

Búsqueda de binarias masivas con Gemini/GMOS

¿Depende la tasa de binaridad con la masa del cúmulo estelar?



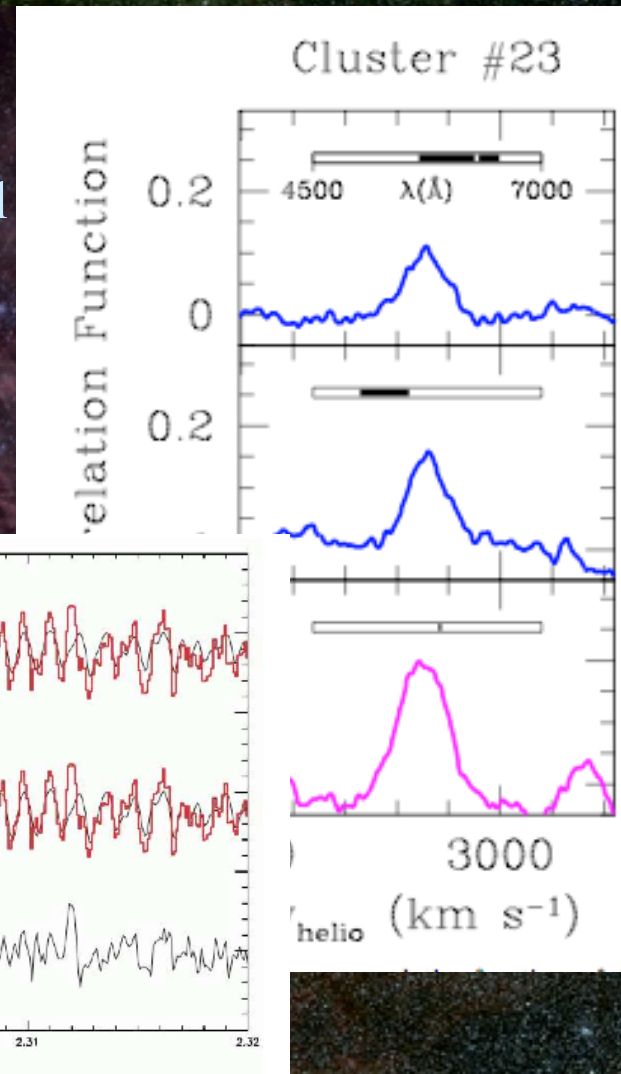
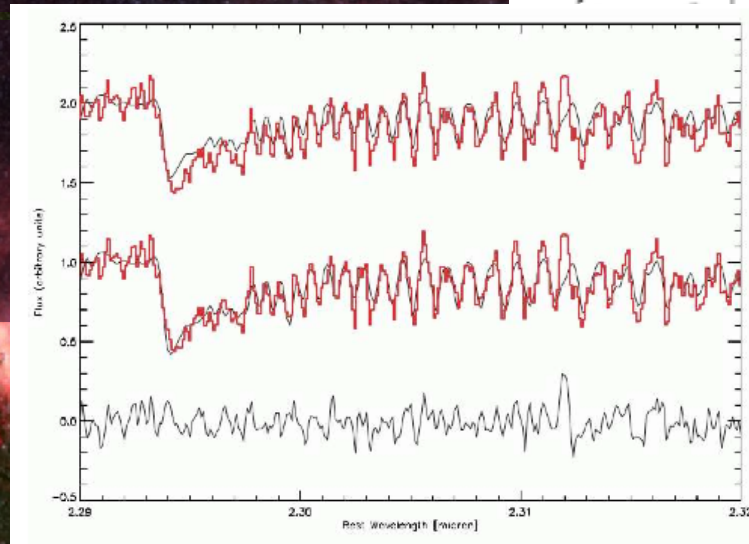
Guillermo Bosch (FCAG-IALP)
Roberto Terlevich (INAOE-IoA)
Elena Terlevich (INAOE)

Algunas mediciones de cinemática estelar

Östlin et al (2008), Mengel et al (2008)

- Espectros **integrados** de cúmulos estelares
- Identificación de estrella con tipo espectral similar al observado con el cúmulo
- Convolución de espectro estelar con grilla de ensanchamientos artificiales
- Correlación cruzada con espectro del cúmulo

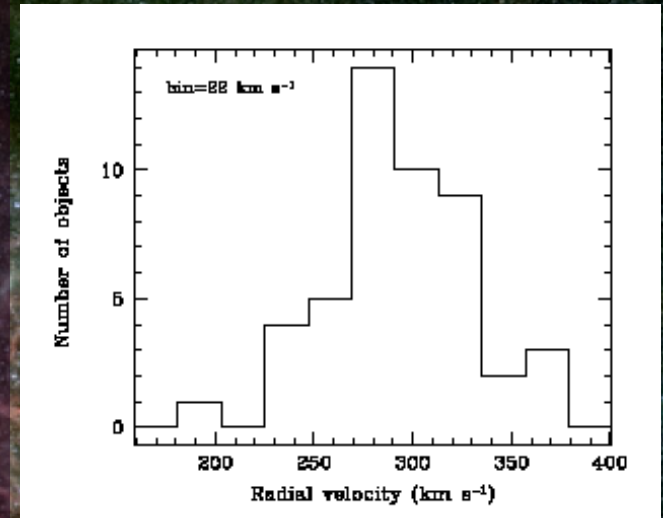
⇒ Determinación de dispersión de velocidades
o $\sigma \sim 32$ km/s para ESO338 #23.



Algunas mediciones de cinemática estelar

Bosch et al (2002)

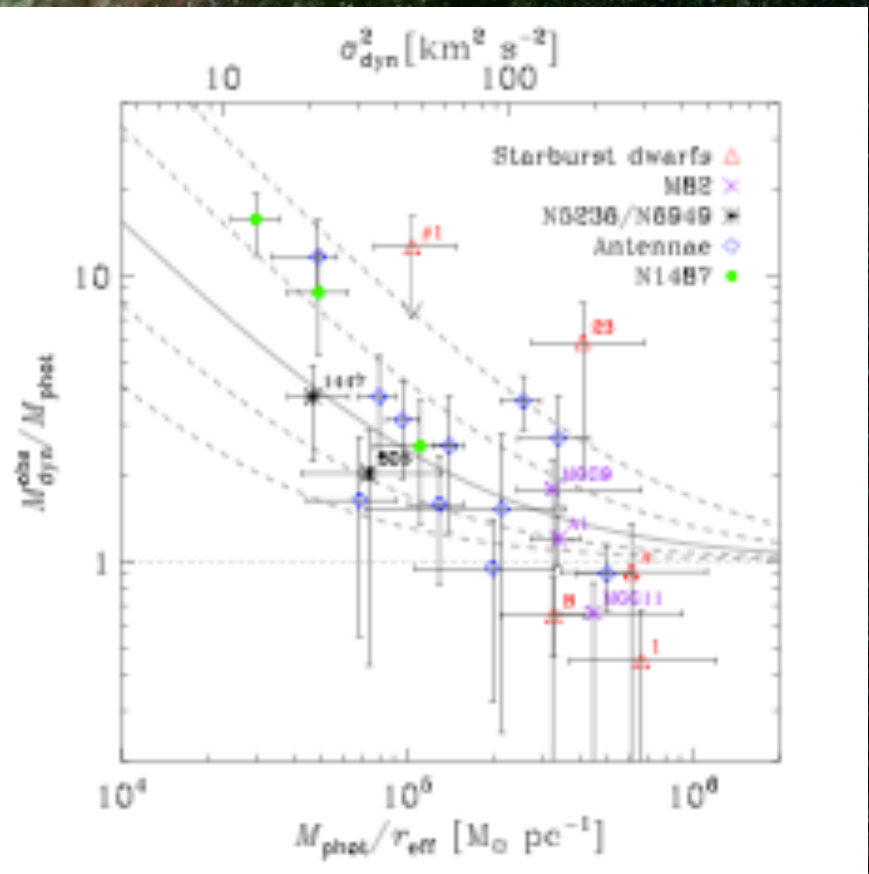
- NTT: Velocidades radiales para alrededor de 50 estrellas, obtenidas para una sola época cada una.
- Dispersión de Velocidades Radiales (σ) ~ 32 km/s
 - Demasiado grande como para que el cúmulo esté virializado.
- La presencia de binarias *podrían* estar introduciendo un aumento en la dispersión de velocidades observada.



Simulaciones de poblaciones binarias

Gieles, Sana, Portegies-Zwart (2009)

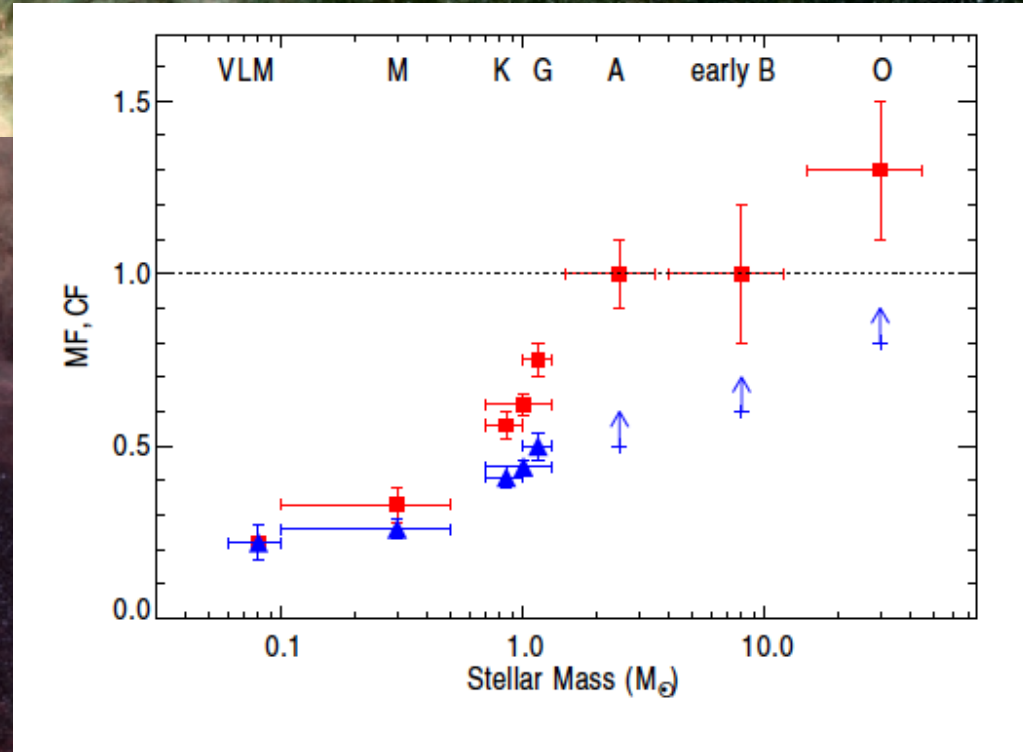
- Realizan modelos enfocados en estrellas masivas
- Consideran la importancia de supergigantes rojas (RSG)
- Encuentran que la presencia de binarias puede incrementar la masa dinámica hasta en un orden de magnitud.
- Las velocidades derivadas de perfiles de luz integrada de RSG puede estar seriamente afectada por binarias.



Estadísticas de binarias

Duchene & Kraus (2013)

- Recopilan datos de búsquedas de binarias
- Confirman que la tasa de binaridad crece con la masa de las estrellas.
- Es necesario considerar que estas comparaciones involucran además distintos entornos y edades.

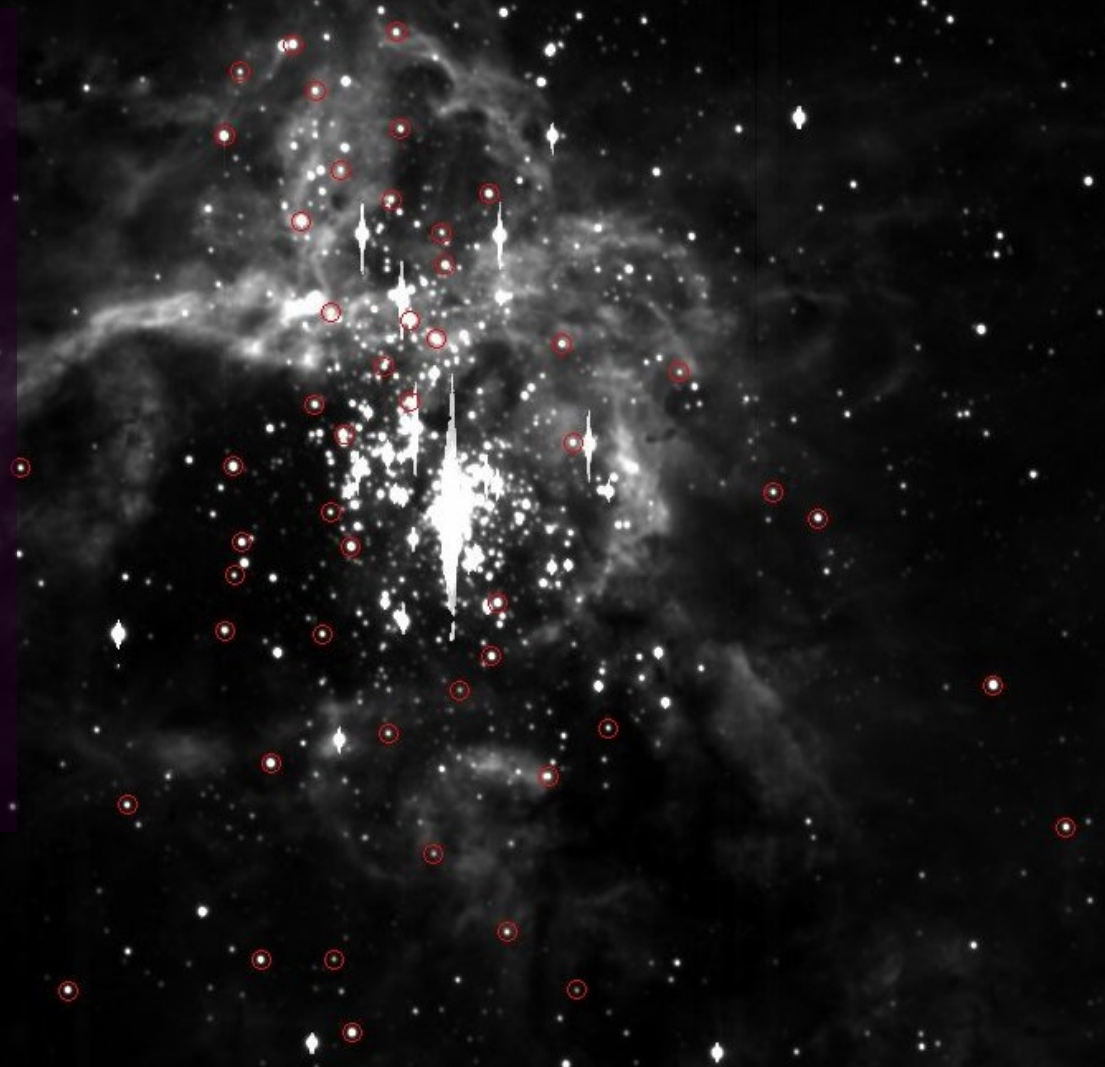


¿Cómo detectar binarias?

40arcsec = 10pc

Modo Clásico:

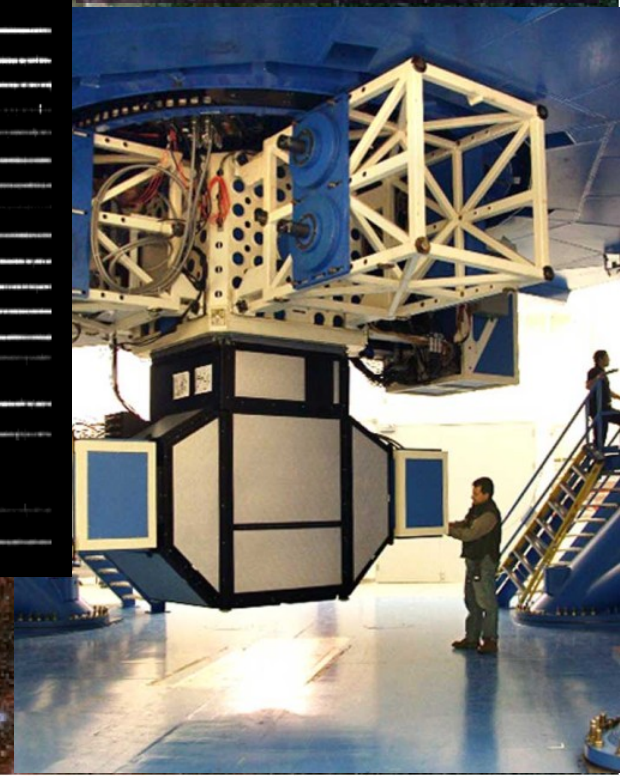
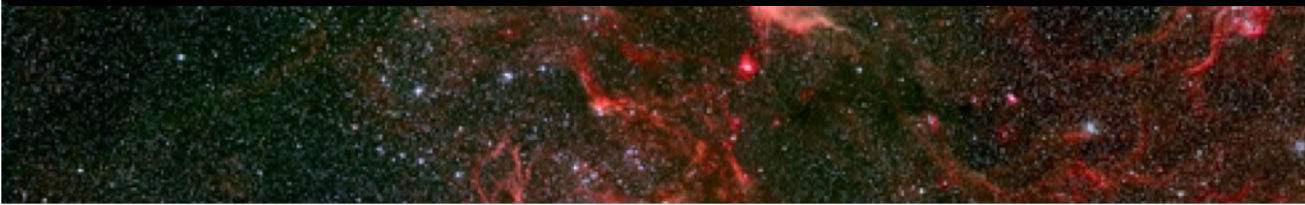
- Observaciones individuales de estrellas masivas (échelle o dispersión simple)
- Observaciones Repetidas en el tiempo. Problemas:
 - Insume mucho tiempo de observación para construir una muestra significativa
 - Falta de uniformidad en la muestra obtenida.



¿Cómo detectar binarias eficientemente?



GMOS abre la puerta a
búsqueda de
binarias con poco
tiempo



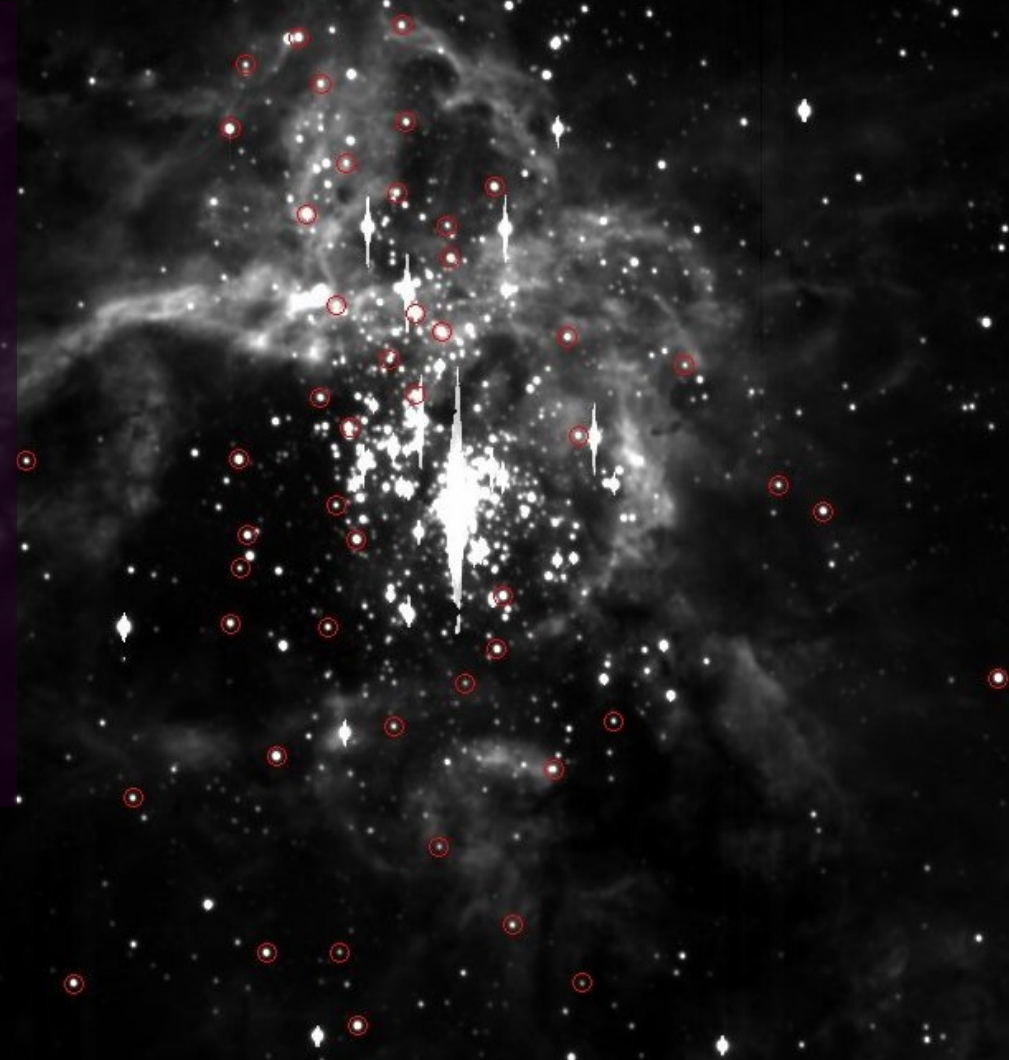
¿Cómo detectar binarias eficientemente?

40arcsec = 10pc

Gemini Sur + GMOS:

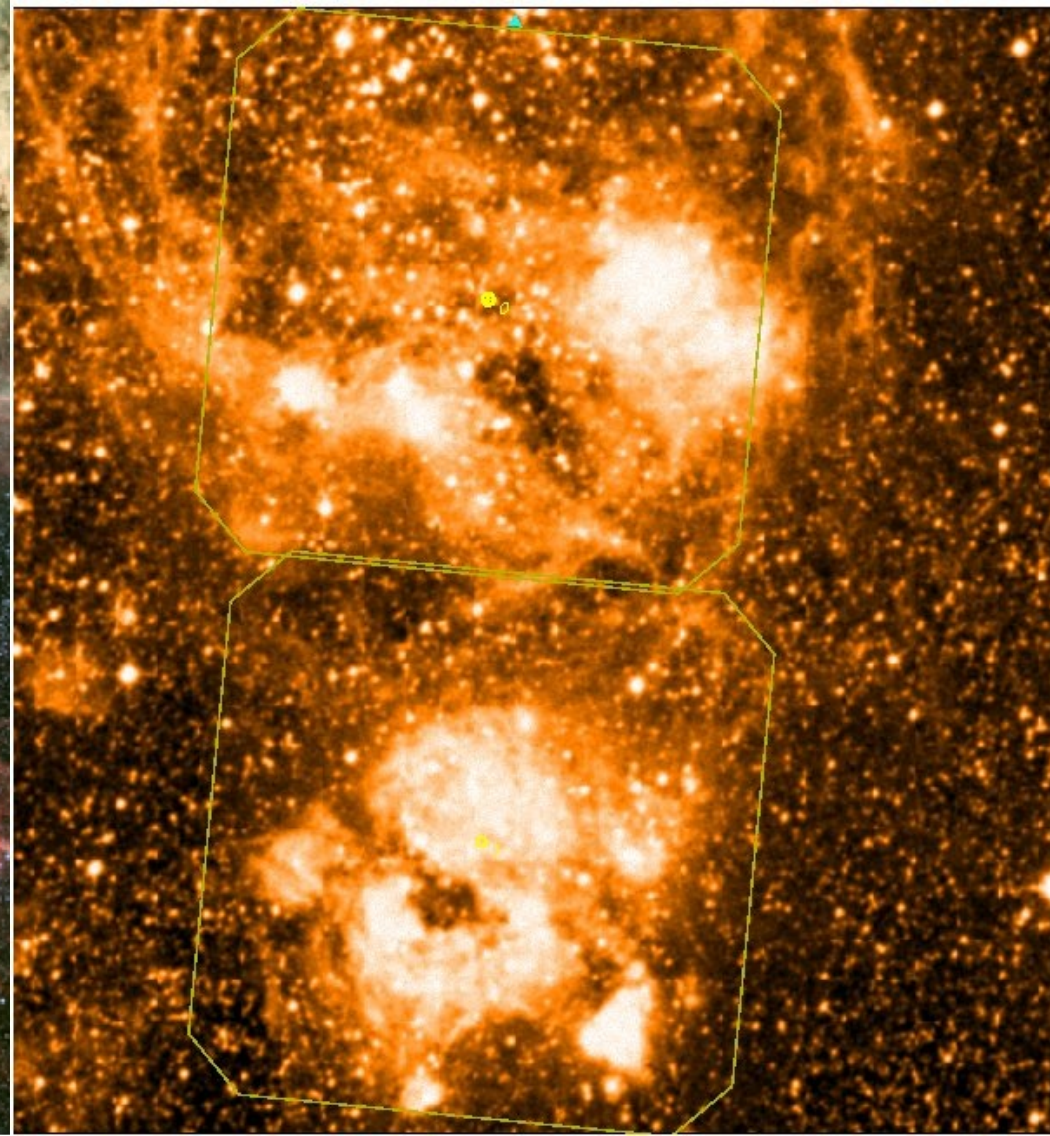
Primer objeto observado
NGC2070 (Bosch et al 2009)

- Modo MOS (2 máscaras, 35 estrellas por máscara)
- Red B1200
- Ranuras 0.75 arcsec.
- Observaciones Repetidas en el tiempo

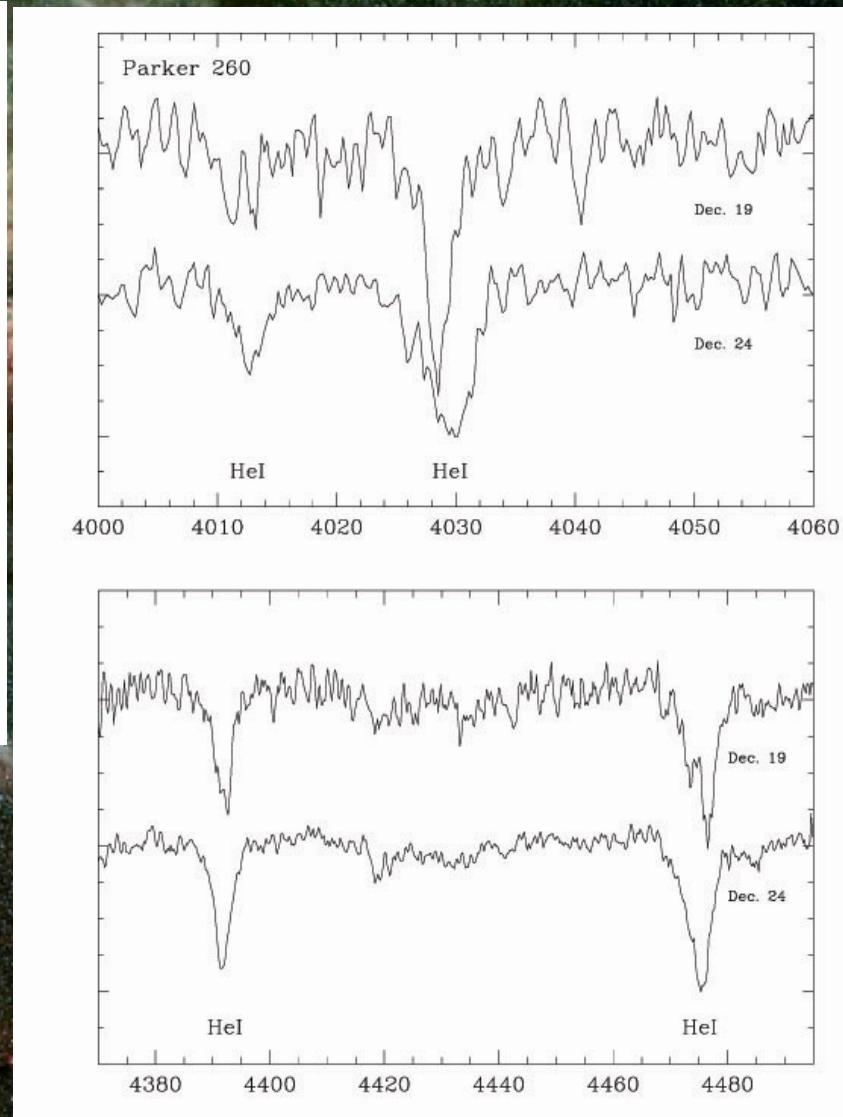
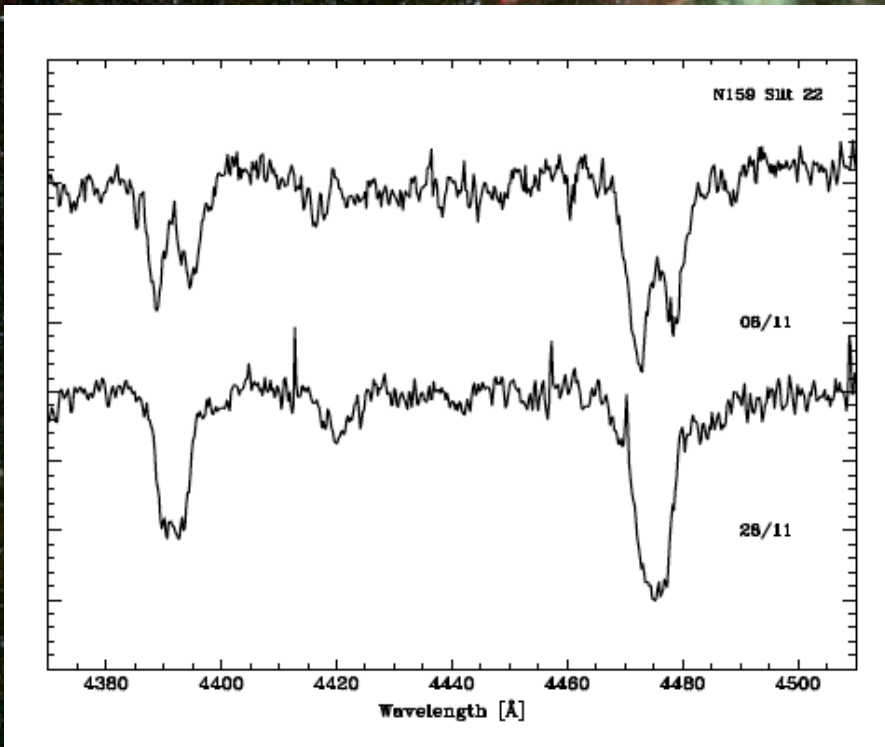


Cerca de 30 Dor...

Fariña et al. (2009) obtuvo clasificación espectral para estrellas tempranas en la región de formación estelar N159/N160 al sudoeste de 30 Dor



Binarias I: SB2s



Binarias II: candidatas a SB1

- Velocidades radiales individuales fueron medidas para cada línea de absorción
 - Utilizamos la tarea *ngauss* trabajando con tablas de valores iniciales en función del tipo espectral.
- Velocidades radiales promedio (y su error interno (σ_i)) fueron derivadas para cada fecha de observación, verificando sistematismos entre HeI y HeII.
- Se determinaron las dispersiones de velocidad entre épocas de observación (σ_e)
- La estabilidad de GMOS fue verificada utilizando las líneas de emisión nebular presentes en toda la región.
- Estrellas de velocidad radial variable fueron identificadas ($\sigma_e > 3\sigma_i$)

Binarias Masivas en N159/N160

Resultados nuevos obtenidos para N159 & N160:

- 56 espectros con S/N ~100
- 5 estrellas SB2
- 5 estrellas SB1

18% de detección de binarias

Única diferencia observacional

- σ_{int} mayor al observar en IQ70, con un seeing mayor

Resultados nuevos obtenidos para 30 Dor:

- 52 espectros con S/N ~100
- 10 estrellas SB2
- 17 estrellas SB1

50% de detección de binarias

Configuración instrumental idéntica, tasa de binaridad menor

Diferencias entre 30 Dor y N159/N160

Al buscar diferencias de entorno que puedan explicar esta distinta tasa de binaridad surgen más similitudes que diferencias.

- Ambos cúmulos comparten la metalicidad de la LMC, y se encuentran muy cerca uno de otro.
- Algunos trabajos proponen formación secuencial en la región, pero Fariña et al (2009) encontraron una distribución de fases evolutivas idéntica (para las estrellas masivas)
- Si bien no hay una determinación de IMF para N159/160, la de NGC2070 (MYC) no presenta anomalías evidentes
- La diferencia importante es la **masa total** de los cúmulos: $2-4 \times 10^3 M_{\text{sun}}$ para N159/160 y $4.5 \times 10^5 M_{\text{sun}}$ para NGC 2070.

Binaridad de Estrellas Masivas y su entorno

La baja tasa de binaridad entre estrellas masivas de estos cúmulos es la primer detección directa de variaciones de dicha característica:

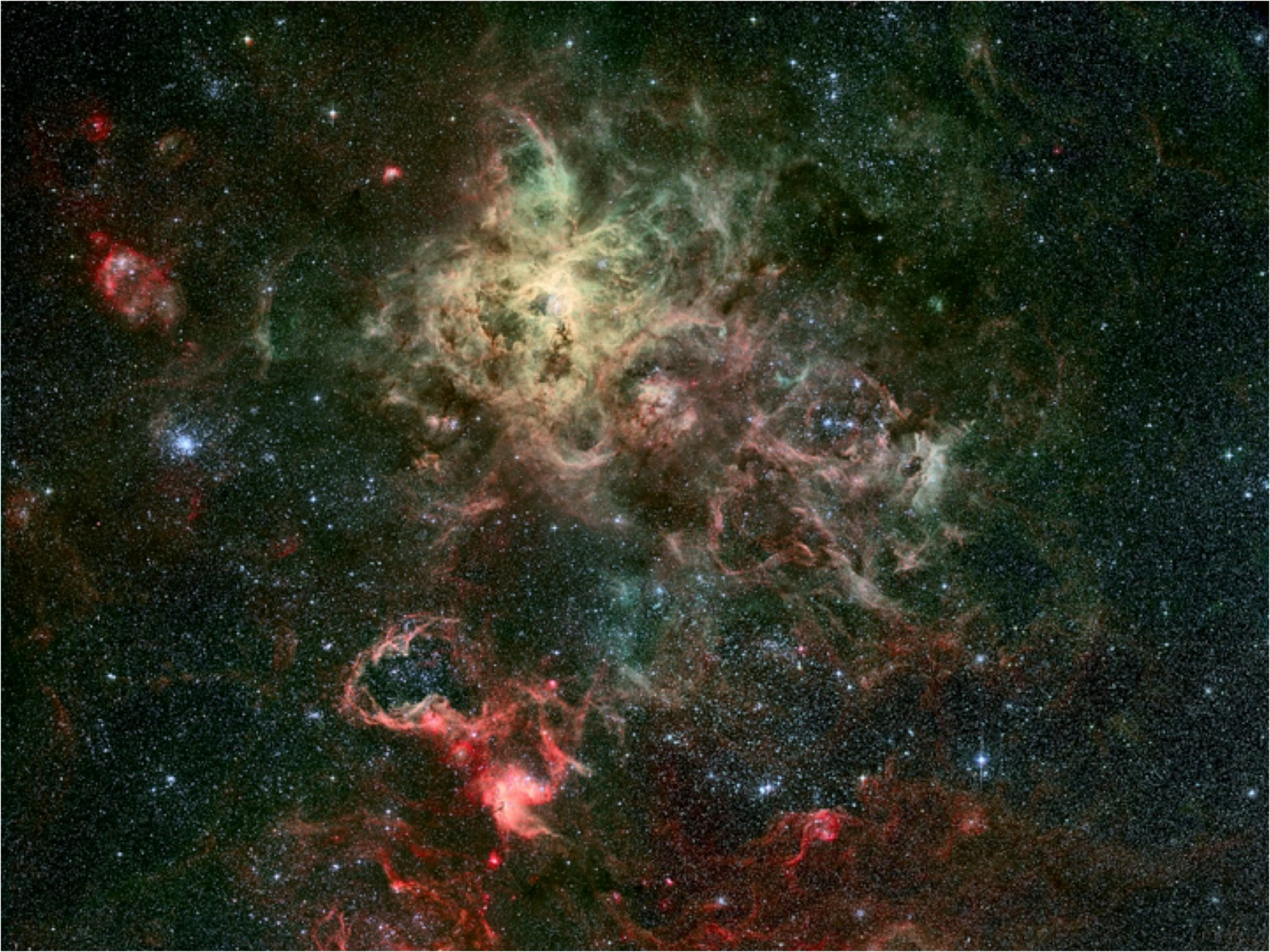
- Zinnecker & Yorke (2007) habían sugerido que era esperable un aumento de binaridad con la densidad estelar de un cúmulo.
- Weidner & Kroupa (2006), Maschberger & Clarke (2008) y Smith et al. (2009) propusieron simulaciones que explican la relación entre la masa del cúmulo y la masa de las estrellas más masivas dentro del mismo.
- Considerando la tendencia a mayor binaridad para mayores masas estelares (Lada 2006, Duchene & Kraus 2013)
- Complicaciones adicionales: Marks & Kroupa (2012) plantean simulaciones de evolución dinámica de binaridad en cúmulos.

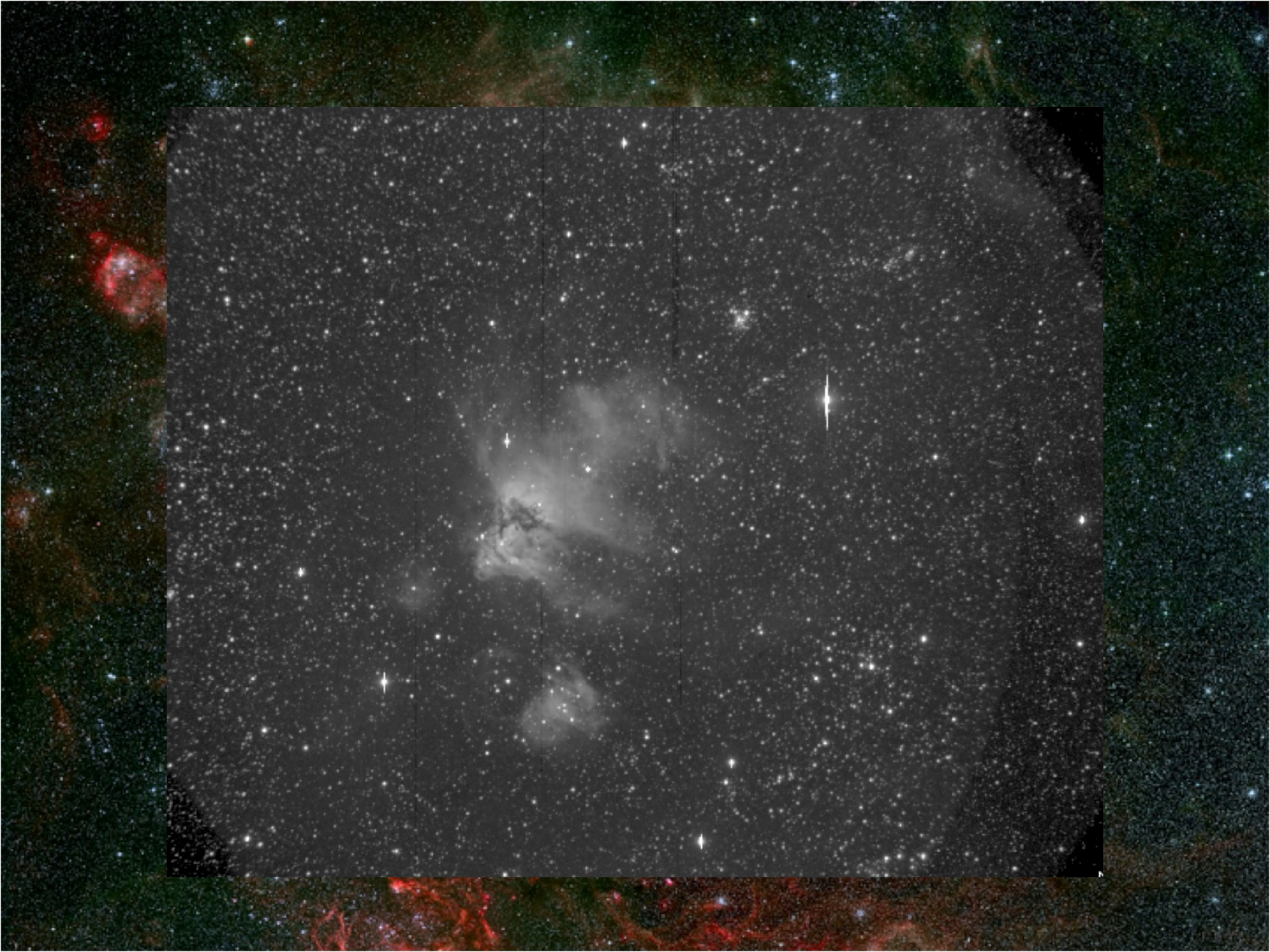
Podemos sugerir que la diferencia de masas de los cúmulos sea la responsable de la diferencia de tasas de binaridad detectada.

Resumiendo

La determinación de masas dinámicas de cúmulos estelares se basa en caracterizar la cinemática de las estrellas que los componen:

- La mayoría de los métodos utilizan espectroscopía integrada para determinar la cinemática a partir de ensanchamientos de perfiles observados.
- Suele recurrirse a estrellas masivas (brillantes) para poder sondear cúmulos jóvenes masivos extragalácticos.
- Existe evidencia fuerte de una alta tasa de binaridad en estrellas masivas
- Se suponía que el movimiento orbital podía ser responsable de incrementos en la dispersión de velocidades.
 - Se pudo cuantificar ese efecto para un YMC y dos cúmulos jóvenes menos masivos, con resultados disímiles.
- ⊛ La tasa de binaridad parece depender del entorno (¿masa total / densidad original del cúmulo?)





Bonus: Velocidad relativa

Con la muestra libre de binarias en cada cúmulo encontramos:

- V_r (NGC2070) = 273 km/s
- V_r (N159) = 243 km/s
- V_r (N160) = 251 km/s

NGC 7479-I
35 Mpc

Haro 15 (86 Mpc)

Influencia *observada* de Binarias en cinemática de un cúmulo estelar

27 de 52 estrellas masivas (tipo O y B tempranas) muestran variaciones de velocidad radial o perfiles de líneas típicas de binarias a doble espectro.

- Tasa de detección de ~50% en seis épocas
- Compatible con una población de 100% binaridad.

Trabajando sólo con las estrellas del cúmulo que no muestran variación de velocidad radial, determinamos una dispersión de velocidades de 8.5 km/s

- Muy baja como para ser responsables de estar “revolviendo” el gas ionizado interestelar.
- Se aproxima a lo uno espera en caso de que el cúmulo estelar esté virializado y con una masa total similar a la fotométrica ($3-4 \times 10^5 M_{\odot}$).
- El efecto de binaridad en estrellas masivas **permite explicar** el cociente anómalo de $M_{\text{dyn}}/M_{\text{phot}}$ en el caso de 30 Doradus

¿Dónde están los jóvenes cúmulos globulares?

*The Globular Cluster-Galaxy Connection
ASP Conference Series, Vol. 48, 1993
Graeme H. Smith and Jean P. Brodie (eds.)*

THE PROPERTIES OF 30 DORADUS

GEORGES MEYLAN

European Southern Observatory, D-8046 Garching bei München, Germany

ABSTRACT Is the star cluster NGC 2070, situated at the center of the 30 Doradus Nebula, the progenitor of a genuine globular cluster? The present status of the observations concerning this nebula, the largest HII region in the Local Group, and its embedded ionizing cluster is briefly reviewed hereafter, keeping in mind the aim of answering the above question.

In their study of the formation and evolution of rich star clusters, Kennicutt & Chu (1988) use a simple cluster evolution and photoionization model and show that for a cluster like NGC 1866, its initial ionizing luminosity is consistent with the actual ionization requirement of the 30 Dor Nebula. If a genuine globular cluster is forming right now in the Local Group, there is probably only one place — the 30 Doradus Nebula — where this could be happening, an ideal place for observing such an event!

YMCs: sus regiones HII

1970's

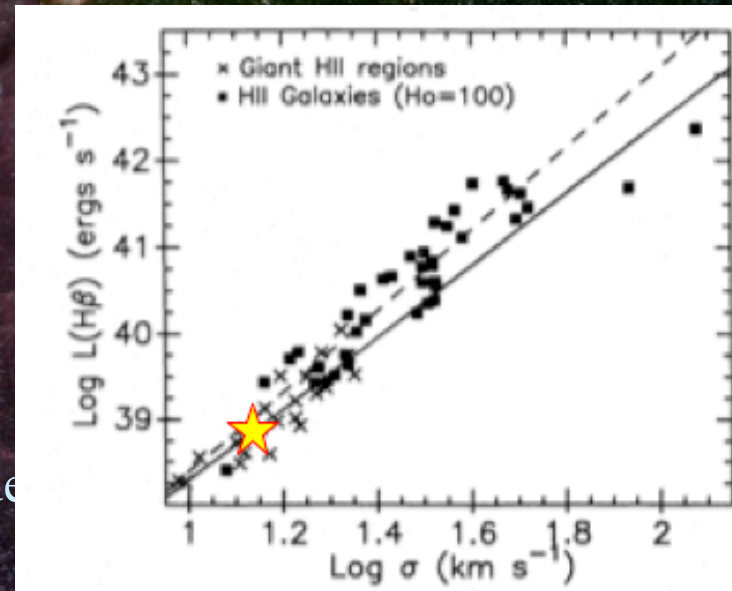
- Smith+Weedman: Perfiles de emisión de líneas supersónicos. ¿Cómo?

1980's

- Terlevich+Melnick: $L \sim \sigma^4$; Gravitacional
- Arsenault++: $L \sim \sigma^6$; Múltiples cáscaras sin resolver.
- Hippelein: $L \sim \sigma^3$; Decaimiento turbulento de velocidad inyectada al gas.

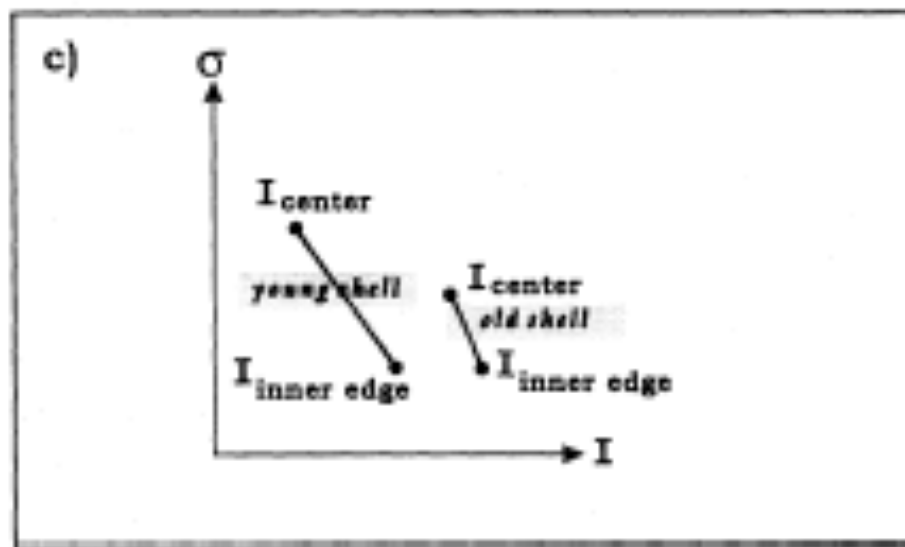
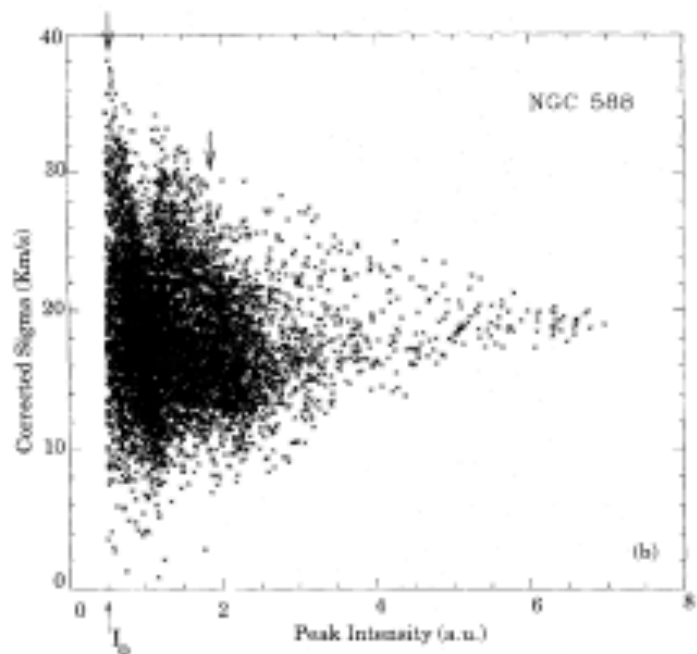
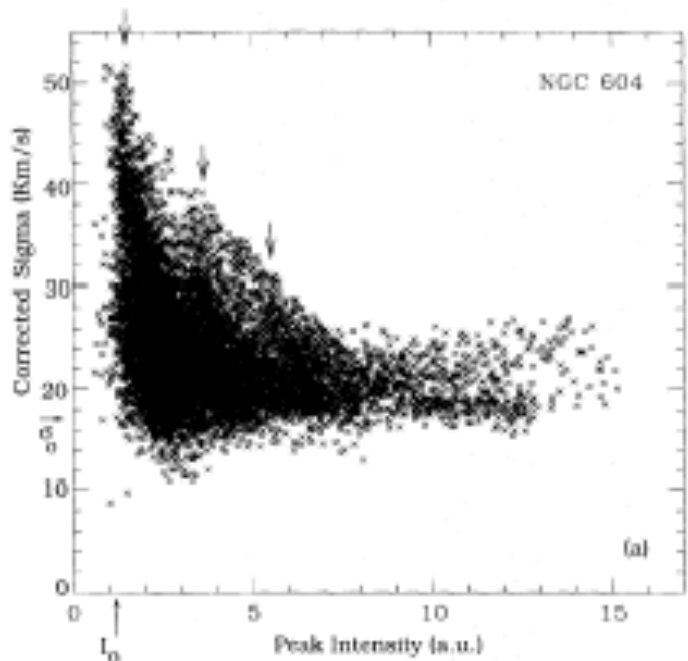
1990's

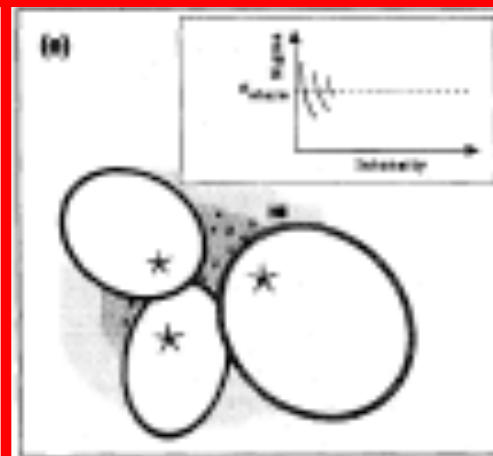
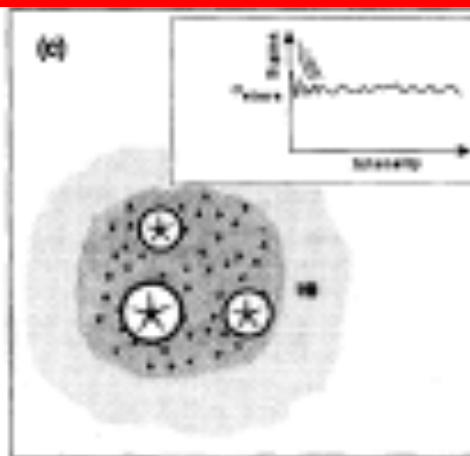
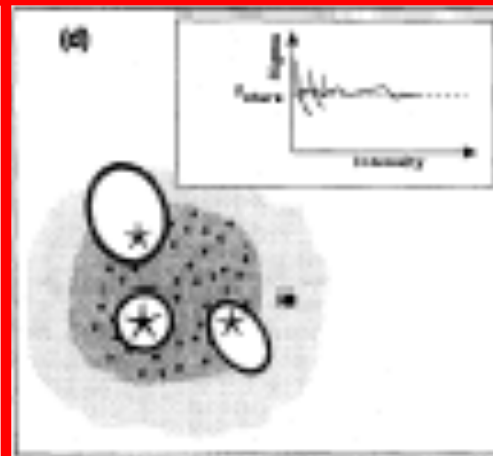
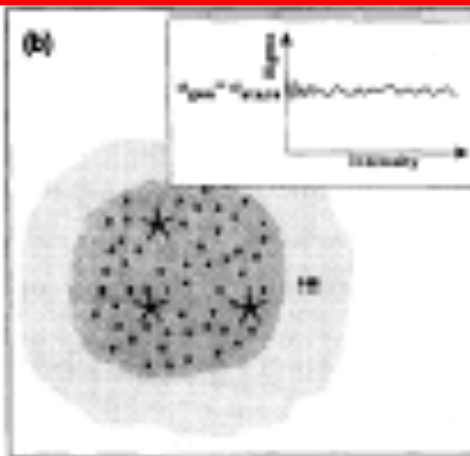
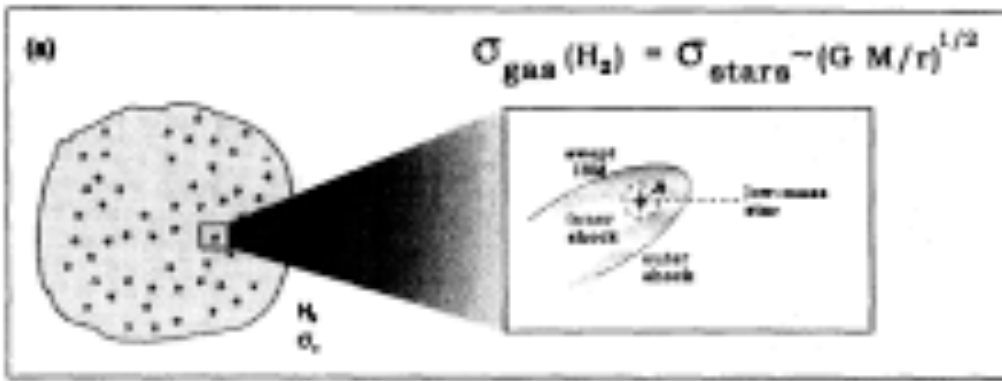
- Muñoz-Tuñón++: perfil supersónico presente a escalas pequeñas en NGC 604.
- Tenorio-Tagle++: ¿Son las estrellas las que agitan el gas?



Muñoz-Tuñón et al. (1996)

- Espectroscopía H α Fabry-Perot (TAURUS @ WHT: alta resolución espacial - limitada por seeing - y espectral.
- Ajuste de perfiles de Gauss simples a cada espectro (pixel en la imagen)
- diagrama sigma vs intensidad para dos GHIRs en M33.





Muñoz-Tuñón et al. (1996)

Esquema de evolución para GHIRs que explica los comportamientos diferentes observados para NGC604 and NGC588 en el diagrama σ -I.



Dinámica del cúmulo estelar

2000's

- Una de las predicciones del modelo de Tenorio Tagle et al. era que la cinemática del gas debía corresponderse con la de las estrellas.
- Si bien había numerosas determinaciones de cinemática de gas a partir de líneas de emisión del gas ionizado, no había para las estrellas.
- Se podía calcular la masa fotométrica M_{phot} , pero las primeras derivaciones a partir de la cinemática daba diferencias:

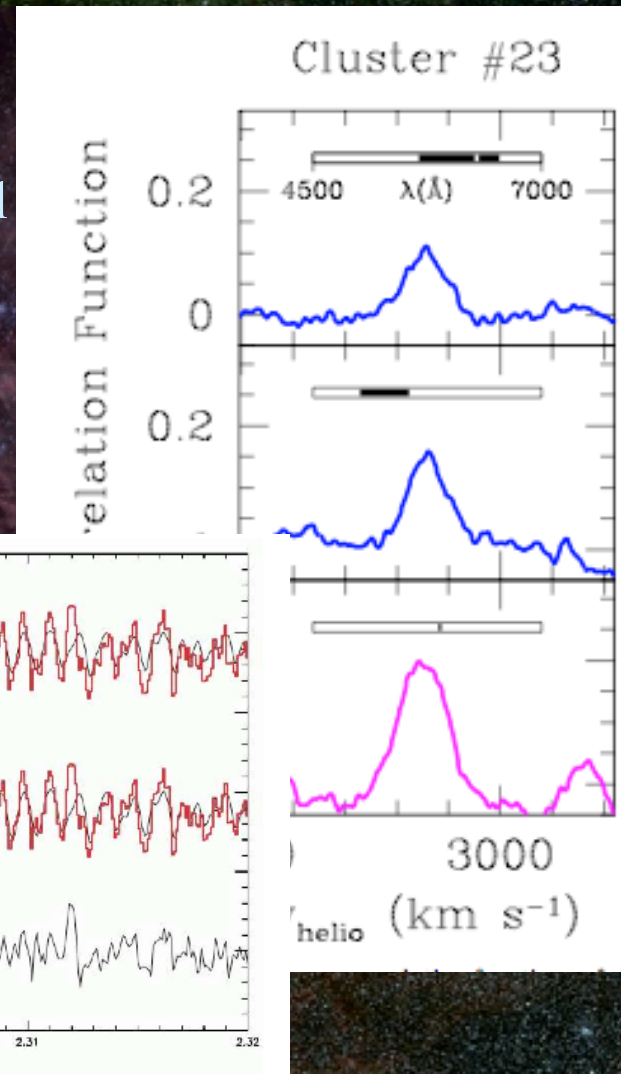
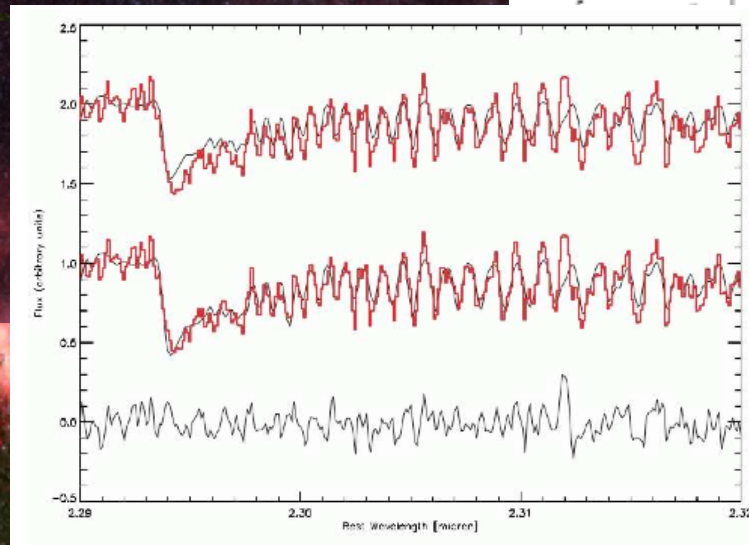
$$M_{\text{dyn}} = \eta \frac{R_{\text{hl}} \sigma_{\text{los}}^2}{G}; \quad M_{\text{dyn}} \neq M_{\text{phot}}$$

Algunas mediciones de cinemática estelar

Östlin et al (2008), Mengel et al (2008)

- Espectros **integrados** de cúmulos estelares
- Identificación de estrella con tipo espectral similar al observado con el cúmulo
- Convolución de espectro estelar con grilla de ensanchamientos artificiales
- Correlación cruzada con espectro del cúmulo

⇒ Determinación de dispersión de velocidades
o $\sigma \sim 32$ km/s para ESO338 #23.



¿Cuántas binarias hay entre las estrellas masivas?

THE ASTROPHYSICAL JOURNAL, 640: L63–L66, 2006 March 20
© 2006. The American Astronomical Society. All rights reserved. Printed in U.S.A.

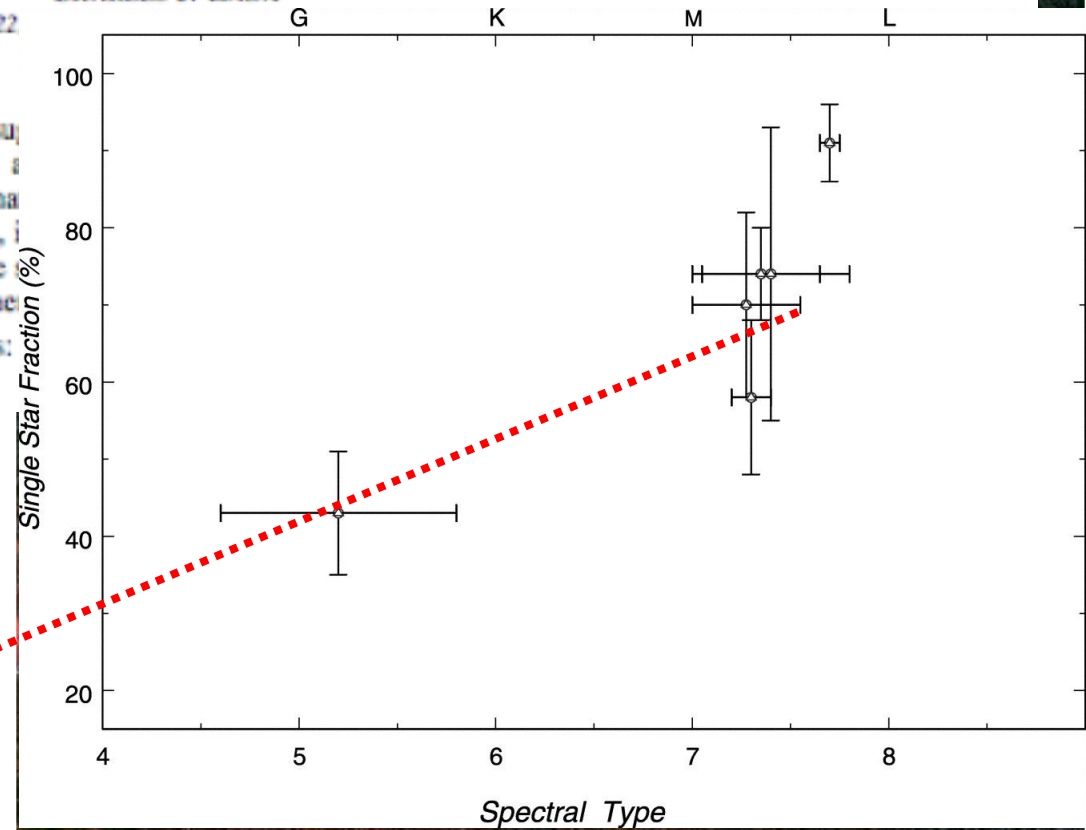
STELLAR MULTIPLICITY AND THE INITIAL MASS FUNCTION: MOST STARS ARE SINGLE

CHARLES J. LADA¹

Received 2005 November 22

In this Letter I compare recent findings su concerning the forms of the stellar initial s burning limit. This comparison indicates tha binary, as has been often asserted. Indeed, i in the Galactic disk are composed of single and planet formation process are briefly me

Subject headings: binaries: general — stars:



¿ 0% de
“singularidad”
para estrellas de
tipo O ?

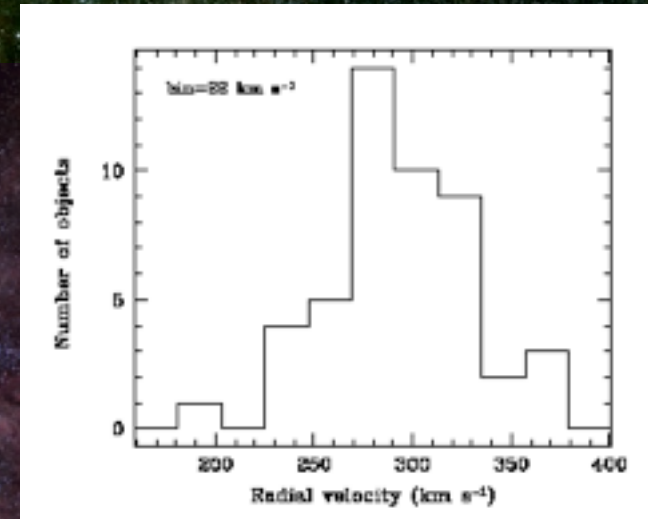
Simulaciones de poblaciones binarias

Bosch, Meza (1998):

- **100% binaridad**
- Cociente de masas concentrado hacia $Q = 1$
- Inclinación de planos orbitales aleatoria.
- Distribución de períodos uniforme en $\log(P)$
- Excentricidades distribuídas al azar
 - Siempre y cuando las estrellas no choquen entre sí en el pasaje por periastro.
- Semieje orbital calculado a partir de los otros elementos orbitales.

Una población con estas características verifica:

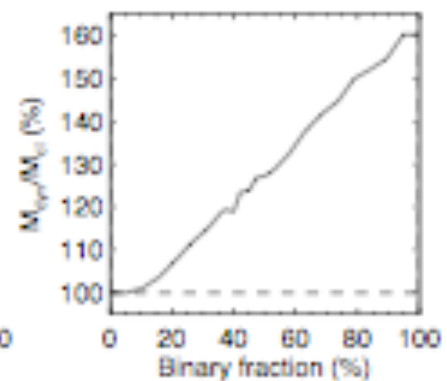
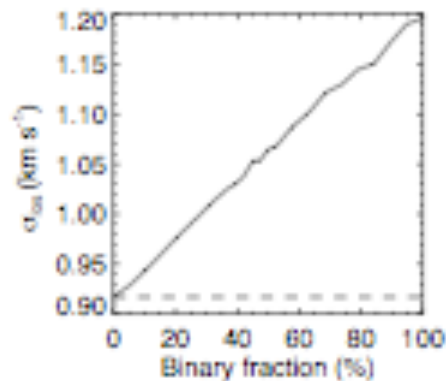
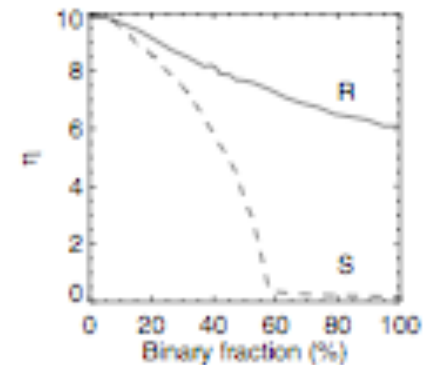
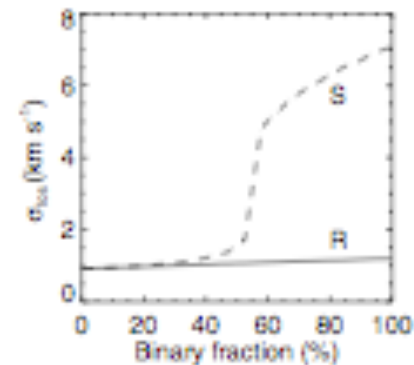
- **35% tasa de detección** usando las bases de tiempo y precisiones de velocidad radial en búsquedas previas desde CASLEO.
- Dispersión de velocidades radiales de alrededor de 30 km/s



Simulaciones de poblaciones binarias

Kouwenhoven & de Grijs (2008)

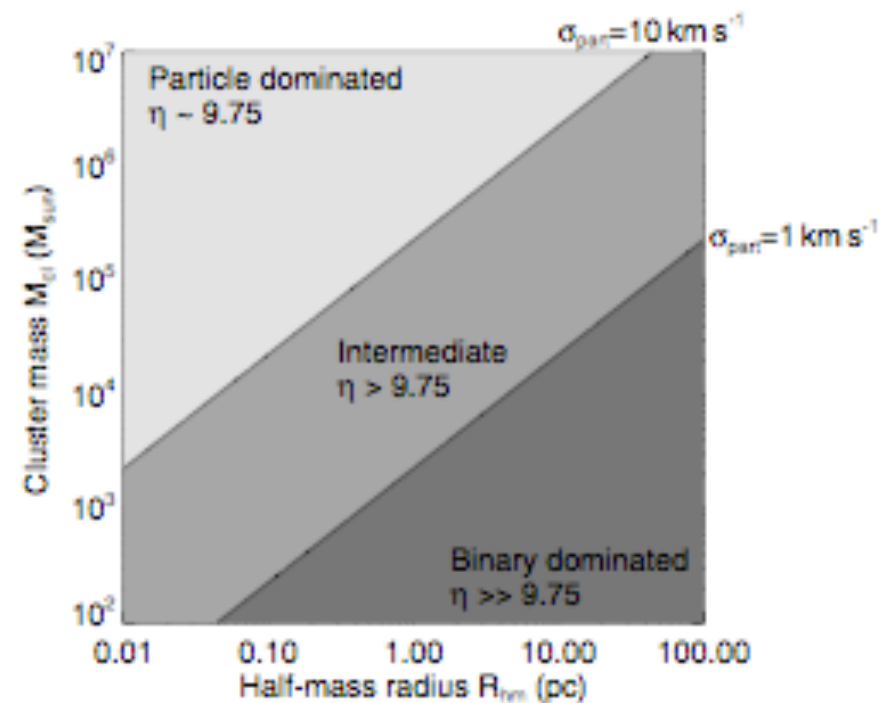
- Realizan modelos completos
- Distintas poblaciones relativas
 - Modelos S y R
- Estiman que para la mayoría de los cúmulos, el incremento de dispersión de velocidades por binarias es pequeño
 - A excepción de los que están “dominados por binarias”



Simulaciones de poblaciones binarias

Kouwenhoven & de Grijs (2008)

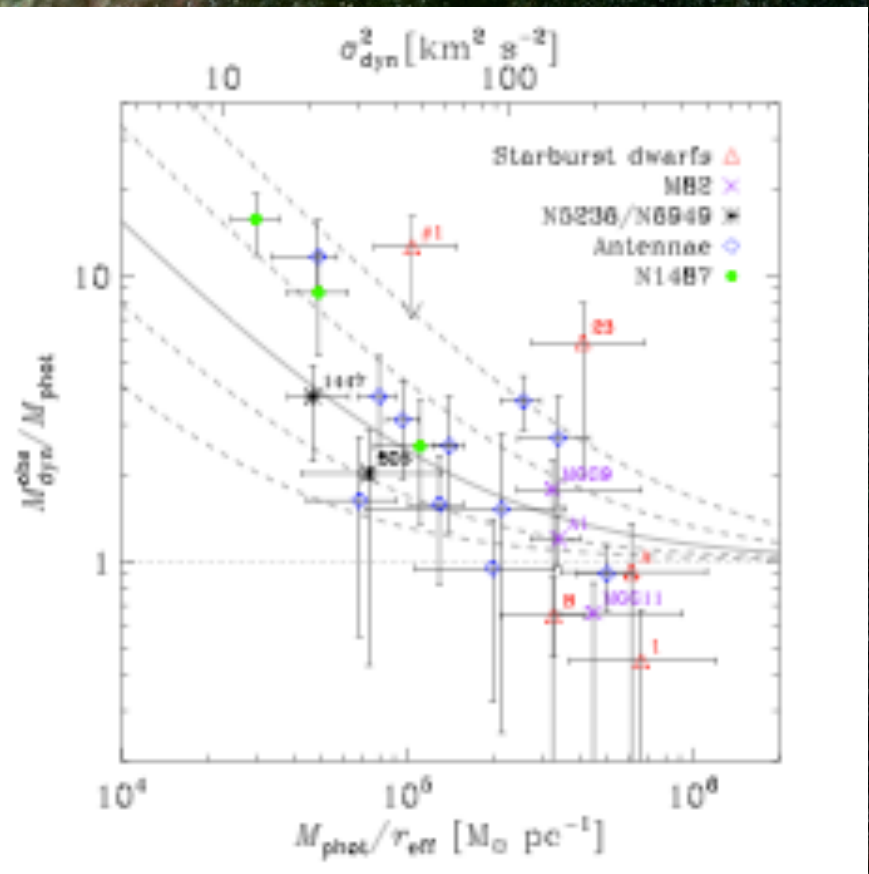
- Realizan modelos completos
- Distintas poblaciones relativas
 - Modelos S (simple) y R (realista)
- Estiman que para la mayoría de los cúmulos, el incremento de dispersión de velocidades por binarias es pequeño
 - A excepción de los que están “dominados por binarias”



Simulaciones de poblaciones binarias

Gieles, Sana, Portegies-Zwart (2009)

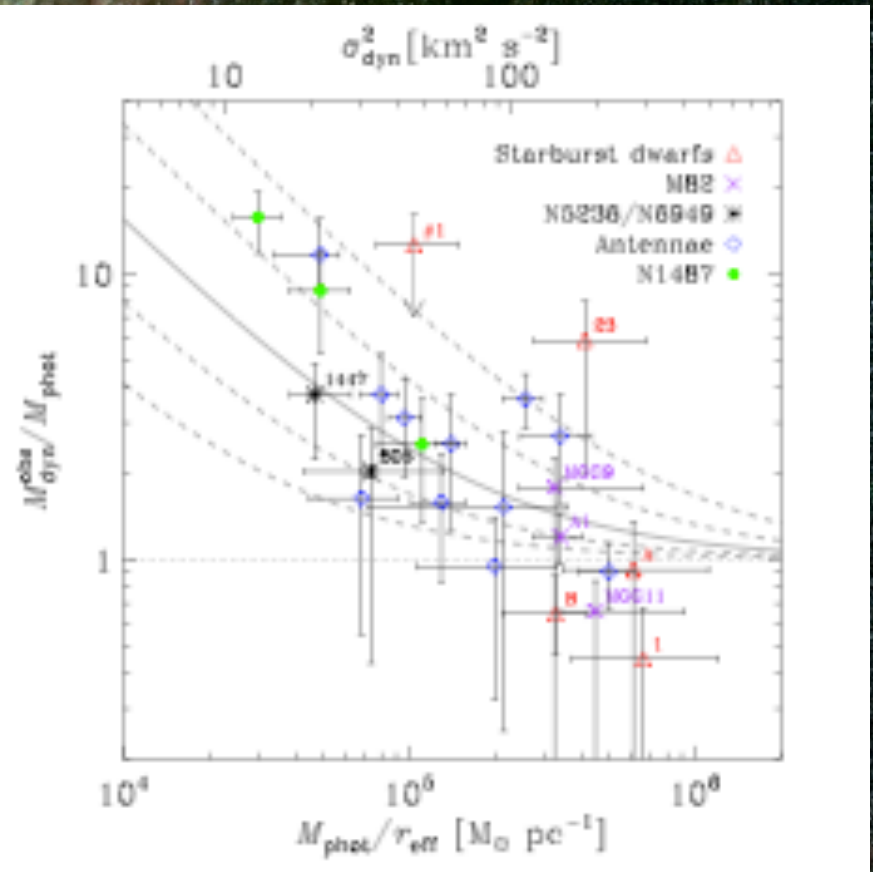
- Realizan modelos enfocados en estrellas masivas
- Consideran la importancia de supergigantes rojas (RSG)
- Encuentran que la presencia de binarias puede incrementar la masa dinámica hasta en un orden de magnitud.
- Las velocidades derivadas de perfiles de luz integrada de RSG puede estar seriamente afectada por binarias.



Sólo las estrellas son múltiples?

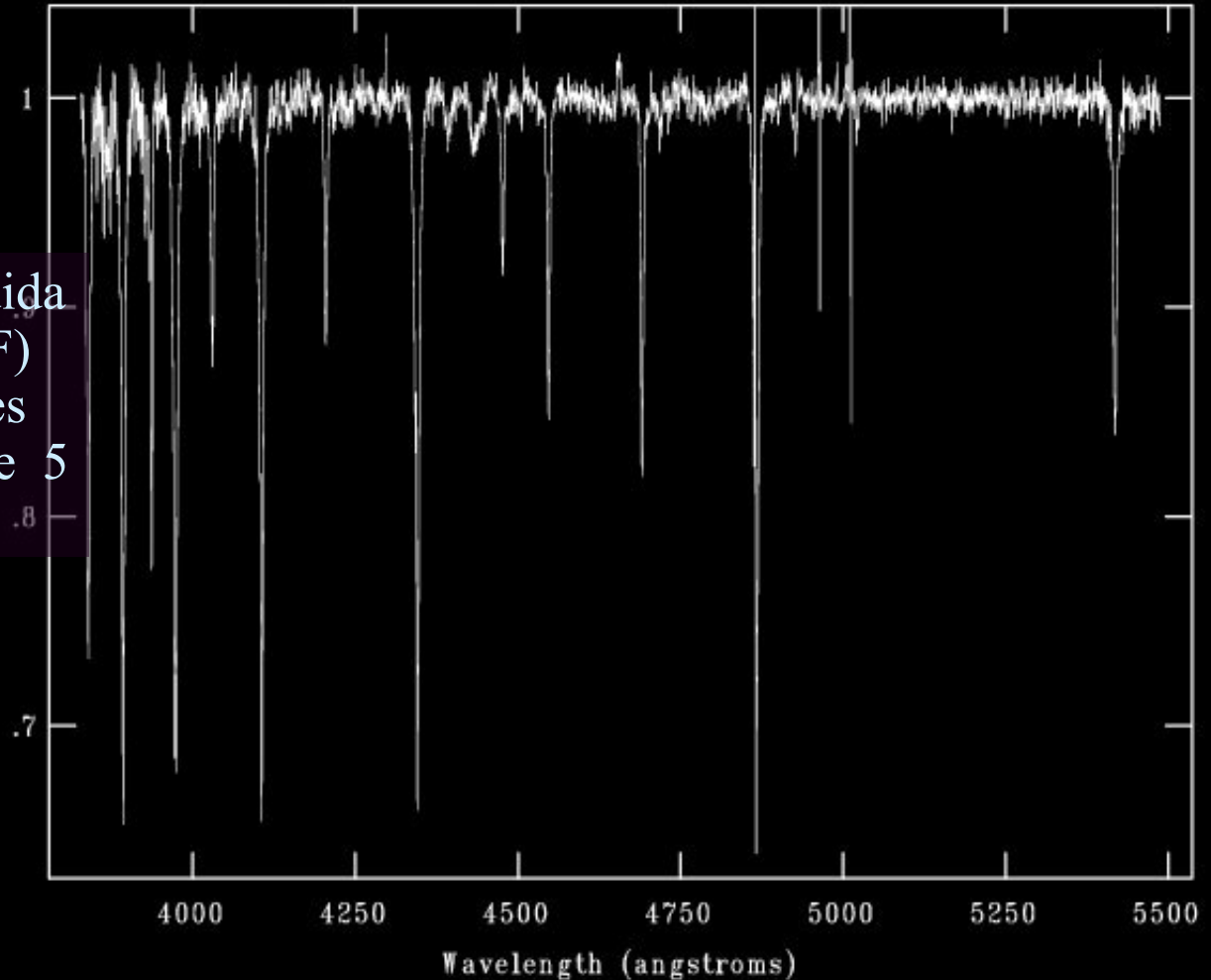
Gieles, Zana, Portegies-Zwart (2009)

- Sugieren que a medida que la masa total crece, la incidencia de binarias es cada vez menor
- Esto supone que los YMC más masivos son iguales que los conocidos en detalle (LMC, M33, etc...)



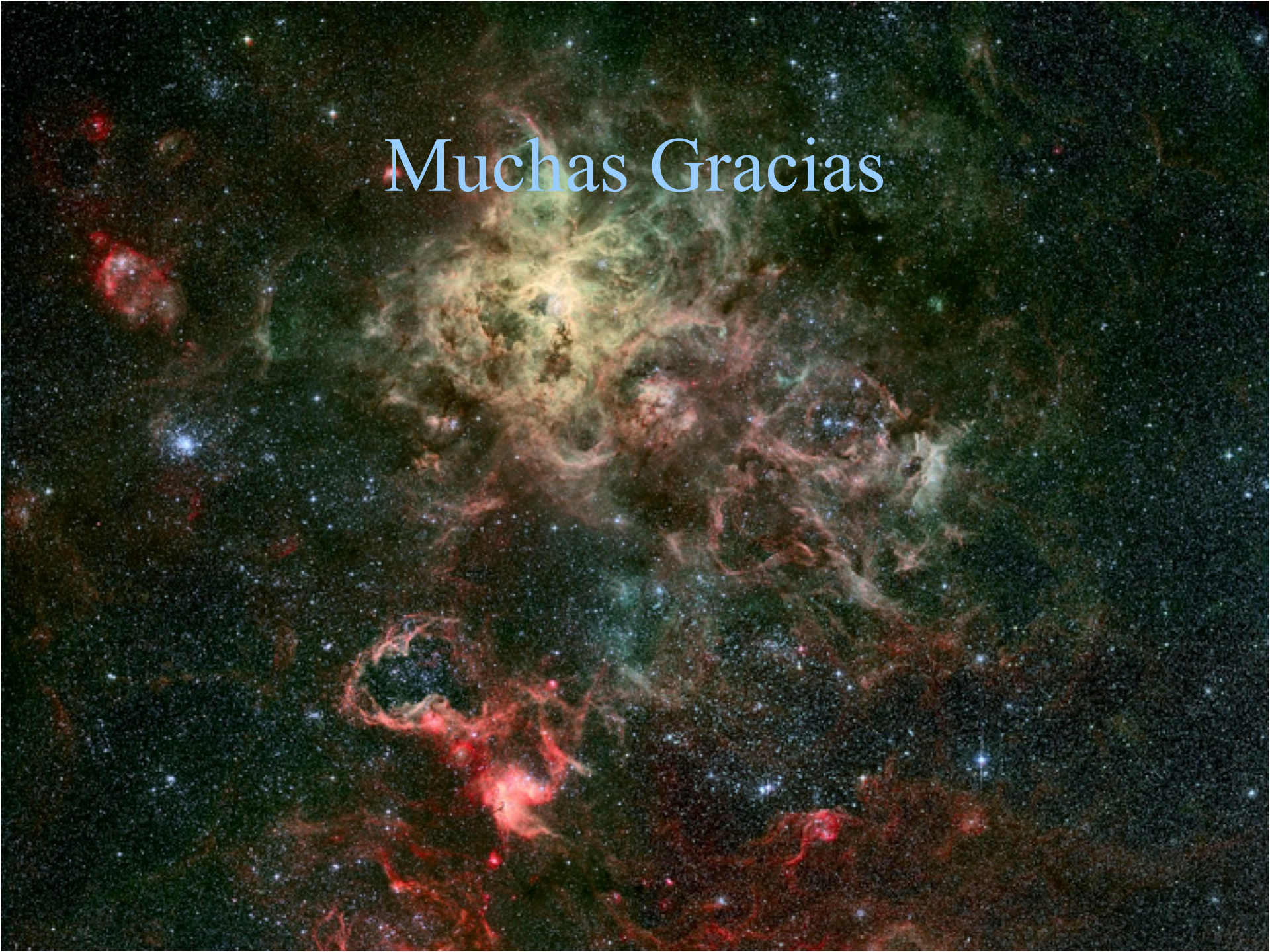
Datos GMOS

NOAO/IRAF V2.12.2a-EXPORT guille@mstars2006 Mon 15:32:37 11-Dec-2006
[1220_1.fits]: NGC2070I INDEF ap:1 beam:1



Uncertainty verdadera (medida con tarea *ngauss* de IRAF) en las velocidades radiales de cada línea alrededor de 5 km/s

Muchas Gracias



¿Qué sigue? I: caracterizar las binarias detectadas

Detectamos estrellas con velocidad radial variable y las removimos de la muestra para calcular la dispersión de velocidades. Resta todavía:

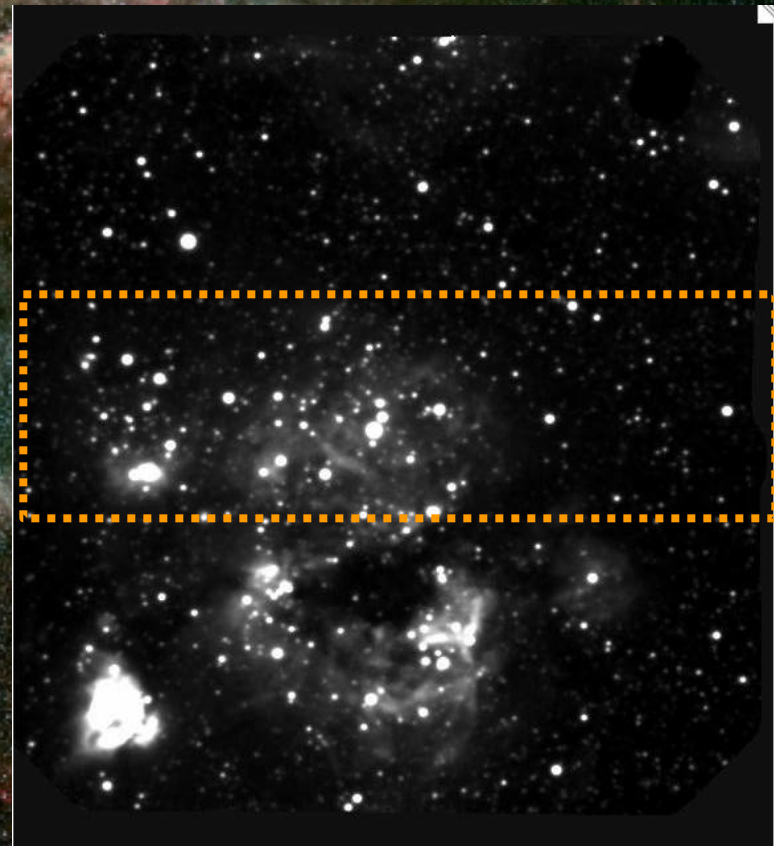
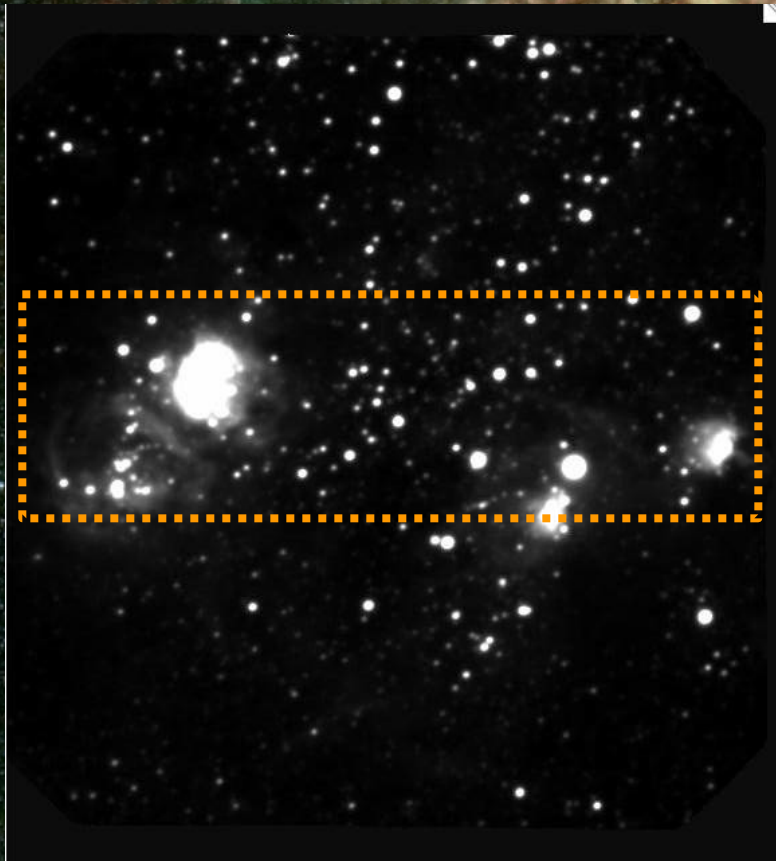
- Confirmar naturaleza binaria
- Derivar parámetros orbitales de manera de:
 - Obtener mejores condiciones de contorno para las simulaciones de poblaciones de binarias
 - Estudiar la distribución de parámetros orbitales para estrellas masivas.
 - Estimar la velocidad baricentral del sistema, de manera de poder recuperar la partícula al cúmulo.

¿Qué sigue? II: continuar la búsqueda de binarias

Planeamos utilizar tiempo Gemini con $IQ \geq 70$ (incluso Poor Weather) para continuar la detección de estrellas de velocidad radial variable.

- Todo cúmulo cuyo tamaño angular y distribución sea óptimo para GMOS (5.5 minutos de arco) y ranuras de 0.75×8 segundos de arco.

GS-2008B-Q-XX



Regiones de Formación Estelar

1970's

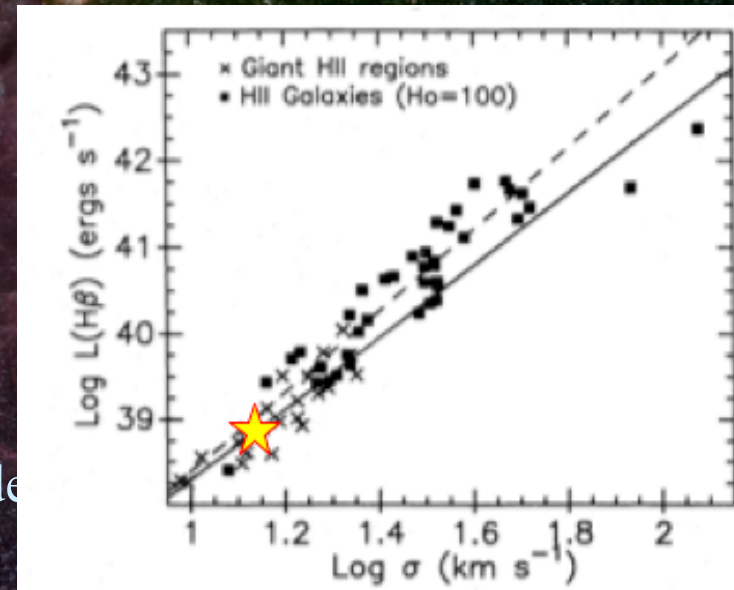
- Smith+Weedman: Perfiles de emisión de líneas supersónicas. ¿Cómo?

1980's

- Terlevich+Melnick: $L \sim \sigma^4$; Gravitacional
- Arsenault++: $L \sim \sigma^6$; Múltiples cáscaras sin resolver.
- Hippelein: $L \sim \sigma^3$; Decaimiento turbulento de velocidad inyectada al gas.

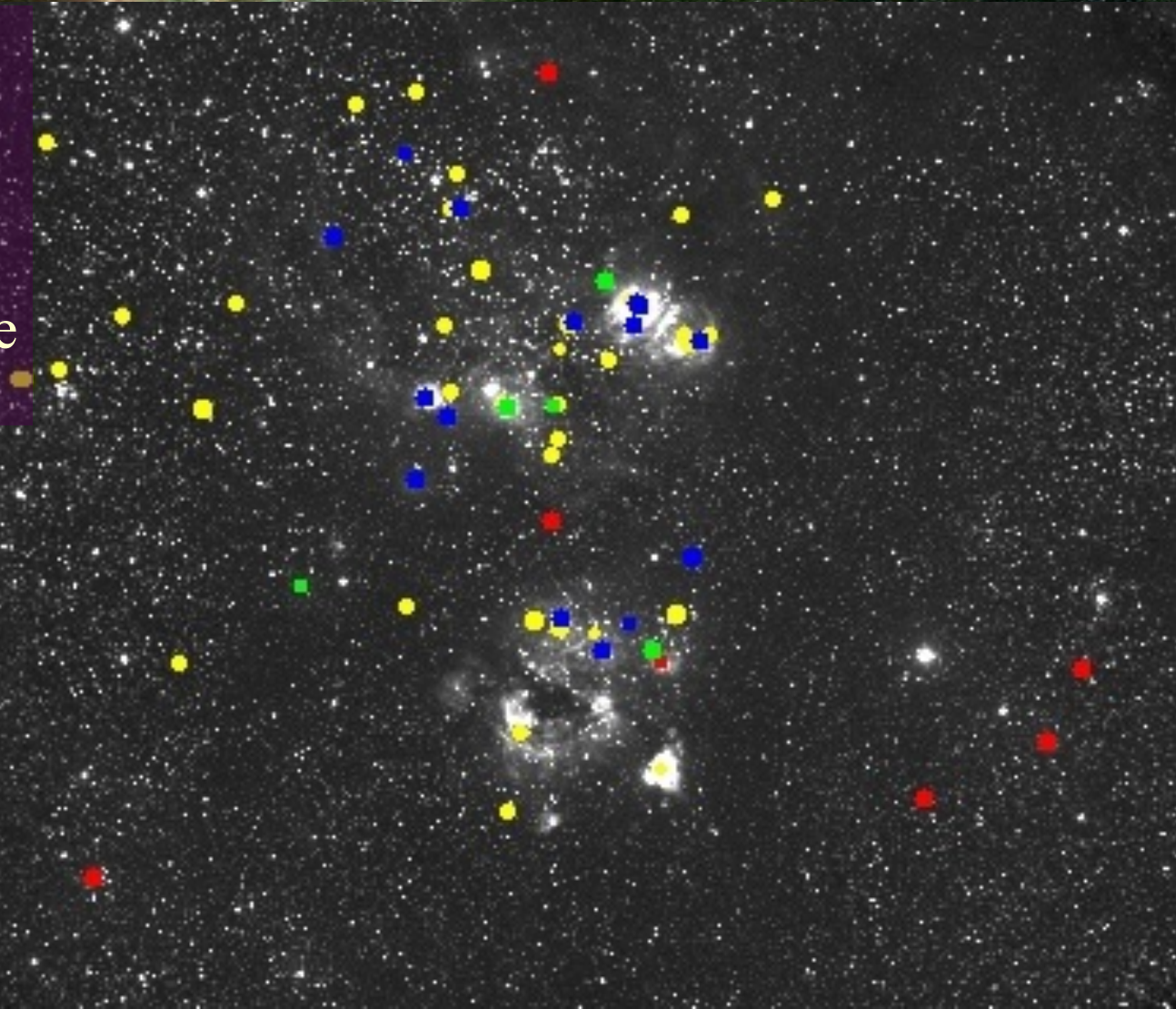
1990's

- Muñoz-Tuñón++: perfil supersónico presente a escalas pequeñas en NGC 604.
- Tenorio-Tagle++: ¿Son las estrellas las que agitan el gas?



30 Dor surroundings...

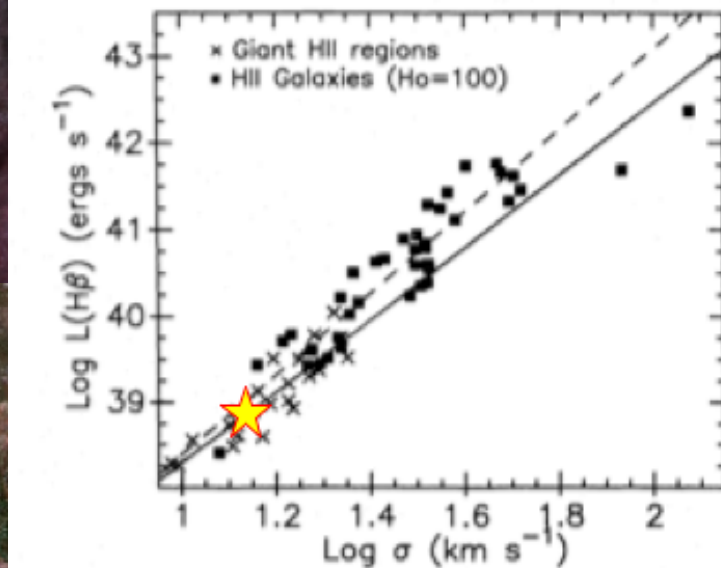
Fariña et al. (2009) obtuvo clasificación espectral para estrellas tempranas en la región de formación estelar N159/N160 al sudoeste de 30 Dor



Giant HII regions

2000's

- Bosch++: Trabajando con una submuestra de GHIIRs más jóvenes se mejoraba la relación $L \sim \sigma^4$ visible en el plano.



Aumentar la muestra
de regiones HII
gigantes

Estudiar la cinemática de las
estrellas del cúmulo