Composición química del Cúmulo Abierto NGC 2682 (M67)

Ricardo Carrera

OSSERVATORIO ASTRONOMICO DI PADOVA
INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA

OSSERVATORIO
ASTRONOMICO DI PADOVA

¿Qué es un cúmulo abierto?

Agrupaciones de entre unas pocas decenas a varios miles de estrellas.
Formados a partir de una misma nube molecular en único episodio de formación estelar:

- misma edad
- misma composición química
- misma dinámica (se mueven de forma conjunta).

Tienen un amplio rango de masas, luminosidades, características estructurales y edades.

Se usan para estudiar una gran variedad de aspectos astrofísicos:

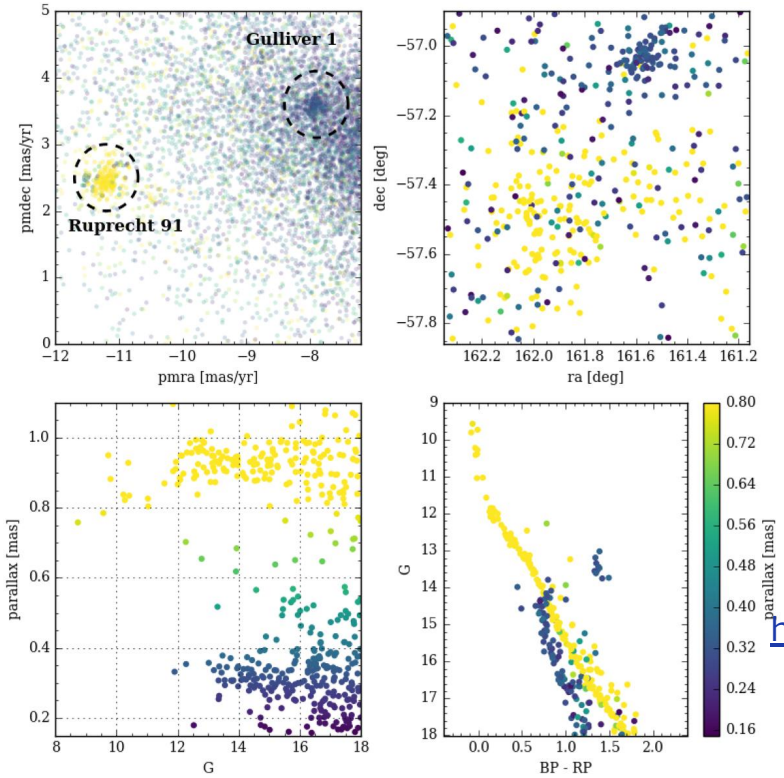
- ❖ Interiores estelares, nucleosíntesis, evolución estelar.
- ❖ Formación y evolución de las galaxias que los contienen.

Fuente: ESO

El cúmulo abierto NGC 2682 (M67)

Cúmulo abierto viejo, 3.6 Ga, situado a unos 860 pc y con metalicidad cercana a la solar.
Se usa como referencia en estudios de varios tipos.
Se ha sugerido que el Sol podría provenir de este cúmulo.

Identificación de las estrellas miembros



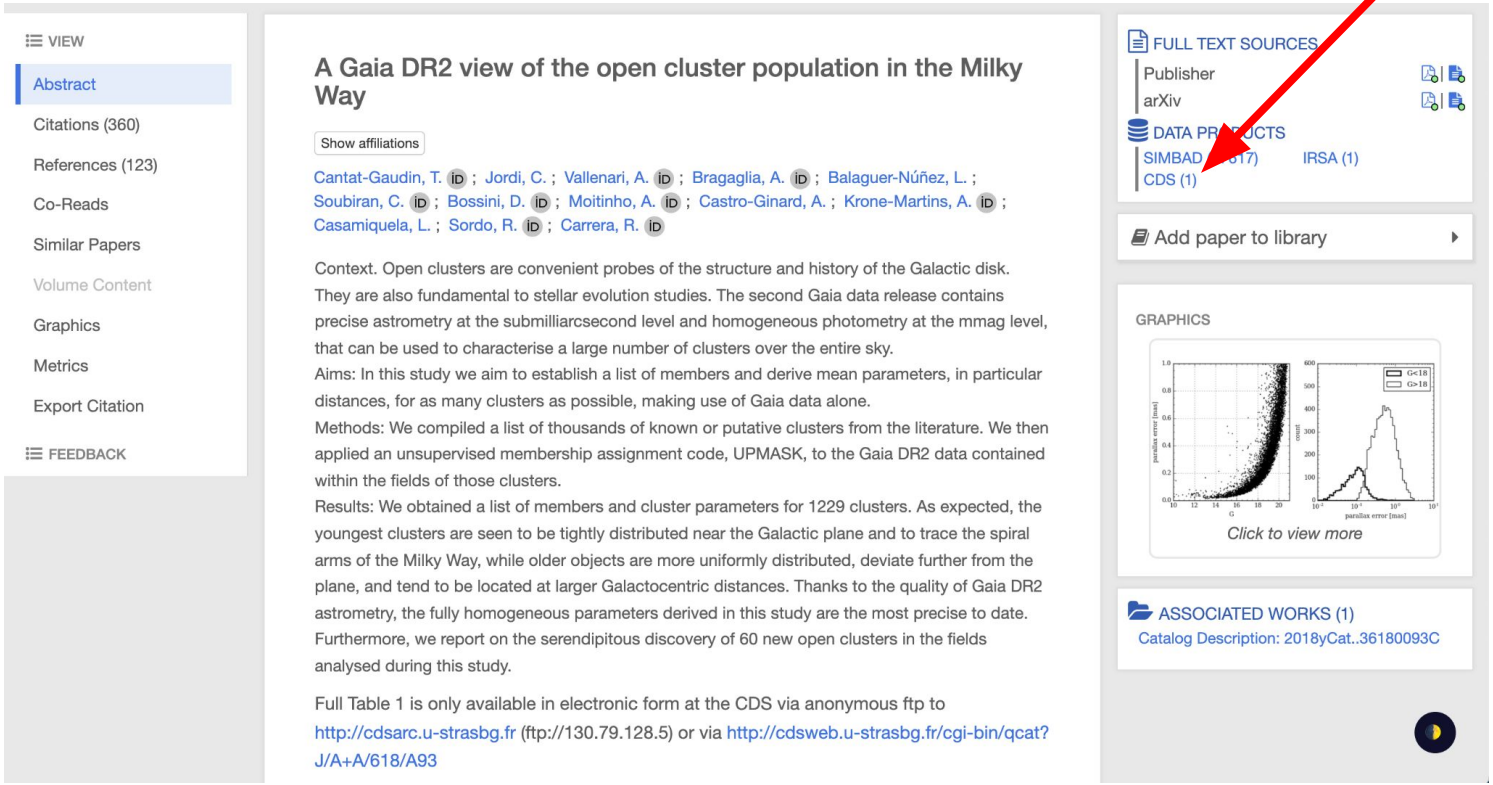
Probabilidades de membresía obtenidas a partir de:

- posiciones
- movimientos propios
- paralajes

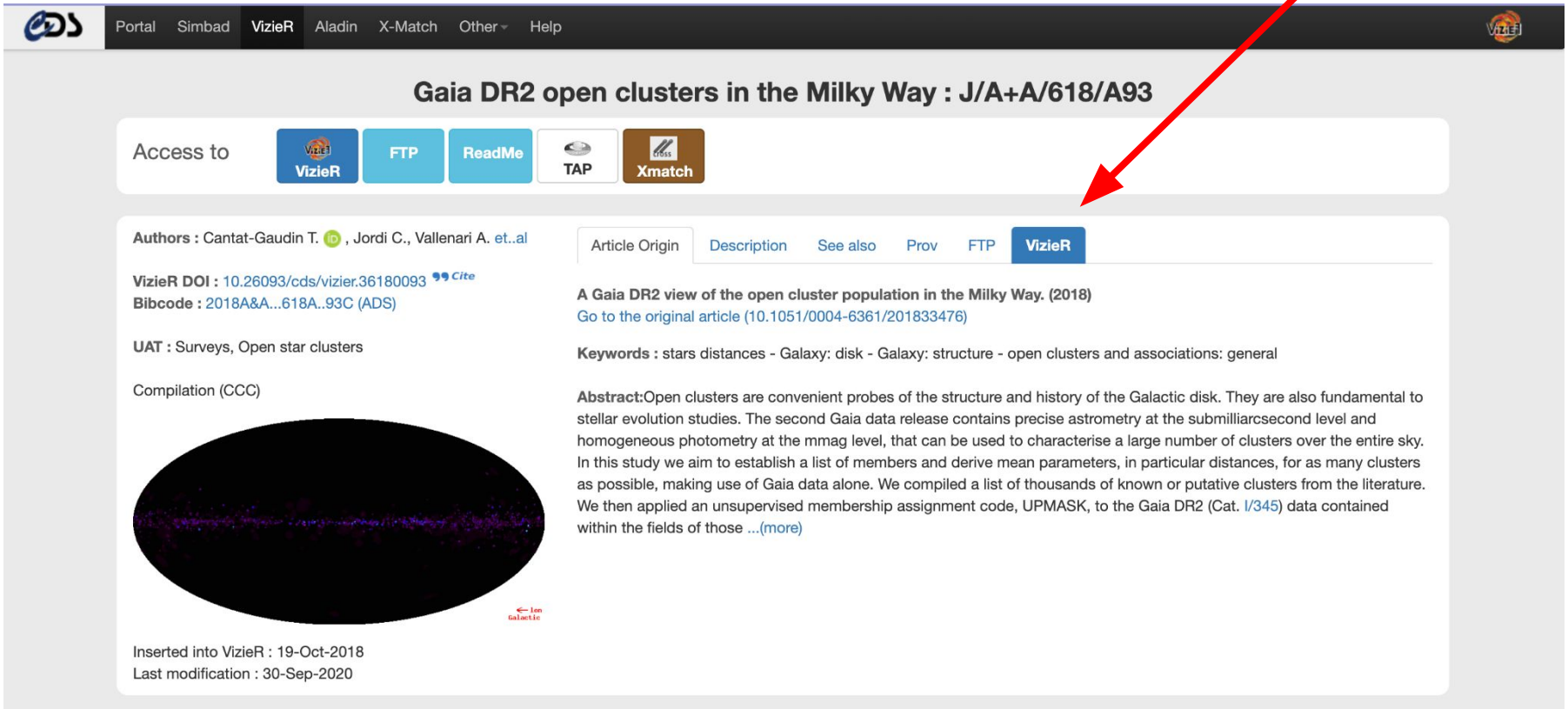
Cantat-Gaudin *et al.* 2018

https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2018A%26A...618A..93C/abstract

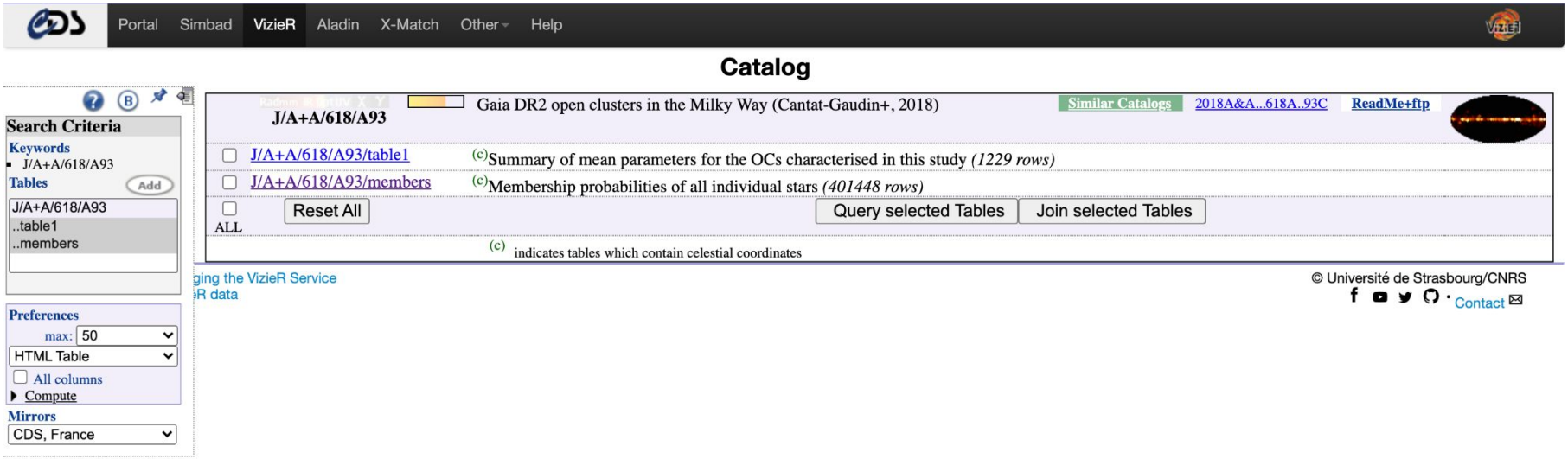
Obtener la información de membresía



Obtener la información de membresía



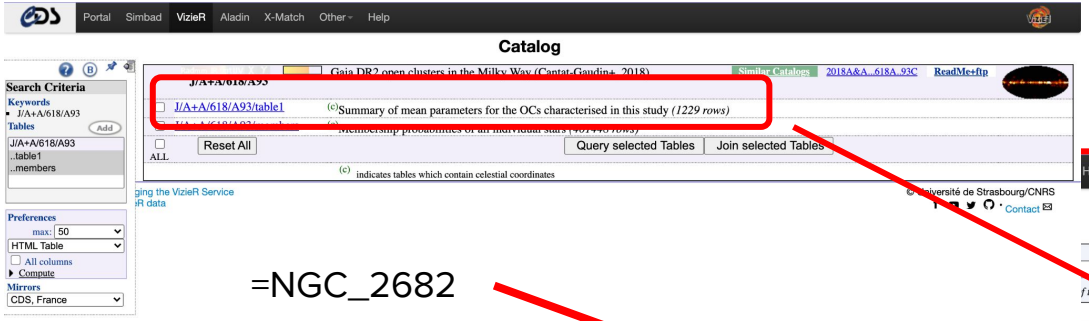
Obtener la información de membresía



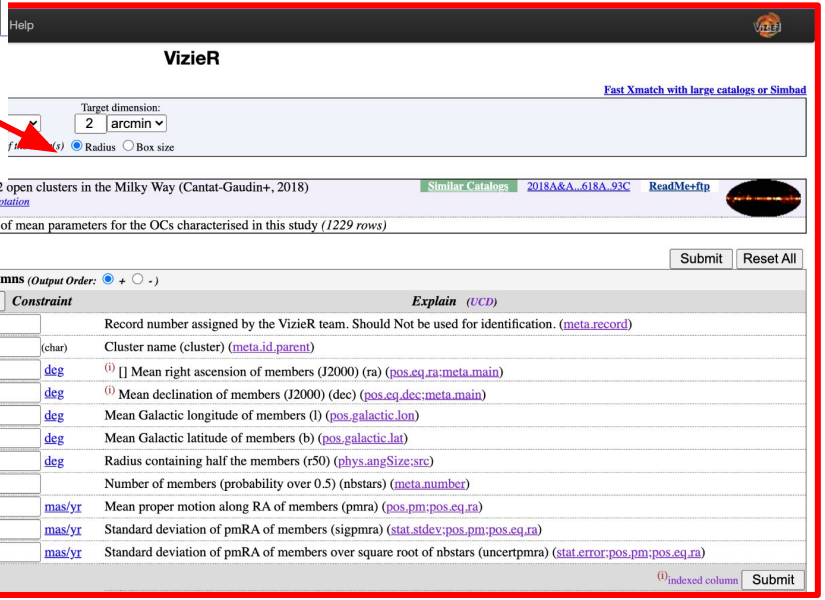
Hay dos tablas disponibles:

- Parámetros promedios de cada cúmulo
- Información de las estrellas individuales.

Obtener el centro del cúmulo

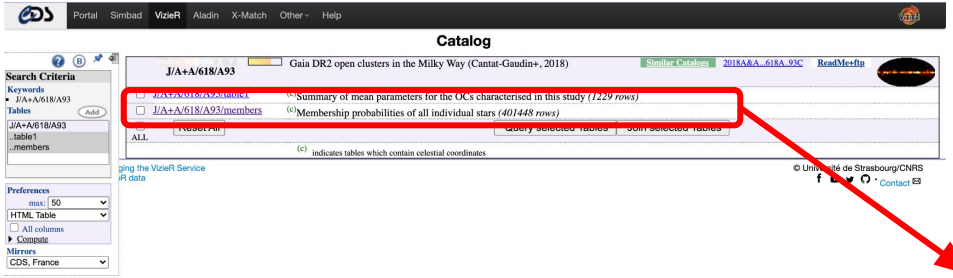


=NGC_2682



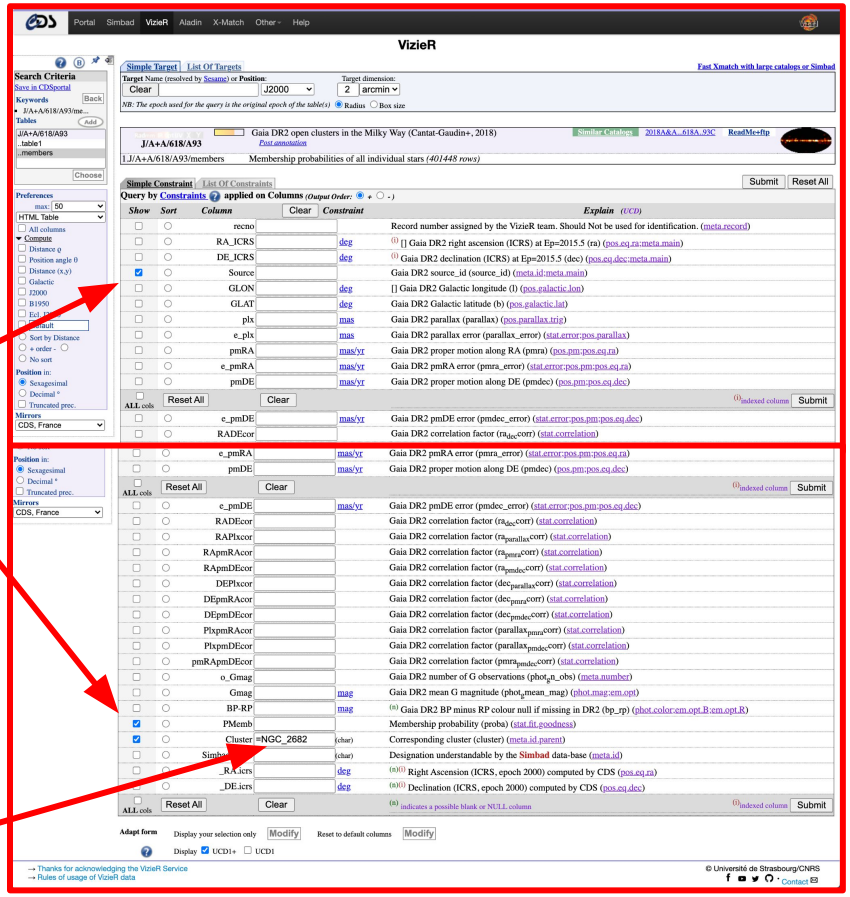
Full	Cluster	RAJ2000 deg	DEJ2000 deg	GLON deg	GLAT deg	r50 deg	Nstars	pmRA mas/yr	pmDE mas/yr	plx mas	dmode pc	dmode+01 pc	dmode-01 pc	X pc	Y pc	Z pc	Rgc pc	SimbadName
1	NGC_2682	132.846	+11.814	215.691	31.921	0.166	691	-10.986	-2.964	1.135	859.1	791.2	939.9	-592.2	-425.4	454.3	8942.4	NGC 2682

Obtener la información estrellas individuales

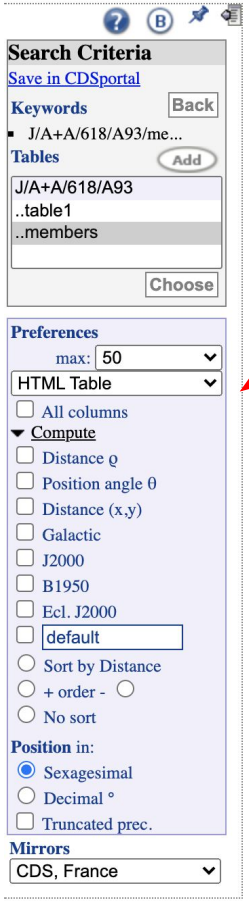


Seleccionar columnas, nos interesan:
source (ID de Gaia DR2)
Pbmem (probabilidad de ser miembros)
Cluster

=NGC_2682



Obtener la información estrellas individuales



Para poder descargar los datos hay que modificar las preferencias

MAX: cambiar a *Unlimited*

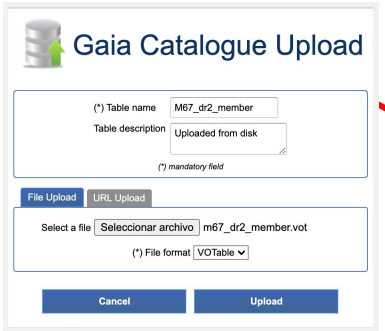
HTML Table cambiar a ***VOTable***

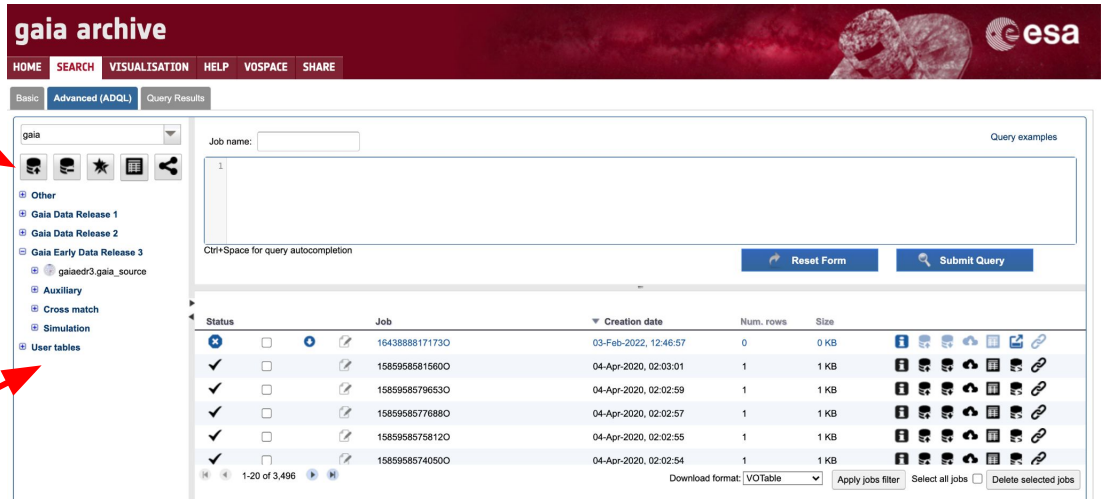
Cuando hacemos esto se descarga automáticamente un fichero llamado **vizier_votable.vot**
Normalmente se guarda en la carpeta de descargas.
Conviene guardarlo en otra carpeta y cambiarle el nombre p. eg. **m67_dr2_member.vot**

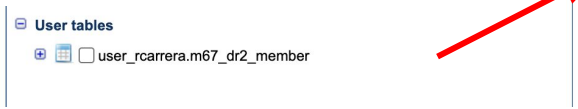
Obtener la información EDR3 estrellas miembros

Lo obtenemos del archivo de Gaia. Es necesario entrar con nuestro usuario porque vamos a subir una tabla.
En el modo anónimo no podemos.

Gaia Archive → Advance (ADQL)



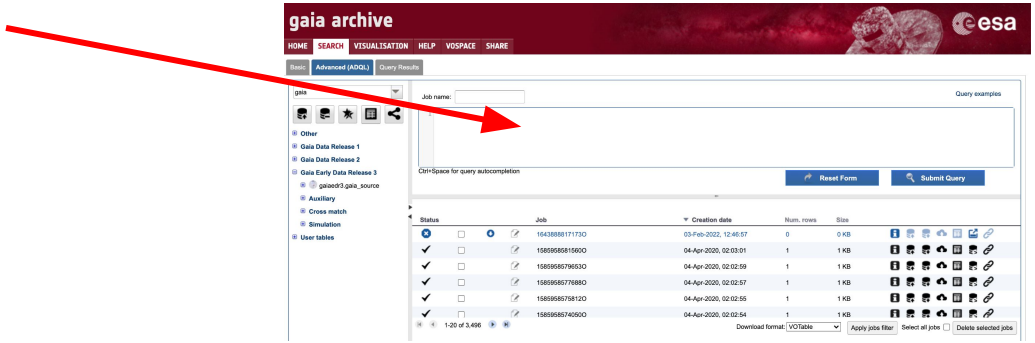




Obtener la información EDR3 estrellas miembros

Vamos a obtener movimientos propios, paralajes y magnitudes (***gaiaedr3.gaia_source***) usando la tabla de correlación entre Gaia DR2 y EDR3 (***gaiaedr3.dr2_nighbourhood***) pero solo para las estrellas que nos interesan (***user_XXXX.m67_dr2_member***)

```
SELECT
dr2.dr3_source_id,mem.source,dr2.dr2_source_id,edr3.source_id,edr3.ra,edr3.dec,edr3.parallax,edr3.pmra,edr3.pmdec
,edr3.phot_g_mean_mag,edr3.phot_bp_mean_mag,edr3.phot_rp_mean_mag,mem.pmemb
FROM gaiaedr3.gaia_source AS edr3
INNER JOIN dr2_neighbourhood AS dr2 ON edr3.source_id = dr2.dr3_source_id
INNER JOIN user_rcarrera.m67_dr2_member AS mem ON dr2.dr2_source_id = mem.source
WHERE dr2.magnitude_difference>=-0.2 AND dr2.magnitude_difference<=0.2 AND dr2.angular_distance<=600
```



Obtener la información EDR3 estrellas miembros

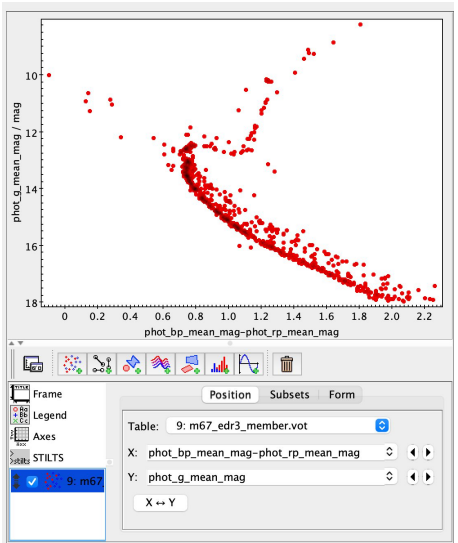
Si ha funcionado debemos obtener algo del tipo:

Status			Job	Creation date	Num. rows	Size	
✓	☐		1643968300215O	04-Feb-2022, 10:51:40	848	63 KB	

Descargamos los resultados:

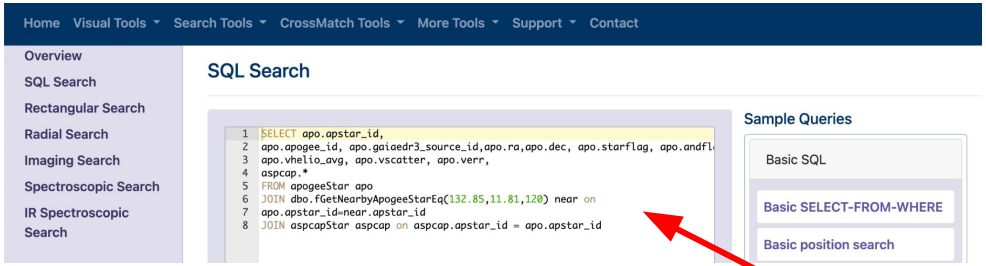
Obtendremos algo tipo: **1643968300215O-result.vot.gz**
Copiarlo en la carpeta de trabajo y cambiarle el nombre y descomprimirlo. **m67_edr3_member.vot**

Podemos abrirlo con TOPCAT,
pintar el diagrama color-magnitud, etc.



Obtener los resultados de APOGEE

Archivo SDSS búsqueda por SQL
http://skyserver.sdss.org/dr17/SearchTools/sql

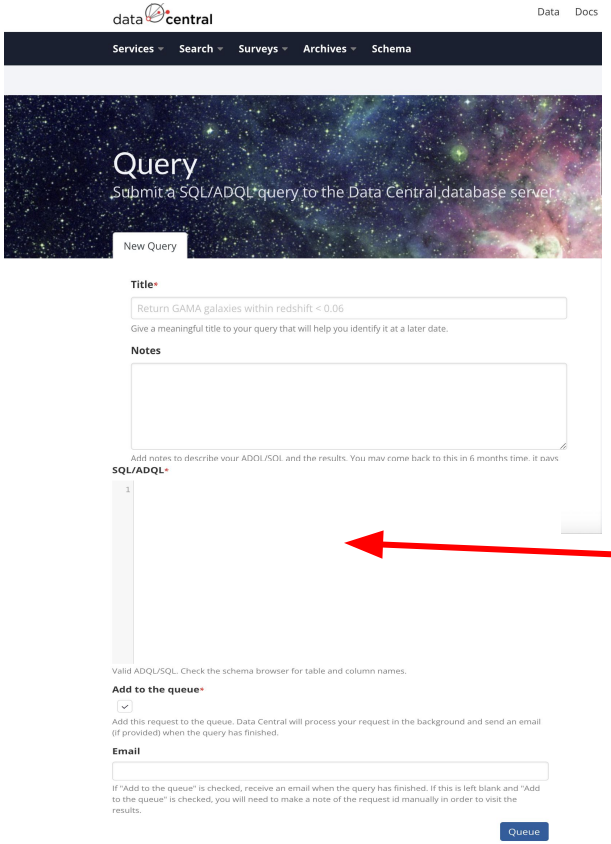


La información está en dos tablas:
apogeeStar: Info general y velocidades radiales
aspcapStar: Parámetros atmosféricos y abundancias

```
SELECT apo.apstar_id, apo.apogee_id, apo.gaiaedr3_source_id, apo.ra,apo.dec, apo.starflag,
apo.andflag, apo.vhelio_avg,  apo.vscatter, apo.verr, aspcap.*
FROM apogeeStar apo
JOIN dbo.fGetNearbyApogeeStarEq(132.85,11.81,120)  near on apo.apstar_id=near.apstar_id
JOIN aspcapStar aspcap on aspcap.apstar_id = apo.apstar_id
```

Para descargarla seleccionar **CSV** en *OUTPUT FORMAT*

Obtener los resultados de GALAH



Archivo GALAH Data Central búsqueda por ADQL
https://datacentral.org.au/services/query/

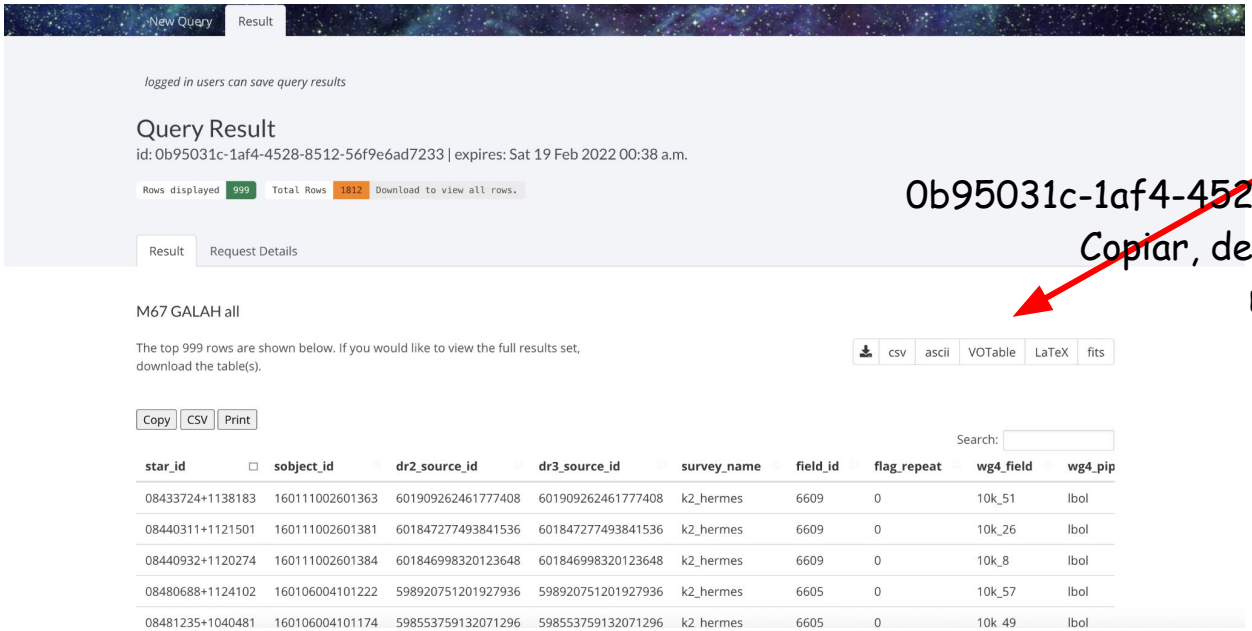
La información está en dos tablas:
galah_dr3p2.main_star: Resultados GALAH
galah_dr3p2.vac_gaia_edr3: Cruce con Gaia EDR3

```
SELECT
   galah_main.*, gaia_vac.ra,gaia_vac.dec
   FROM galah_dr3p2.main_star as galah_main
   INNER JOIN galah_dr3p2.vac_gaia_edr3
  as gaia_vac on galah_main.dr3_source_id = gaia_vac.dr3_source_id
   WHERE 1=CONTAINS(POINT('ICRS', gaia_vac.ra, gaia_vac.dec),
                    CIRCLE('ICRS', 132.85, 11.81, 2.0 ))
```

Obtener los resultados de GALAH

Archivo GALAH Data Central búsqueda por ADQL
https://datacentral.org.au/services/query/

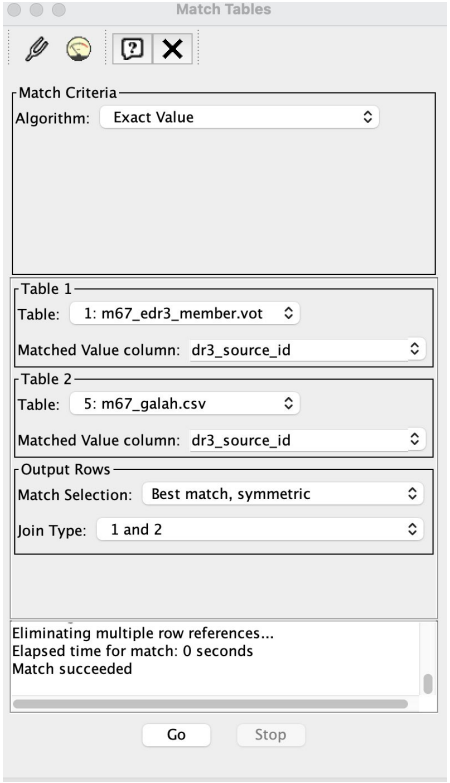
Descargar



0b95031c-1af4-4528-8512-56f9e6ad7233.tar.gz
Copiar, descomprimir y renombrar
m67_galah.vot

Cruzar Gaia EDR3 y Membresía con GALAH

TOPCAT → Joins → Pair Match (emparejamos en source_id) 

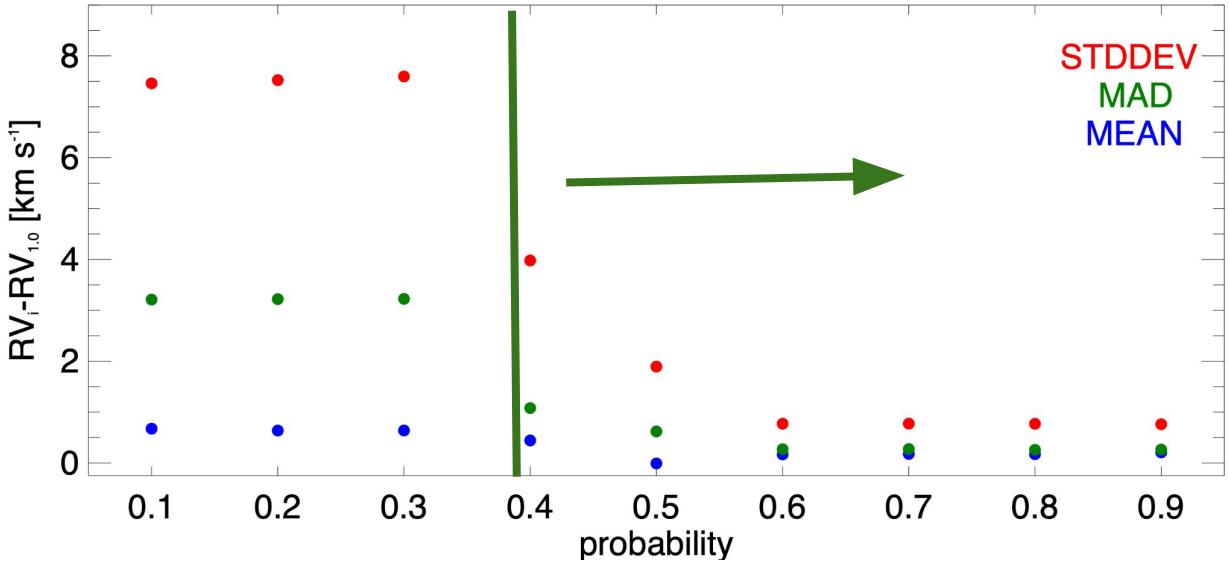


Obtenemos 278 estrellas en común.

Consejo: Es conveniente poner un nombre que nos permita identificar que contiene la nueva tabla.

Limpieza del catálogo

Probabilidad astrométrica membresía baja



Mmemb>=0.4

Carrera et al. 2019

Limpieza del catálogo

Recomendaciones de GALAH

Recommended flag values

> Overall, we make three recommendations: (1) `snr_c3_iraf > 30`; (2) only stellar parameters for stars with `flag_sp == 0`, `flag_fe_h == 0`; (3) only elemental abundances with `flag_X_fe == 0`.

> For more information, see our Flag bitmask documentation.

The main recommended `GALAH_DR3_main_allstar_v2` catalogue contains a number of flags. For most science cases, the two most important to consider are the stellar parameter quality flag (`flag_sp`) and the iron abundance quality flag (`flag_fe_h`). `flag_sp` folds in many potential sources of errors in the input values (e.g., unreliable astrometry, very low signal spectra, reduction problems, possibly binarity). `flag_fe_h` indicates problems with the stellar parameter determination. **By default, we recommend that users only consider stellar parameters (T_{eff}, log *g*, [Fe/H], broadening velocity, radial velocity) for stars with `flag_sp == 0` and `flag_fe_h == 0`.**

For the abundance information there is similarly flags. For the overall α abundance (`alpha_fe`) and each indivudual elemental abundance `X_fe` there is a `flag_X_fe` that indicates problems with the elemental abundance determination. **We strongly recommend only considering the abundance of element `X` when `flag_X_fe == 0`.** As for all of our previous GALAH releases, we want to stress that we discourage the use of element abundances with `flag_X_fe > 0` without consideration of the possible systematics that these flagged measurements can introduce.

We would recommend considering only stars with a signal to noise `snr_c3_iraf > 30`.

Estrellas con una señal-ruido razonable

snr_c3_iraf > 30

Estrellas cuyos parámetros atmosféricos se han obtenido sin problemas.

flag_sp == 0

flag_fe_h == 0

Más adelantes, cuando estudiemos abundancias individuales, para el elemento X

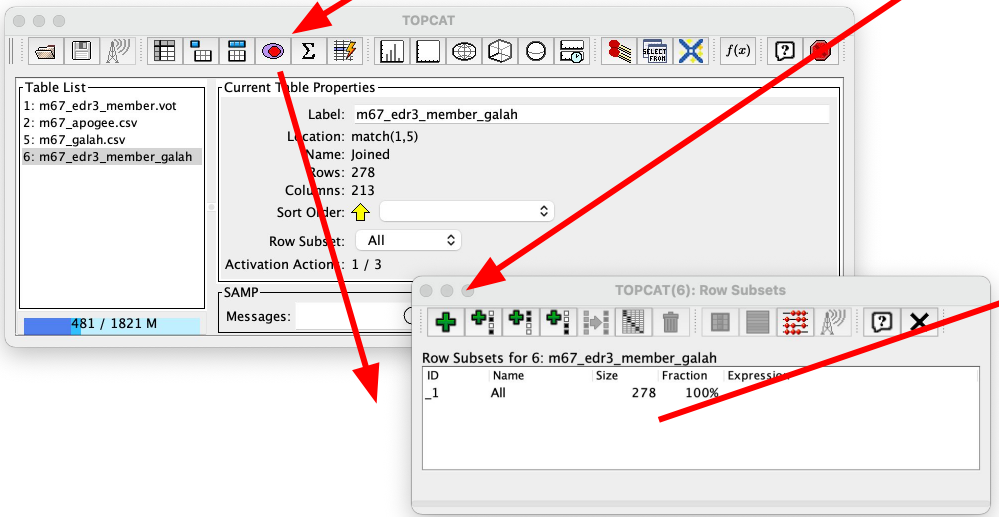
flag_X_h == 0

Limpieza del catálogo

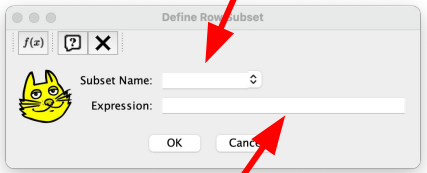
Aplicamos estas restricciones: creamos un subconjunto

Obtenemos 127 estrellas

TOPCAT → ROW SUBSET→DEFINE NEW SUBSET



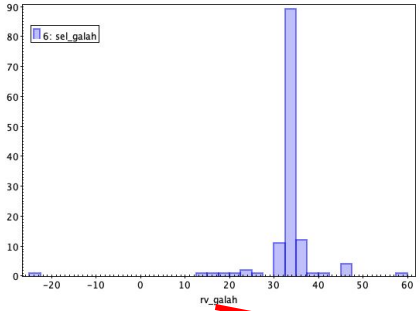
Nombre identificativo
sel_galah



pmemb>=0.4 & snr_c3_iraf > 30 & flag_sp==0 & flag_fe_h==0

Limpieza del catálogo: velocidades radiales

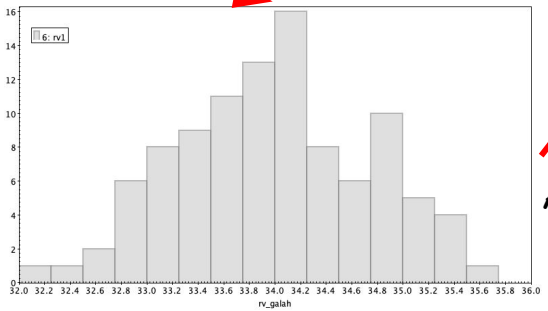
TOPCAT: pintamos histograma velocidades radiales (rv_galah)



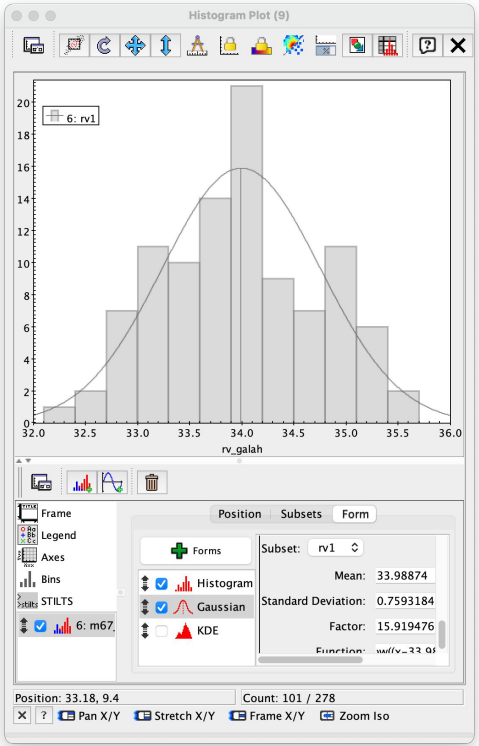
media 33.99 km s^{-1}
STD 0.76 km s^{-1}

33.96±0.44 km s-1
Carrera *et al.* 2022

Jugamos con los parámetros del histograma
BINS: 0.3
RANGE p. ej. 32-36

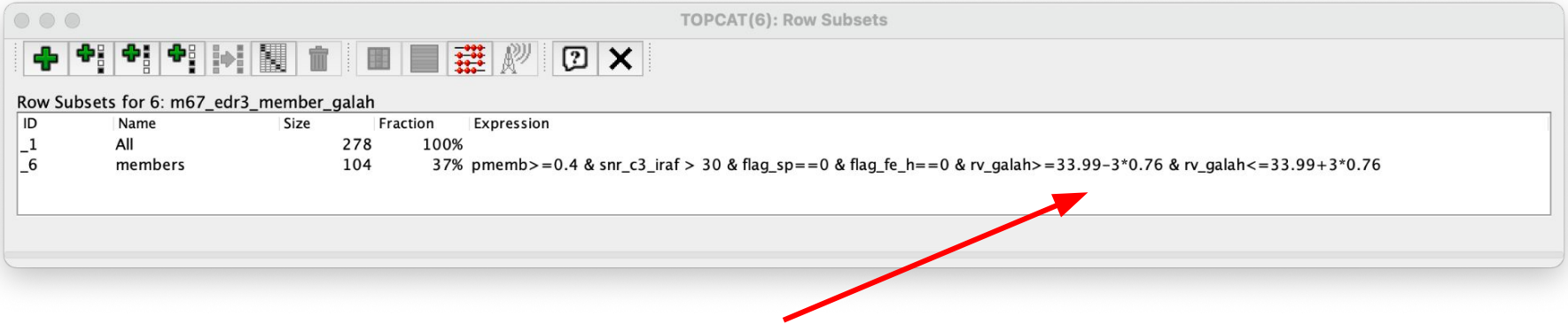


Ajustamos Gaussiana



Limpieza del catálogo: velocidades radiales

TOPCAT: añadimos condición de rv_galah dentro de media±3xstd



añadimos: & rv_galah>=33.99-3*0.76 & rv_galah<=33.99+3*0.76

104 estrellas cumplen estas condiciones

Inspeccionamos los resultados

Diagrama color-magnitud

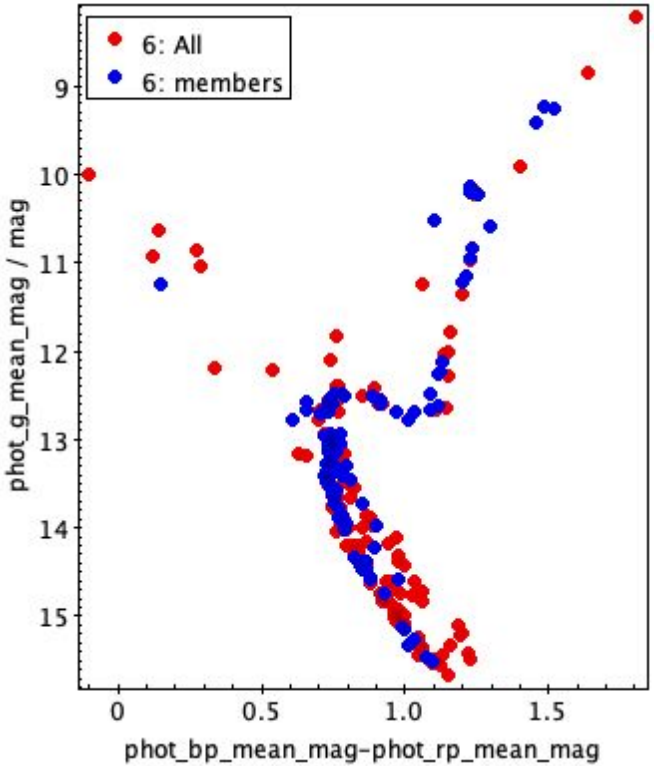
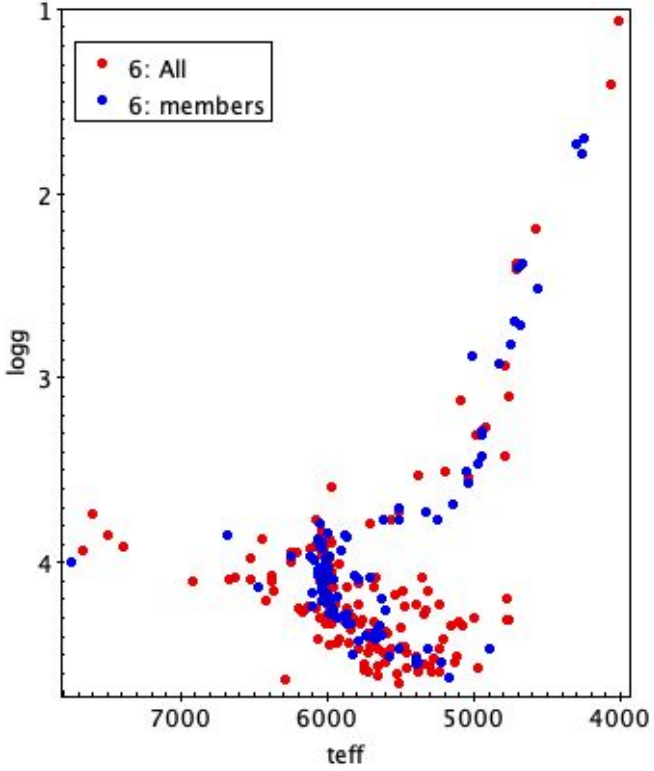


Diagrama HR

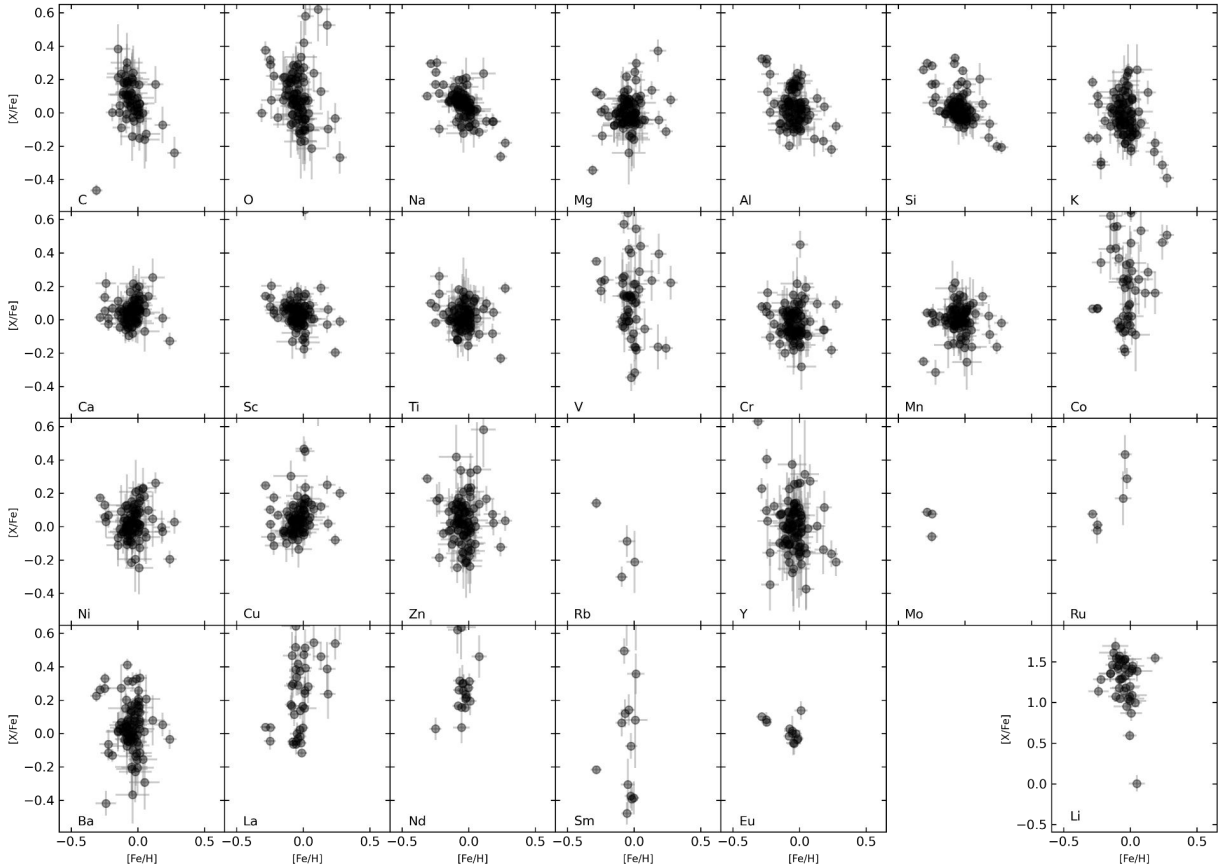


Cálculo de Abundancias promedio

Elementos ligeros: Li, C, O
Elementos Z impar: Na, Al, K
Elementos α: Mg Si, Ca, Ti (y Ti II)
Elementos pico Fe: Sc, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn
Elementos captura de neutrones:
- lentos: Y, Ba, La, Rb, Mo, Ru, Nd, Sm
- rápidos: Eu

Jupyternotebook: **calculo_abundancias.ipynb**

Cálculo de Abundancias promedio



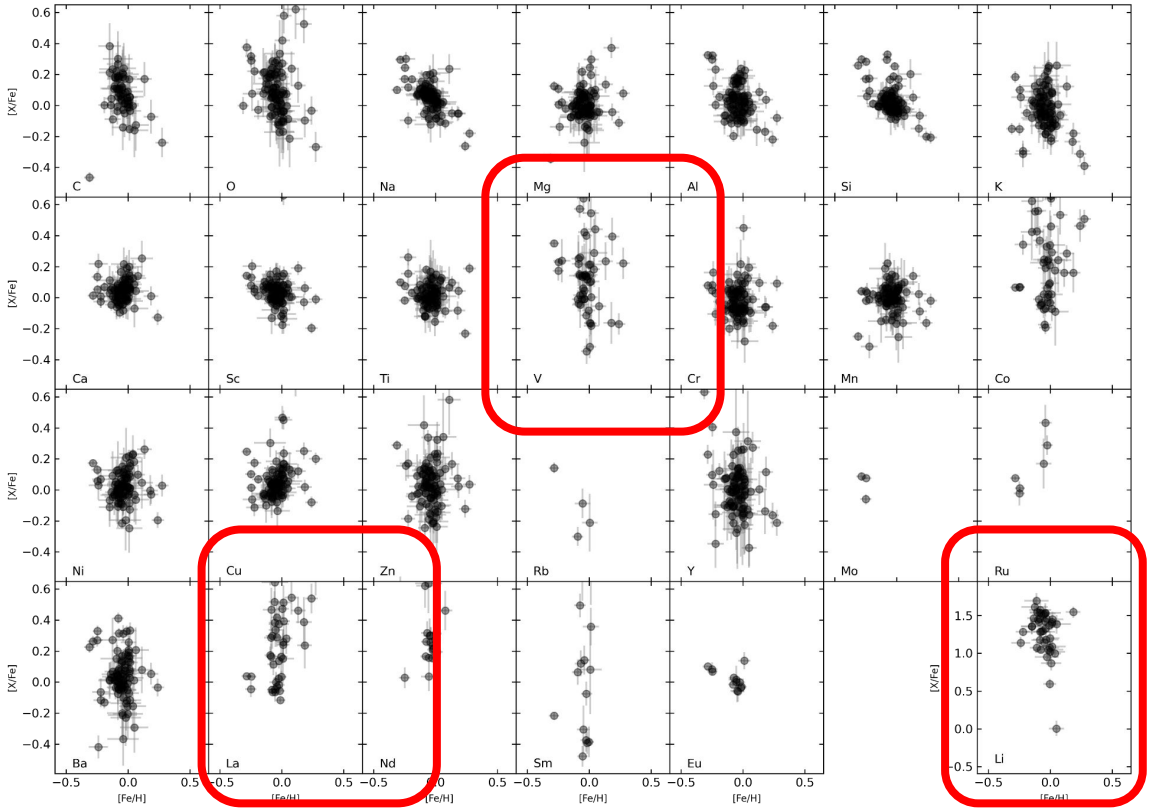
A partir de las abundancias químicas
¿Puede el Sol haberse formado en NGC 2682?

The Astronomical Journal, 143:73 (11pp), 2012 March doi:10.1088/0004-6256/143/3/73

THE SUN WAS NOT BORN IN M67*

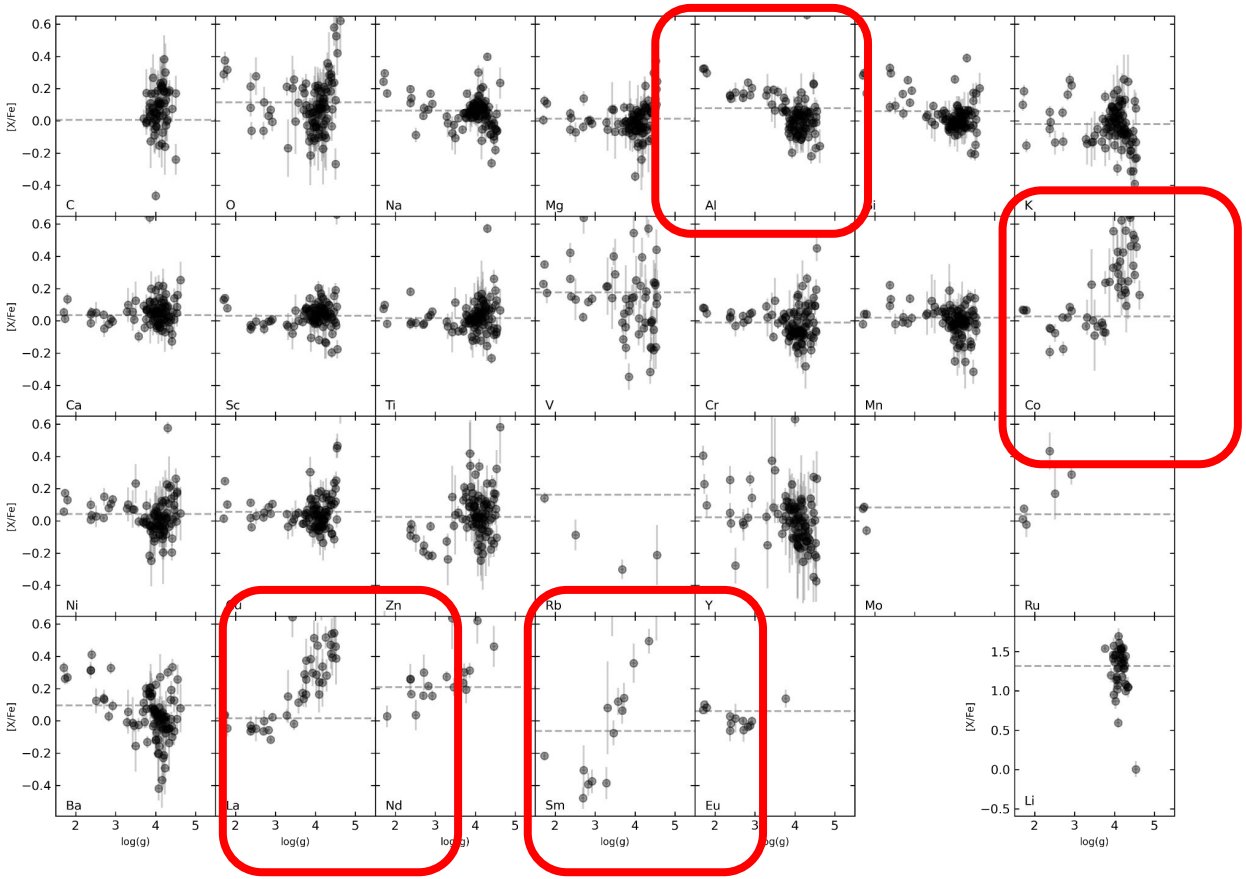
Bárbara Pichardo[1], Edmundo Moreno[1], Christine Allen[1], Luigi R. Bedin[2,3], Andrea Bellini[4], and Luca Pasquini[5]
[1] Instituto de Astronomía, Universidad Nacional Autónoma de México, A.P. 70-264, 04510 México D.F., Mexico
[2] Space Telescope Science Institute, 3700 San Martin Drive, Baltimore, MD 21218, USA
[3] INAF - Astronomical Observatory of Padova, vicolo dell'Osservatorio 5, I-35122 Padova, Italy
[4] Dipartimento di Astronomia, Università di Padova, Vicolo dell'Osservatorio 3, I-35122 Padova, Italy
[5] European Southern Observatory, Karl-Schwarzschild-Str. 2, D-85748 Garching bei München, Germany
Received 2011 April 23; accepted 2011 December 24; published 2012 February 14

Distribuciones particulares

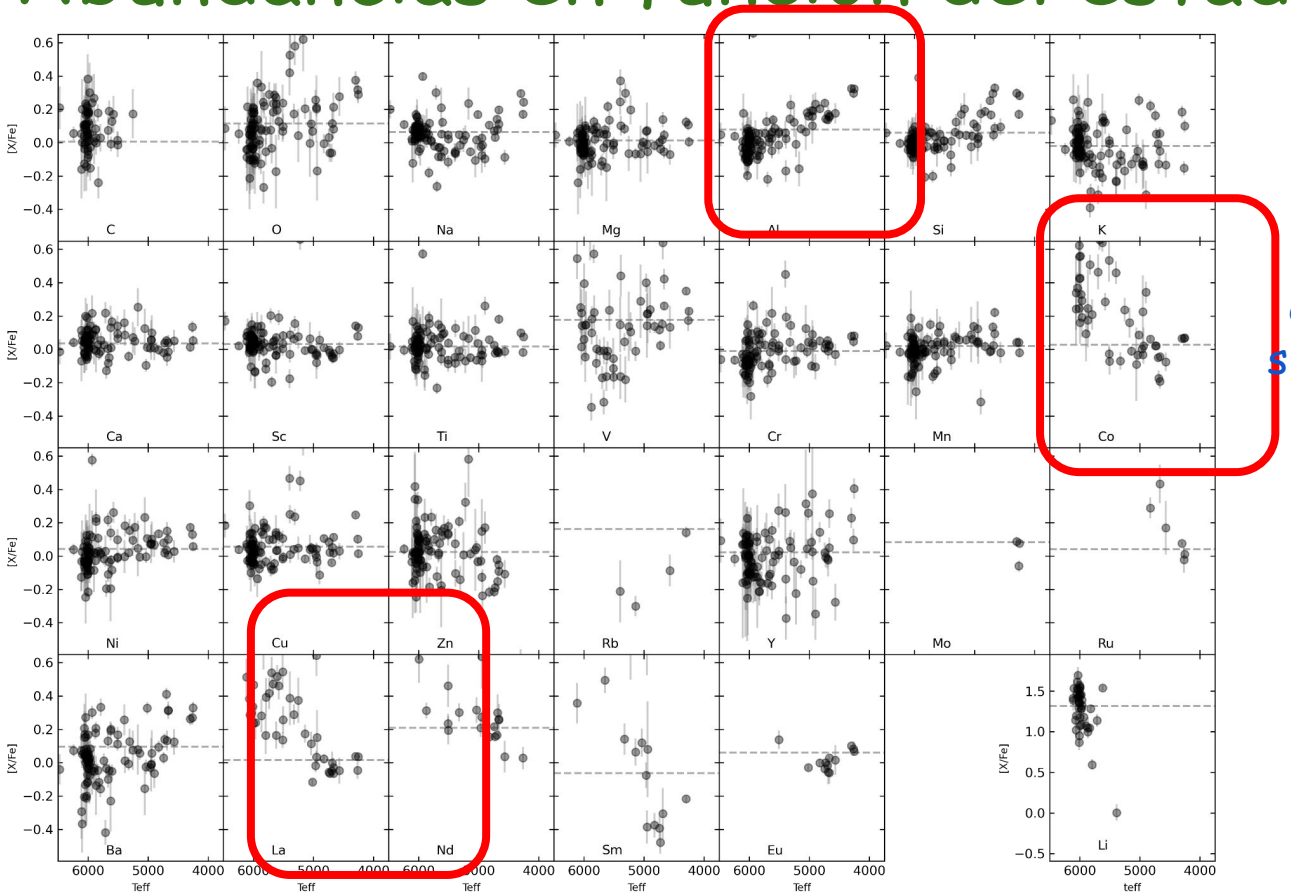


¿Son reales o debidas a las incertidumbres?

Abundancias en función del estadio evolutivo



Abundancias en función del estadio evolutivo



Esto se conoce como difusión atómica y mezcla

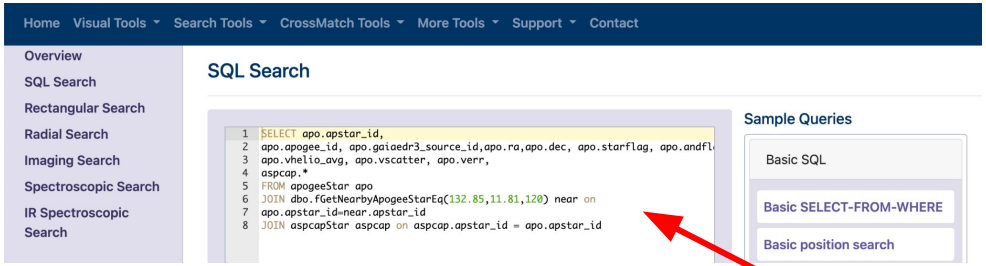
La atmósfera se contamina con material sintetizado en el interior

Todavía no es bien comprendido

Podéis repetir el mismo ejercicio con APOGEE

Obtener los resultados de APOGEE

Archivo SDSS búsqueda por SQL
http://skyserver.sdss.org/dr17/SearchTools/sql



La información está en dos tablas:
apogeeStar: Info general y velocidades radiales
aspcapStar: Parámetros atmosféricos y abundancias

```
SELECT apo.apstar_id, apo.apogee_id, apo.gaiaedr3_source_id, apo.ra,apo.dec, apo.starflag,
apo.andflag, apo.vhelio_avg,  apo.vscatter, apo.verr, aspcap.*
FROM apogeeStar apo
JOIN dbo.fGetNearbyApogeeStarEq(132.85,11.81,120)  near on apo.apstar_id=near.apstar_id
JOIN aspcapStar aspcap on aspcap.apstar_id = apo.apstar_id
```

Para descargarla seleccionar **CSV** en *OUTPUT FORMAT*

Obtener los resultados de APOGEE

Descarga un fichero con un nombre parecido a **Skyserver_SQL2_4_2022 10_53_01 AM.csv**
Copiarlo al directorio de trabajo y llamarlo **m67_apogee.csv**

Atención:
El fichero da problemas al abrirlo con TOPCAT porque hay tres líneas de código HTML al principio y tres al final que hay que eliminar. Abridlo con un editor de texto y borrarlas a mano.

Para usar las abundancias hay que tener en cuenta las recomendaciones!!!