

# Master de Astrofísica



Universidad Complutense de Madrid

## **Formación y Evolución de Galaxias**

### **Práctica 2**

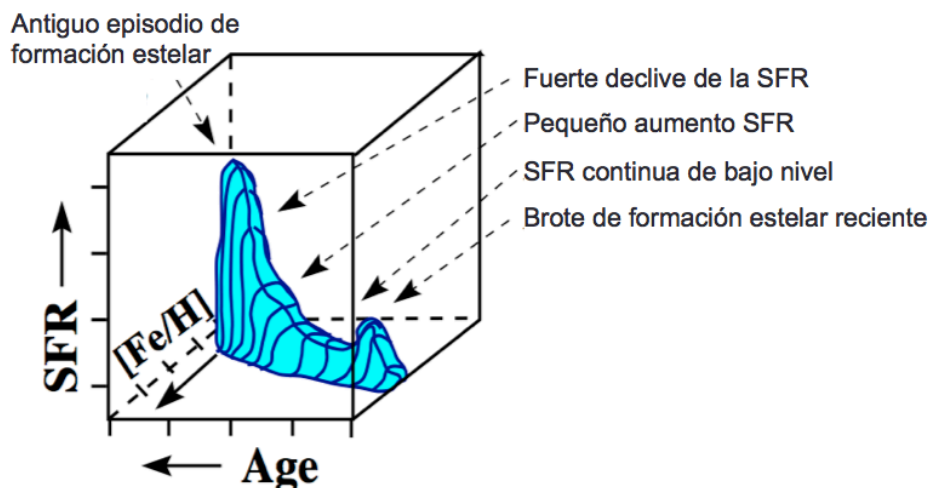
Diagramas Color-Magnitud sintéticos para el estudio de la evolución de galaxias del Grupo Local

## Introducción:

Como se ha visto en clase, el análisis de los diagramas color magnitud (CMDs, del inglés *Color-Magnitude Diagrams*) de las poblaciones estelares resueltas proporciona una gran información sobre la historia de formación de estrellas y de enriquecimiento químico de las galaxias. En la actualidad y gracias al uso del telescopio espacial Hubble estos estudios se limitan principalmente a una región alrededor de nuestra galaxia de unos  $\sim 4$  Mpc (aunque existen estudios de objetos más alejados limitados sobre todo al estudio de la rama de la AGB). Dentro de este volumen, salvo para la determinación de las distancias a partir de la determinación de la magnitud aparente del *tip* de la RGB (T-RGB), la mayor parte de los trabajos de análisis de CMDs resueltos se ha centrado en objetos del Grupo Local, sobre todo enanas dIrr y dSph, entre otras cosas por ser estos los objetos más numerosos.

El análisis de diagramas color-magnitud resueltos se lleva a cabo mediante la comparación de CMDs observados y sintéticos. Estos CMDs sintéticos generan la distribución de la estrellas en color y magnitud en las bandas correspondientes (a partir de trazas evolutivas y correcciones bolométricas bien conocidas) para diferentes historias de formación estelar y evolución química. La comparación entre el CMD observado y los diferentes CMDs sintéticos generados permite determinar el mejor CMD sintético y de ahí la historia evolutiva más probable. Mientras que la evolución de la SFR suele cubrir un gran número de historias evolutivas posibles, la evolución química suele parametrizarse con funciones suaves. A fin de que la comparación sea lo más precisa posible es fundamental tener en cuenta los errores observaciones en las bandas fotométricas de observación y, si es posible, también los posibles errores en los modelos.

El resultado es similar a lo que se muestra en la figura inferior donde se indica la evolución obtenida para una galaxia del Grupo Local ficticia para la evolución simultanea de la tasa de formación estelar (SFR, del inglés *Star Formation Rate*) y de la abundancia química en función de la edad de la galaxia.



*Representación esquemática de la historia de formación estelar y de evolución química (en función del tiempo) obtenido a partir del análisis de un CMD mediante la técnica de generación de CMD sintéticos.*

## Objetivos:

El objetivo de la práctica es que el alumno analice un diagrama CMD "mock" mediante la comparación de este con las predicciones de CMD sintéticos. El uso de un CMD "mock" en vez de uno real hace el análisis más sencillo pues no es necesario tener en cuenta errores observacionales y también debería proporcionar una solución más precisa al haberse generado el CMD "mock" con las mismas herramientas que aquellas usadas para la generación de los CMD sintéticos de comparación. Además, es difícil encontrar en la literatura datos publicados con magnitudes y colores de todos los miles e incluso decenas de miles de estrellas que aparecen en un CMD típico observado con el HST.

**Análisis cualitativo del CMD "mock":** En un primer lugar el alumno representará el diagrama CMD que se proporciona en la página del Campus Virtual de la asignatura (fichero completo: *cmd\_Nalto.txt*, fichero con la misma historia de formación estelar pero menos partículas: *cmd\_Nbajo.txt*) e identificará las principales características: la secuencia principal, la rama de la RGB, HB, AGB y, si fueran evidentes, la posición del posible (o posibles) punto(s) de giro, el RC, población de sub-gigantes, etc.

**Generación de CMD sintéticos:** Utilizando la herramienta IAC-STAR (Aparicio y Gallart 2004, AJ 128, 1465), que se puede ejecutar desde la página web <http://iac-star.iac.es/cmd/www/form.htm>, generar una serie de CMD sintéticos que cubran suficientemente bien el espacio de parámetros en términos de evolución de la SFR. Esto debería incluir la generación de historias de formación estelar formadas por un único brote de 0.1 Gyr de duración (CMDs de 1-BROTE) o de dos brotes de esta misma duración (CMDs de 2-BROTOS) con diferentes edades. Manténganse los otros parámetros por defecto que utiliza el programa (historia de abundancia química, pérdida de masa, librerías estelares). Se puede limitar el espacio de parámetros inicialmente en función de las conclusiones derivadas del análisis cualitativo descrito en el apartado anterior.

**Comparación del CMD "mock" y los CMD sintéticos:** Definir una serie de regiones de comparación en el CMD (ó *bundles*; ver figura siguiente de Monelli et al. 2012, ApJ 744, 157) dentro de las cuales se realizará un conteo de estrellas tanto en el CMD "mock" como en los sintéticos generados previamente cuya diferencia deberá minimizarse (ver Monelli et al. 2010, ApJ 720, 1225). Tener en cuenta el número de estrellas totales en ambos en el momento de estimar cuál es el mejor CMD sintético.

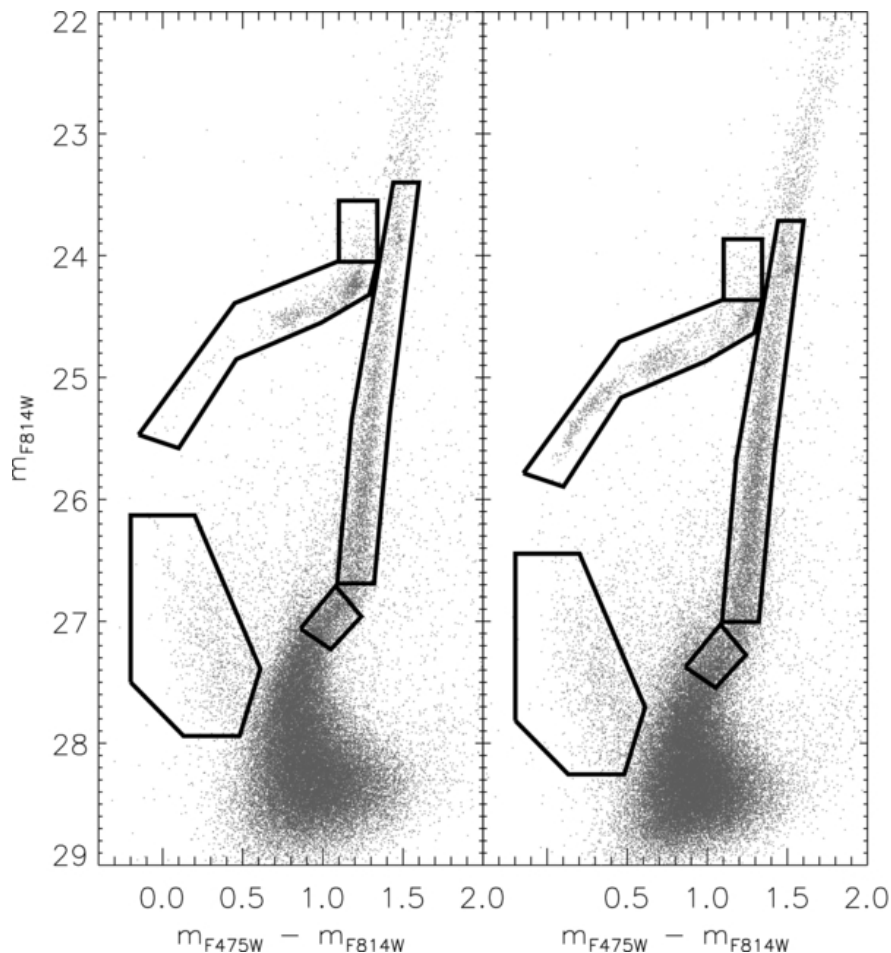
## Recomendaciones:

(1) Realizar una primera exploración con un número bajo de estrellas ( $10^6$  estrellas calculadas; tiempo de ejecución  $\sim 45$  segundos) y, una vez encontrada una solución aproximada, aumentar el número de estrellas ( $10^7$  estrellas calculadas) en un rango más pequeño del espacio de parámetros a fin de afinar la mejor solución y estimar además la masa total en estrellas (masa estelar total) del CMD "mock" propuesto. Usar  $5 \times 10^5$  como "Number of stars saved to output file". Comparando primero con cmd\_Nbajo.txt y después con cmd\_Nalto.txt ahorraría tiempo.

(2) Definir regiones de comparación cuyas condiciones sean fáciles de definir geoméricamente pero que no mezclen características morfológicas diferentes del CMD. Se puede definir también mallas dentro de cada una de estas regiones de mayor tamaño para afinar la determinación de la SFH de la galaxia "mock".

(3) Limitar la salida a estrellas más brillantes que  $M_I = 4$  mag, es decir, fijar "Limiting magnitude for stars to be written in the output file" en 4 y "Filter" en 5.

(4) La edad de la galaxia ("# Present age of the system:" en el fichero de salida) deberá ser siempre igual a  $0.13 \times 10^{11}$ , es decir 13 Gyr.



Representación de los CMDs de las galaxias dSph Cetus y Tucana del Grupo Local obtenidos por Monelli et al. (2012) con las regiones definidas por estos autores para el análisis por CMD sintéticos. En el caso de esta práctica usar la magnitud absoluta en banda I y el color V-I.