

- Si bien nuestro objetivo general es analizar la variabilidad infrarroja de las CS galácticas, el procedimiento aquí descrito abre nuevas posibilidades para el estudio IR en otros tipos de estrellas y eventos astronómicos.

## 6. REFERENCIAS

- Alksne, Z., Alksnis A. & Dzervitis U.: 1991, "Properties of Galactic Carbon Stars", Orbit Book Co.  
 Alksnis A., et al.: 2001, *Balt.A.*, **10**, 1-318.  
 Berlind, P.: 2014, "Carbon Stars", <http://www.cfa.harvard.edu/~pberlind/atlas/htmls/cstars.html> (Rec.8/9/2014)  
 Kukarkin, B. et al: 1971, "General Catalog of Variables Stars", 3<sup>rd</sup> edit.  
 Minniti, D. et al.: 2010, *New Astronomy*, **15**, 433-443. Saito R. et al.: 2010, *The Messenger*, **141**, 24-28.  
 Minniti, D.: 2014, comunicación privada. Wallerstein, G. & Knapp, G.R.: 1998, *ARA&A*, **36**, 369.