



SEA

Sociedad Española de Astronomía



Portada: Fragmento del campo 2, apuntado 1, CCD 2
del proyecto ALHAMBRA, observado con el telescopio
de 3.5 m de Calar Alto.

Créditos: Proyecto ALHAMBRA y
Vicent Peris (OAUV - procesado de la imagen).

Comité editorial:

Vicent J. Martínez García
Belén López Martí
Benjamín Montesinos Comino
Jaime Zamorano Calvo
Íñigo Arregui Uribe-Echevarría
Fernando J. Ballesteros Roselló
Amelia Ortiz Gil

Diseño:

Fernando J. Ballesteros Roselló
Vicent Peris Baixauli

Maquetación:

Fernando J. Ballesteros Roselló

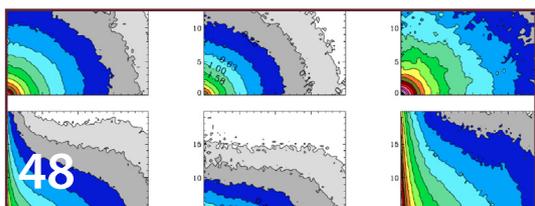
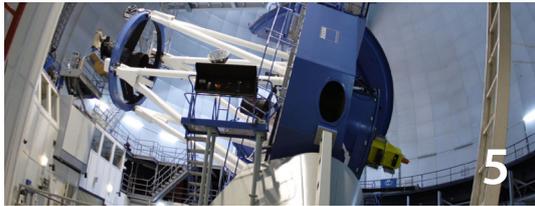
Sociedad Española de Astronomía SEA

www.sea-astronomia.es

Comisión de Información

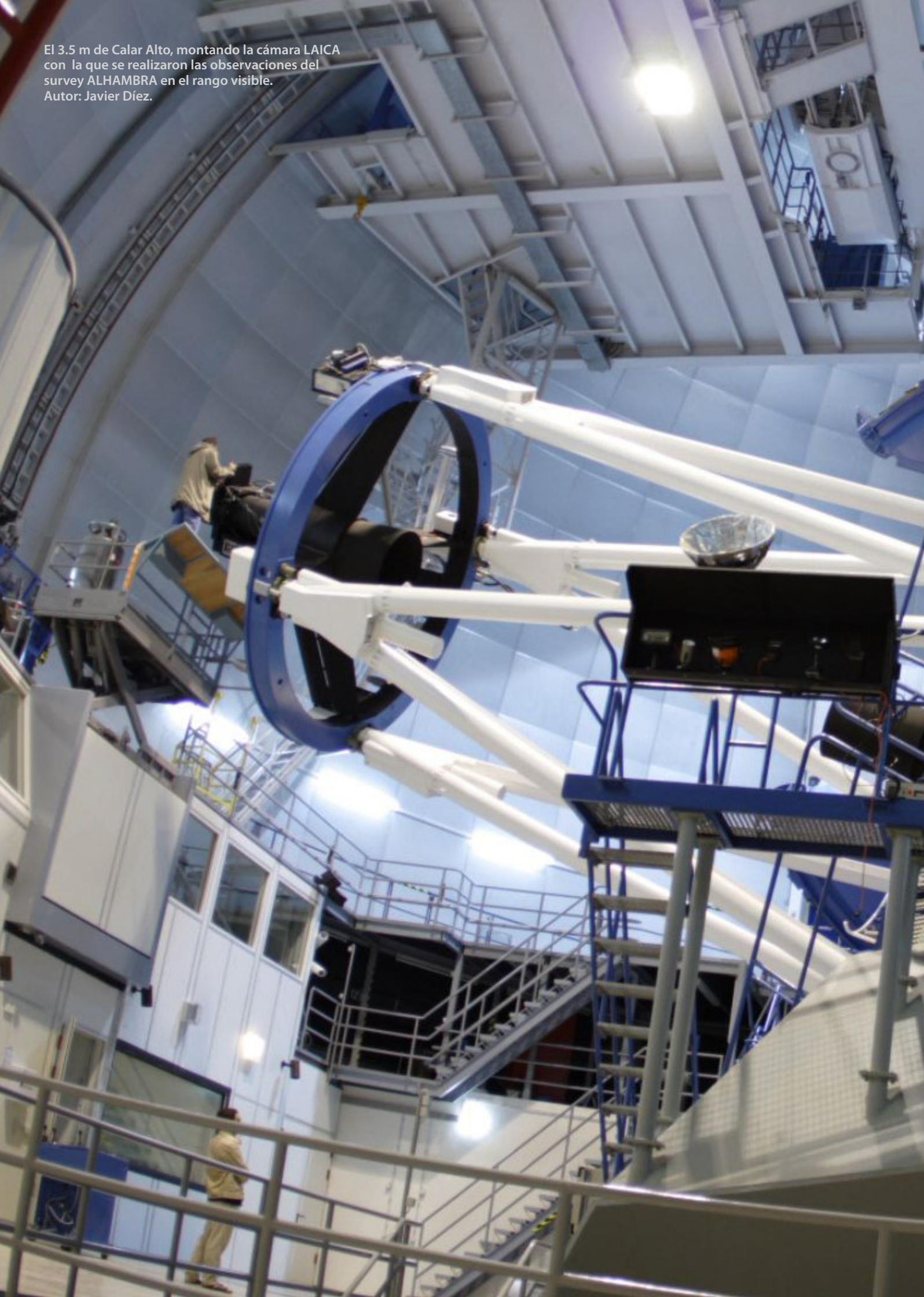
comi-info@sea.am.ub.es

CONTENIDOS



- 5 Editorial
- 6 El proyecto ALHAMBRA
- 10 Pipelines y fotometría ALHAMBRA
- 14 La Vía Láctea desde ALHAMBRA
- 16 Photometric Redshifts
- 20 Varianza cósmica
- 24 Clasificación morfológica de las galaxias del cartografiado ALHAMBRA
- 28 Poblaciones estelares en galaxias de primeros tipos
- 32 Funciones de distribución
- 36 Cúmulos de galaxias en ALHAMBRA
- 38 AGNs en ALHAMBRA
- 42 Objetos Extremadamente Rojos en ALHAMBRA
- 44 ALHAMBRA Gold Sample
- 46 Ecos de (la) Sociedad
- 47 Libros
- 48 Tesis doctorales

El 3.5 m de Calar Alto, montando la cámara LAICA con la que se realizaron las observaciones del survey ALHAMBRA en el rango visible.
Autor: Javier Díez.





EDITORIAL

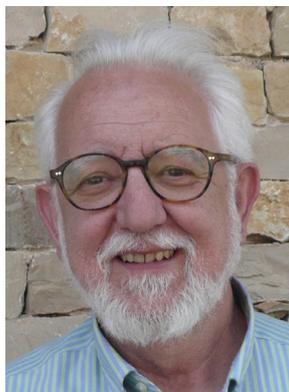
Este número del Boletín de la Sociedad Española de Astronomía acoge, por primera vez, una edición especial dedicada a un proyecto: el cartografiado ALHAMBRA. Al mismo tiempo que el Boletín ve la luz, una vez más coincidiendo con el solsticio de verano, se procede a la liberación del primer conjunto de datos para la comunidad nacional (la ALHAMBRA Gold Sample), y en particular para el ALHAMBRA Extended Team, en el que estáis incluidos gran parte de los miembros de la SEA.

Incluimos una serie de breves artículos dedicados a los aspectos científicos, técnicos, e incluso históricos del proyecto. Algunos de ellos ya han sido publicados en revistas profesionales, o están en diferentes fases del proceso de envío. Otros muestran las líneas de trabajo de algunos de los grupos de investigación dentro de nuestro equipo. Esperamos que los artículos os animen a conocer los datos, a utilizarlos y, si lo deseáis, a contactarnos para unirnos al trabajo. Aprovechamos también para anunciados que entre los días 12-14 de noviembre de 2013 tendrá lugar una reunión abierta en Granada, para realizar la presentación completa de los catálogos y los datos. Estáis, por supuesto, invitados a asistir.

Han sido muchos años de trabajo dedicados al diseño, la adquisición y el tratamiento de los datos por parte del ALHAMBRA Core Team, dirigido por Mariano Moles. Pero no sólo ha sido producto de un esfuerzo humano, sino también de la concesión de un gran número de noches de observación en el telescopio de 3.5 metros del Centro Astronómico Hispano Alemán en Calar Alto. Esta concesión fue posible gracias a la modificación del acuerdo entre España y Alemania, hace aproximadamente 10 años, por la que nuestra comunidad pasaba a utilizar el 50% del tiempo de observación disponible. En estos momentos en que una nueva modificación pone en peligro la propia existencia del Observatorio de Calar Alto tal y como lo conocemos, creemos que estos datos y toda la ciencia que de ellos podamos extraer representan nuestro mejor homenaje al Observatorio, a su personal, y esperamos que a su futuro.

Alberto Fernández Soto
Instituto de Física de Cantabria

ALHAMBRA (Advanced Large Homogeneous Area Medium Band Redshift Astronomical Survey) se planteó como un proyecto para el estudio sistemático de la evolución y de la varianza cósmicas. Dada la estrategia de observación, un cartografiado fotométrico con filtros de banda media, los datos pueden ser de gran relevancia para otros muchos campos de la Astrofísica. La composición del equipo que se formó (el *Core Team*) refleja esa variedad de intereses científicos, además de la voluntad de coordinar los esfuerzos para optimizar los recursos humanos e instrumentales existentes.



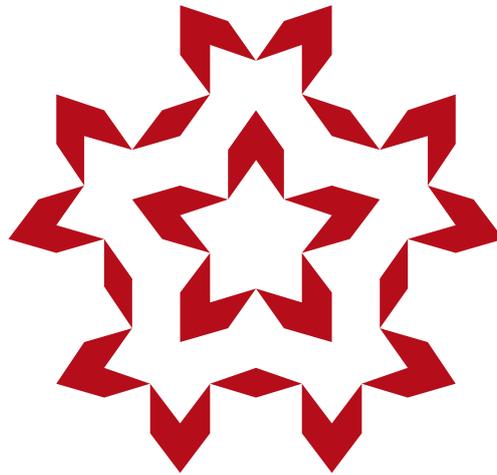
Mariano Moles
IP del Proyecto ALHAMBRA.
CEFCA, IAA/CSIC
moles@cefca.es

En efecto, se trataba en ese momento de abordar problemas de gran envergadura, con importante necesidad de horas de observación, utilizando los recursos que los nuevos acuerdos sobre el Observatorio de Calar Alto ponían a disposición de la comunidad española. También quedó definido desde el inicio el Extended Team compuesto por científicos de diferentes instituciones que manifestaron el interés por el proyecto y su apoyo explícito sin formar parte de ese *Core Team*. Los planteamientos científicos, organizativos y de funcionamiento se recogieron en el ALHAMBRA-Book. El *Core Team* se ha responsabilizado de la definición, implementación y desarrollo del proyecto, manteniendo reuniones periódicas para coordinar el trabajo y decidir las líneas de actuación.

Las observaciones se han llevado a cabo con el telescopio de 3.5m de diámetro del Observatorio de Calar Alto. En el óptico se utilizó la cámara LAICA, con 4 chips que cubre cada uno 15'x15' (<http://www.caha.es/CAHA/Instruments/LAICA/index.html>), instalada en el foco primario del telescopio. Las observaciones comenzaron en Septiembre de 2005. Los datos en IR próximo se obtuvieron con la cámara Omega2000, con un campo de 15.4'x15.4' (<http://www.caha.es/CAHA/Instruments/O2000/index.html>), instalada también en el foco primario del telescopio. Las observaciones comenzaron en Agosto de 2004.

Para alcanzar la profundidad fotométrica requerida se estimaron tiempos de exposición de 100.000s por cada apuntado de LAICA (20 filtros; 4 chips) y 15.000s por cada apuntado de Omega2000 (tres filtros; 1 chip). De modo que para completar los 4 grados cuadrados del cartografiado eran necesarias un total de 711 horas "on target", de las que se han completado 692. El tiempo total en el telescopio ha sido de algo menos de 2700 horas, que da una eficiencia total del sistema, una vez tenidos en cuenta los *overheads* instrumentales, las incidencias técnicas de todo tipo y la meteorología, del 26% aproximadamente. Desde 2008 las observaciones se hicieron en modo servicio. También se han obtenido datos en modo de colas, con observaciones intercaladas con otros proyectos. Las observaciones se han prologado hasta 2011, si bien de Julio de 2010 a marzo de 2011 fueron interrumpidas debido a los problemas que aparecieron en el telescopio. El área completamente terminada, con datos válidos en todos los filtros, es de 3.5 grados cuadrados.

En este punto es de justicia reconocer y agradecer el esfuerzo y la capacidad del personal de Calar Alto a lo largo de todos esos años para que los datos de ALHAMBRA pudieran ser obtenidos en las mejores condiciones posibles.

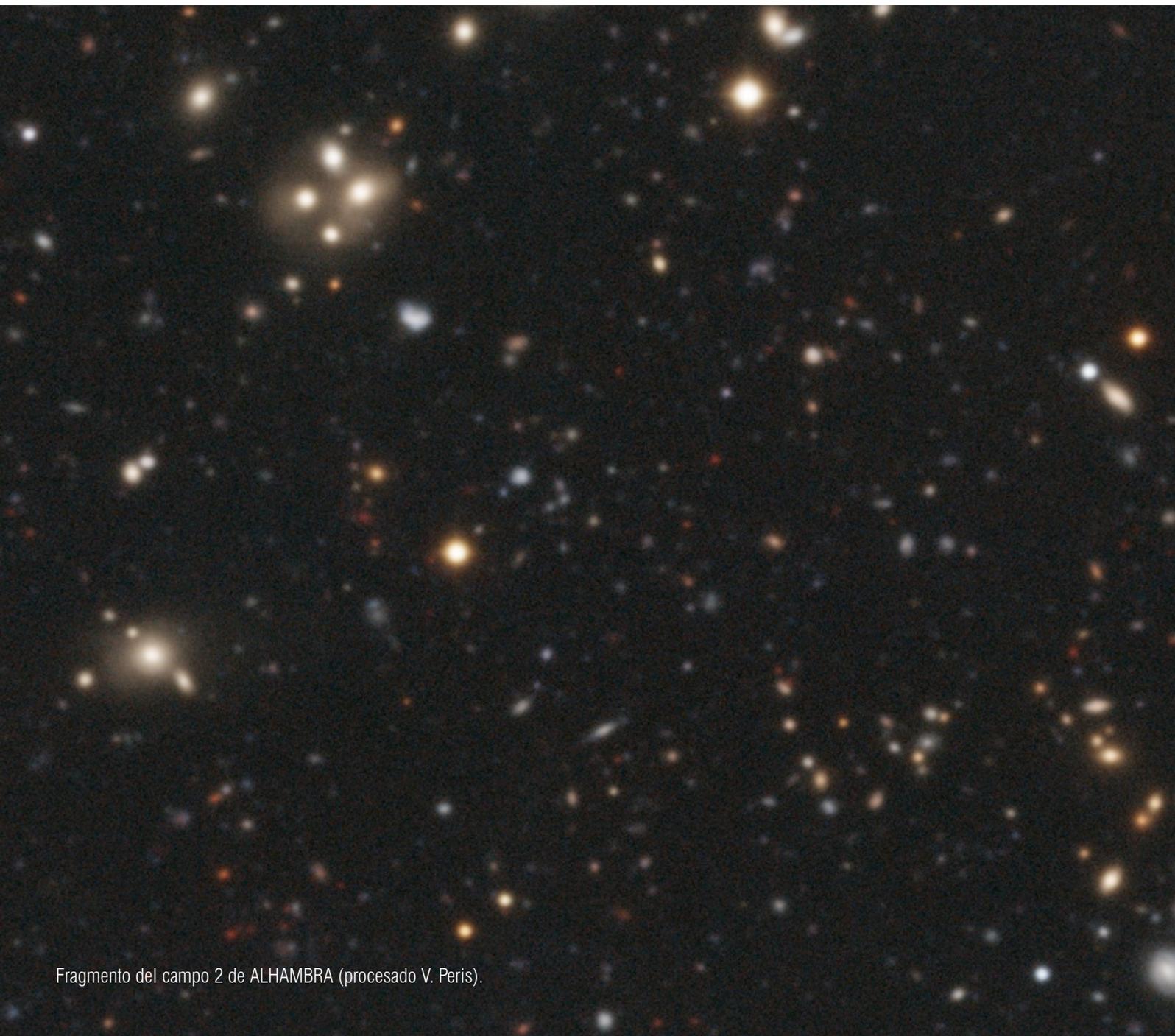


ALHAMBRA

SURVEY

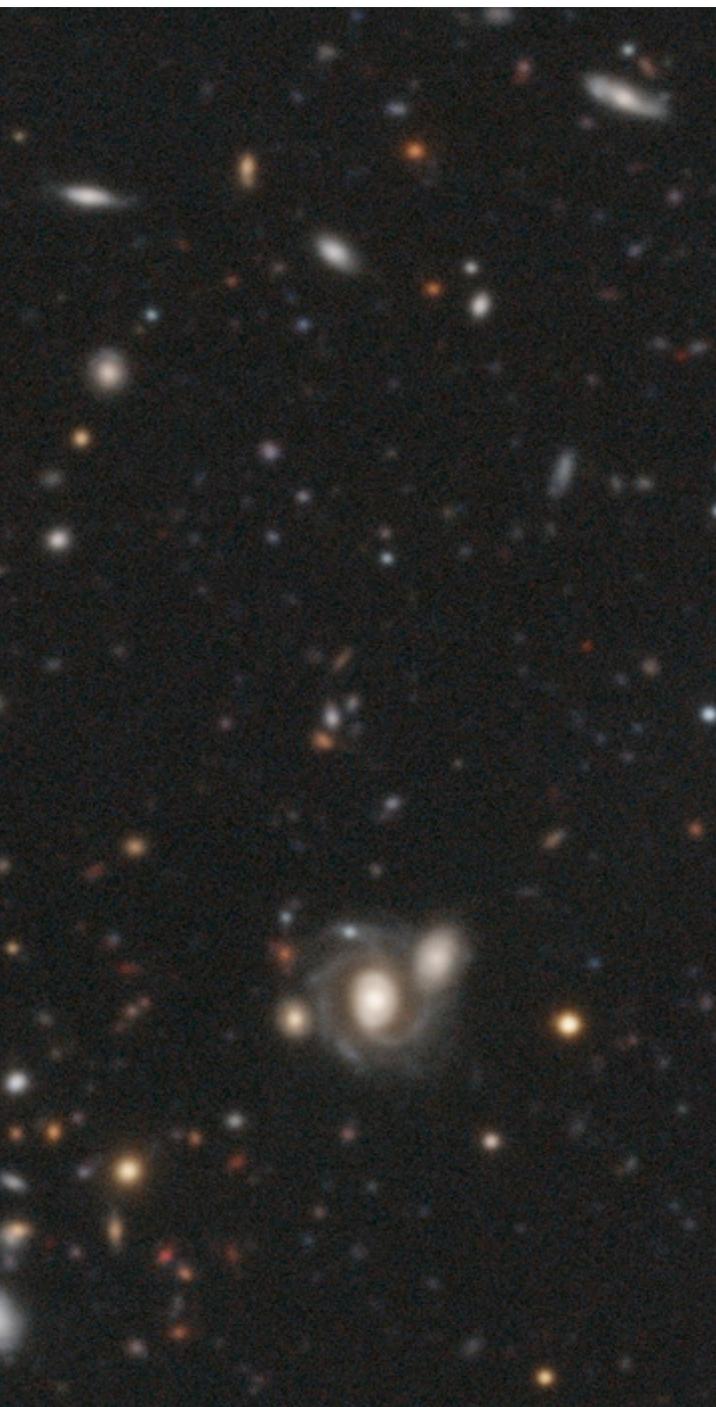
La principal novedad del proyecto ALHAMBRA en cuanto a estrategia de observación es el uso de filtros especialmente diseñados para maximizar tanto la precisión como la profundidad de los z-fotométricos, una vez fijado el tiempo total de observación (Moles et al 2005, [astro-ph/0504545](#); Benítez et al. 2009, [ApJ](#), 692, L5). Se trata, en el óptico, de un sistema de 20 filtros contiguos de igual anchura (FWHM = 320Å), que satisfacen un estricto criterio de contigüidad para que no se produzca ningún efecto de selección con el *redshift* y maximicen el número de objetos con buena determinación de z. El sistema fotométrico que definen ha sido caracterizado y calibrado con respecto a otros sistemas (Aparicio Villegas et al, 2010, [AJ](#), 139, 1242).

Los paquetes de reducción de los datos han sido preparados por miembros del *Core Team*. Incluyen un detallado análisis de calidad, comenzando por el estudio de parámetros básicos durante la toma de datos tales como *seeing*, transparencia atmosférica y fondo de cielo. Se han corregido también con gran precisión todos los efectos de *flat-field*, *fringing* u otros efectos instrumentales. La validez y consistencia de los datos en el IR próximo ha sido analizada y presentada (Cristóbal-Hornillos et al 2009, [ApJ](#), 696, 1554). Los datos ponen de manifiesto que se ha alcanzado la profundidad fotométrica propuesta inicialmente, llegando a AB (5σ , apertura=3") ≤ 23.5 en todos los filtros ópticos (excepto los más rojos) y a AB (5σ , apertura = 3") $\leq 24, 23, 22$ en JHK, respectivamente.



Fragmento del campo 2 de ALHAMBRA (procesado V. Peris).

«Es de justicia reconocer y agradecer el esfuerzo y la capacidad del personal de Calar Alto a lo largo de todos esos años.»



En cuanto a los z-fotométricos, la expectativa del proyecto era alcanzar una precisión de $\delta z/(1+z) \sim 0.015$ para toda la muestra detectada con suficiente relación S/N. Como se explica en la contribución de Alberto Molino, la precisión alcanzada es de 1.12%, con la posibilidad de obtener precisiones claramente por debajo del 1% para determinadas familias de objetos.

Simultáneamente con este boletín se hace público el catálogo que contiene las fuentes con mayor precisión de foto-z, un total cercano a las 100.000, lo que denominamos el **ALHAMBRA Gold Sample**. El catálogo completo, con más de 400.000 fuentes e incluyendo la función de densidad de probabilidad para el z-fotométrico de cada fuente, será publicado a mediados de Noviembre/2013, coincidiendo con la próxima reunión del *Core Team* del proyecto en Granada. Esta reunión será abierta y se invitará al *Extended Team* y a toda la comunidad.

Si bien ya se han publicado algunos resultados a partir de los datos de ALHAMBRA (ver la página web del proyecto), lo más específico e importante podrá abordarse a partir de ahora, con todos los datos ya disponibles. ALHAMBRA se proponía estudiar la evolución cósmica y la varianza, entre otros problemas. Los datos invitan a ser optimistas y a prever que se podrá hacer contribuciones significativas en esos dominios, muy particularmente en la caracterización de la función de luminosidad. También hay ya grupos de trabajo explorando la capacidad clasificatoria del nuevo sistema fotométrico para estrellas y para el estudio del contenido del halo galáctico, la detectabilidad de QSOs (Matute et al. 2012, AA, 542, A20), la identificación y caracterización de grupos y cúmulos de galaxias, el análisis de la morfología de las fuentes, la detección de objetos con colores extremos, o para analizar el contenido estelar de las galaxias, incluido el estudio 2D de las que están suficientemente resueltas.

Además de los resultados científicos inmediatos que ALHAMBRA está proporcionando y va a proporcionar, hay otro aspecto también clave a resaltar. El avance que se ha producido en la capacidad para aumentar la precisión y fiabilidad de los z-fotométricos y en las técnicas para su calibración, supone un significativo avance en el uso de la estrategia de filtros intermedios-estrechos y respalda los proyectos que, a partir de la experiencia con ALHAMBRA y otros proyectos de similar estrategia, se están planteando para extender este tipo de cartografiados con filtros intermedios/estrechos a todo el cielo observable.

<http://alhambrasurvey.com>
Moles et al., 2008, AJ, 136, 1325

En Astronomía, el trabajo con las observaciones no se acaba al terminar la noche y cerrar el telescopio. Aún queda una importante etapa de la que depende críticamente la calidad de los datos que vamos a obtener y de la Ciencia resultante: La reducción y procesado de datos. Debemos corregir los efectos instrumentales, calibrar y caracterizar la calidad de nuestras observaciones.



Jaime Perea
Instituto de Astrofísica de Andalucía
jaime@iaa.es



David Cristóbal
Centro de Estudios de Física
del Cosmos de Aragón
dch@cefca.es

En el caso de ALHAMBRA, nos encontramos con una gran cantidad de imágenes dado que cubre varios grados cuadrados en el cielo, mapeados con cámaras CCD de minutos de campo, en 23 bandas fotométricas (20 en la zona óptica y tres en el cercano infrarrojo) de las que queremos extraer toda la información fotométrica posible para todos los objetos que sean detectables en ellas. En este proyecto hemos utilizado además la técnica de “dithering” para obtener las imágenes (en cada zona a estudiar y banda fotométrica, se hacen exposiciones relativamente cortas entre las que se realiza un pequeño movimiento del campo de visión) esto nos da como ventaja el observar el mismo objeto sobre diferentes zonas del detector minimizando así los errores de variaciones de sensibilidad de éste y eliminando las detecciones espúreas que sólo aparecen en una de las subimágenes. En infrarrojo, dado el alto nivel de fondo de cielo, esta técnica es obligatoria, mientras que en las bandas ópticas nos permitía combinar observaciones incluso en diferentes campañas en telescopio hasta obtener el tiempo de integración requerido.

Dado el gran volumen de datos con que contábamos, se hacía del todo imposible realizar el trabajo de manera interactiva; por tanto era necesario diseñar software que hiciera el trabajo de la reducción de manera automática; a este tipo de sistemas los solemos denominar pipelines. El trabajo realizado, a grandes rasgos, para ALHAMBRA ha consistido en:

- a) Diseño del sistema informático. Debía ser tolerante a fallos y redundante, lo que nos obligó a utilizar sistemas de ficheros de acceso múltiple (dos o más ordenadores pueden acceder simultáneamente y no se deben producir inconsistencias). Utilizamos finalmente un sistema con varios ordenadores linux accediendo por fibra óptica a tres sistemas de discos formateados como OCFS2.
- b) Sistema de procesado de las imágenes. Dadas las características de LAICA (el instrumento utilizado para las observaciones en los 20 filtros ópticos) con 4 CCDs con diferente respuesta y en cada CCD con 4 amplificadores distintos de lectura, no se podían utilizar los métodos estándar de reducción de datos. Por ello se desarrolló un sistema específico para la obtención de los flat-fields (variaciones de la respuesta pixel a pixel del chip CCD) y corrección de esta respuesta; para la eliminación de corriente de oscuridad (pequeña corriente eléctrica que existe incluso cuando no hay luz) y bias (nivel cero

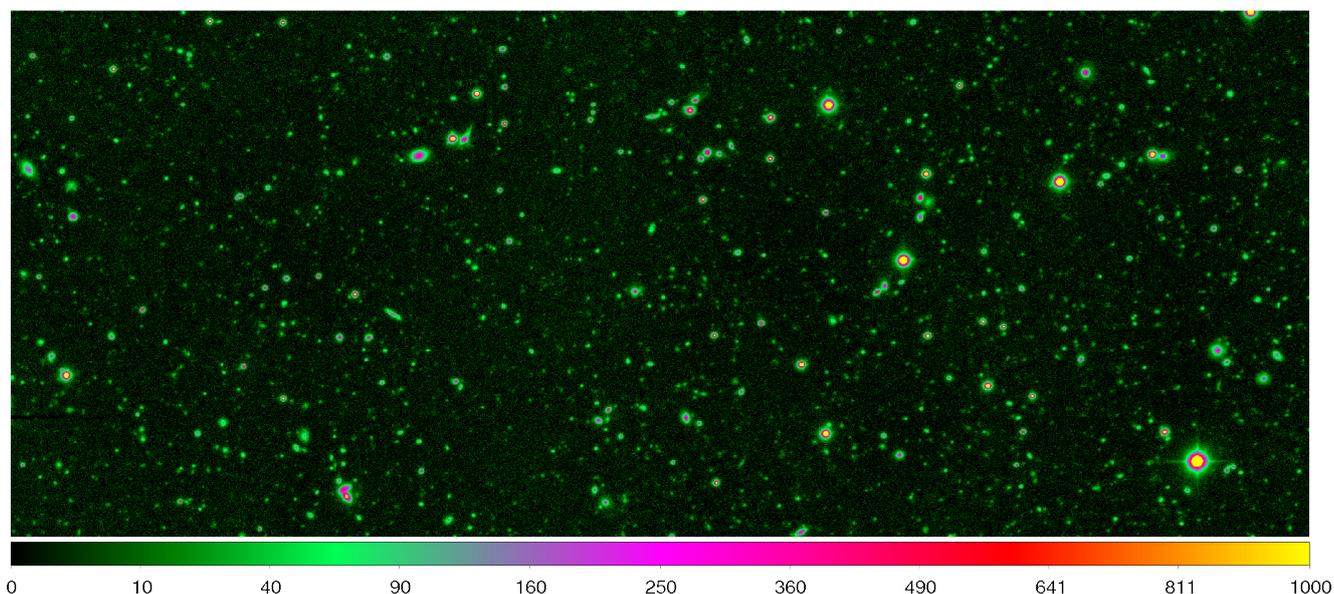
de codificación). También se escribió software para la corrección de efectos que aparecían sistemáticamente, como trazas de aviones o satélites (una línea brillante en las imágenes) o la detección de la araña del espejo secundario en las observaciones NIR. Tras este procesado se realizó la calibración astrométrica, asignando coordenadas en el cielo a cada píxel CCD. Las imágenes infrarrojas, observadas con un instrumento diferente (Omega2000), se escalaron al tamaño de píxel de las ópticas; así conseguimos un conjunto de imágenes perfectamente alineadas donde cada posición de píxel es la misma en los 23 filtros.

c) Combinación de subimágenes, teniendo en cuenta mapas de peso y máscaras de zonas no útiles, por ejemplo por la presencia de estrellas saturadas. También se incluyeron en la "pipeline" algoritmos de eliminación de objetos "fantasma" (imágenes secundarias de fuentes muy brillantes). Tras todo este procedimiento se incluyó en la pipeline la calibración fotométrica esto es la transformación del conteo que medimos en unidades físicas.

d) Detección e identificación de todos los objetos que existen en cada imagen y en cada filtro. Se trata de medir el flujo integrado que cada uno de estos objetos exhibe por filtro y así obtener la distribución espectral de energía, en el dominio óptico-infrarrojo cercano, de cada uno de ellos. En añadidura, se obtienen parámetros de forma de los objetos puntuales (fundamentalmente estrellas) que nos permitirán caracterizar parte de la calidad de cada observación.

Para maximizar el número de objetos y realizar una buena separación entre ellos, es necesario contar con imágenes muy profundas y de muy buen seeing. El método eficiente que seguimos en ALHAMBRA fue combinar las imágenes con mayor señal a ruido y de mejor seeing. Aunque no impusimos ninguna restricción más, el resultado final siempre consiste en imágenes de detección con una respuesta similar a la del filtro *i* del SDSS. Esto se debe a que el seeing disminuye con la longitud de onda y es en esa zona del espectro donde además tiene su máximo la respuesta de los

Imagen compuesta (detalle) de detección.



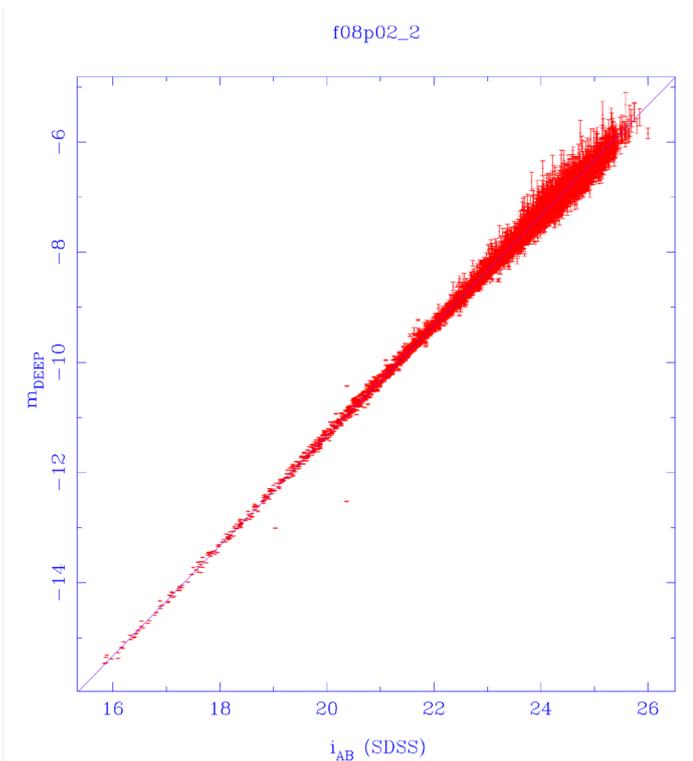
detectores CCD. Esta técnica es mejor que la de tomar imágenes en banda ancha ex profeso para detección, y así mejora la eficiencia en telescopio. En esta imagen (deep en nuestra jerga) se realiza la identificación de los objetos, así como de los parámetros de integración. A continuación se realiza la fotometría en las imágenes en cada banda fotométrica utilizando las posiciones y aperturas fijadas por la imagen deep.

- e) Almacenamiento de imágenes resultantes y creación de una base de datos con la fotometría de todos los objetos. Esta base de datos se diseñó para que fuera accesible mediante consulta pública web; por lo que fue necesario también el diseño de la propia página web de ALHAMBRA, donde se incluyeran además de la información fotométrica de los objetos, las calibraciones,...y el acceso a las imágenes resultantes.
- f) Caracterización de las observaciones y calidad de los datos obtenidos. La medida de la calidad de nuestros datos nos la ha proporcionado, para cada imagen CCD, el análisis de la anchura y elipticidad de las imágenes estelares (medida de la psf), la magnitud límite a la que somos capaces de detectar todos los objetos (se realiza inyectando aleatoriamente fuentes de distinta magnitud y analizando cuantas se recuperan por intervalo de magnitud) y el análisis de la distribución de errores y relación señal/ruido a distintos flujos totales

Las pipelines desarrolladas son básicamente grandes programas escritos en el lenguaje orientado a objetos python, con extensiones para cálculo tales como numpy, scipy o pyfits junto a algunas más escritas por nosotros en C/Fortran y desde donde se hacen llamadas a programas contenidos en los sistemas de software IRAF, Daophot o Astromatic: SWarp, SCAMP y una de las joyas de la corona del software astronómico: SExtractor. El almacenamiento y gestión de bases de datos ha realizado en mysql controlado por python.

Una vez que se obtuvieron las magnitudes de todos los objetos, se realizó la corrección de extinción interestelar. El ajuste fino de la fotometría se realizó utilizando las estrellas de todos los campos, mediante el ajuste de su distribución espectral de energía observada (desde 330 a 2000nm) a patrones contenidos en bibliotecas de espectros estelares. Este procedimiento detectó pequeños offsets, fundamentalmente en las bandas azules, que se han introducido en los catálogos.

Como último paso del proceso, se ha realizado la separación entre estrellas y galaxias, atendiendo primero a su forma (las galaxias son objetos que muestran una extensión mayor que la del ensanchamiento instrumental) y después a su distribución espectral de energía; donde técnicas como regresión logística o redes neuronales nos han permitido realizar una buena separación fotométrica.

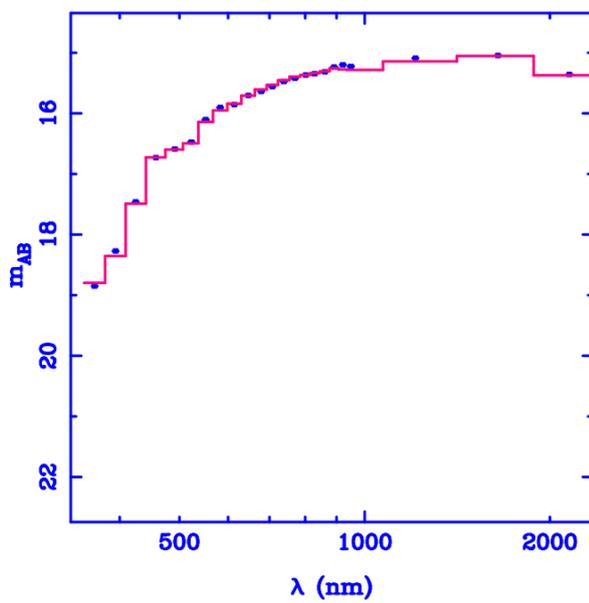


Relación entre la magnitud i (sintetizada a partir de varios filtros alhambra) y magnitud en imagen de detección.

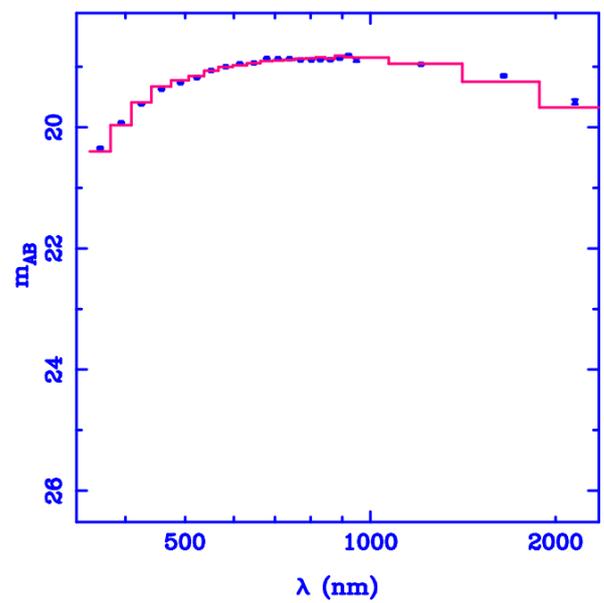
Finalmente queremos mencionar que todo este trabajo para el proyecto ALHAMBRA ha sido realizado por un equipo en el que han participado, además de los autores, Cesar Husillos, Ascensión del Olmo y Miguel Cerviño.

Ajustes de observaciones de estrellas (puntos) a modelos. Se muestra el tipo espectral que se estima.

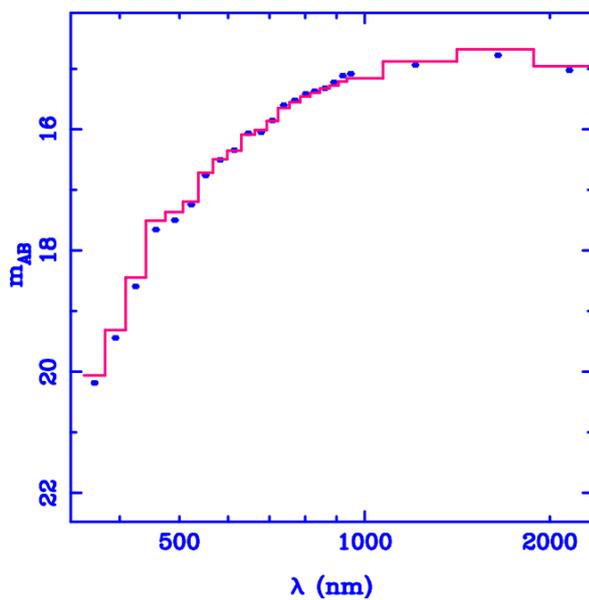
K4V $\sigma_m=0.00$ 11



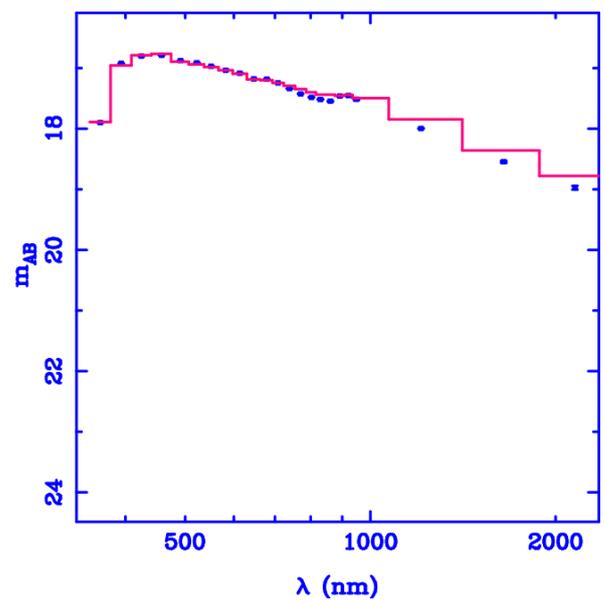
F8V $\sigma_m=0.00$ 11



M0V $\sigma_m=0.00$ 11



A0IV $\sigma_m=0.00$ 12



LA VÍA LÁCTEA DESDE ALHAMBRA

¿Qué hace un astrónomo galáctico en un cartografiado extragaláctico? Pues, como veremos más adelante, muchas cosas, entre ellas, apostolado. Expandir la buena nueva de que la Galaxia y las galaxias no son más que diferentes escalas vistas desde diferentes puntos de observación de una misma fenomenología y que si nuestros mejores escenarios para la formación de las galaxias son ciertos éstos deberían explicar un amplio rango de escalas espaciales, desde los grandes super-cúmulos de galaxias hasta la distribución de las fuentes puntuales que polucionan las imágenes de cielo profundo. Porque una característica de cualquier cartografiado celeste es que entre cualquier exótico y lejano objetivo, y nuestros telescopios estamos siempre sondeando una porción de nuestra Galaxia. Cualquier relevamiento del cielo lleva implícito una cartografía de la Vía Láctea. No nos quitamos de en medio.



Emilio J. Alfaro
En nombre del
Equipo Estelar de ALHAMBRA
CSIC / Instituto de
Astrofísica de Andalucía
emilio@iaa.es

Con esta idea en mente ALHAMBRA conformó un pequeño grupo de astrónomos cuya primera misión fue caracterizar el sistema fotométrico diseñado para alcanzar los objetivos científicos del proyecto y diseñar una estrategia de calibración en flujo de la fotometría, toda vez que la planificación observacional no contemplaba la medida sistemática de estrellas estándares. Teresa Aparicio llevó a cabo esta tarea como parte de sus tesis doctoral codirigida por Mariano Moles y yo mismo, y Jesús Cabrera-Caño propuso el esquema de lo que después fue la base de la calibración en flujo de las imágenes ALHAMBRA en el nuevo sistema fotométrico. El siguiente paso consistió en el diseño de una nueva metodología para la determinación de los parámetros estelares de las estrellas a partir de la combinación de bandas ALHAMBRA en el rango óptico. La idea fundamental descansa en la utilización de una combinación de colores más una ley de extinción que sean independientes no solo de la distancia sino también del enrojecimiento interestelar, algo como $[m_1]$ y $[c_1]$ en el sistema Strömgren o Q para el sistema fotométrico UBV. La selección de estas combinaciones de colores, que por razones históricas y de funcionamiento se denominaron Q_{ijk} , donde los subíndices i, j , y k se refieren al orden de las 20 bandas ópticas de ALHAMBRA en orden creciente de longitudes de onda, fue chequeada de diferentes formas hasta llegar a una base de 18 Q_{ijk} cuya capacidad de discriminación (ver Fig. 1) fue también analizada como parte de la tesis doctoral de Teresa.

Una vez el catálogo de fuentes ALHAMBRA en sus 23 bandas fotométricas se veía una realidad, el equipo de explotación de los datos estelares de ALHAMBRA se fue incrementando con la inclusión de algunos miembros del consorcio que habían participado en diferentes tareas pero que confluían en preguntarse una serie de cuestiones acerca de esas "molestas fuentes puntuales". Alberto Molino fue la semilla del equipo con su pregunta "¿se espera que existan tantos pares estelares rojo-azul (ver Fig. 2), como los que yo estoy observando?, ¿cuál sería su naturaleza?". Pues había que ponerse a pensar y con la unión de Jaime Perea, César Husillos, William Schönell y el primitivo grupo de Astronomía Galáctica se ha diseñado un plan de explotación del catálogo, del cuál ya hay bastante trabajo realizado, que incide directamente sobre cuestiones galácticas de alto in-

terés e impacto y convierte al catálogo ALHAMBRA no sólo en un objetivo en sí mismo sino en un legado astronómico de gran potencialidad para el diseño de herramientas de análisis y desarrollo susceptibles de ser utilizadas en los cartografiados venideros, ya sea a nivel Galáctico (Gaia) o cosmológico (J-PAS).

- a) ¿Cómo diferenciar estrella y galaxia? Análisis de diferentes metodologías; geométricas, fotométricas, mixtas, etc..
- b) ¿Cómo obtener los parámetros estelares fundamentales a partir de la fotometría ALHAMBRA? Parámetros Q_{ijk} , comparación directa con espectros sintéticos de modelos, etc...

c) ¿Qué nos dice la población estelar de la estructura del halo Galáctico? Aunque la superficie angular de los campos ALHAMBRA no es suficiente para caracterizar estructuras de bajo brillo superficial (e.g. colas de marea) se puede obtener un interesante test observacional al comparar con los resultados de modelos de la Vía Láctea en las mismas direcciones para el mismo campo de visión.

d) Caracterización y conteo de la diferente fauna estelar que puebla el halo y disco grueso de nuestra Galaxia. Enanas blancas en diferentes estados evolutivos, los seminales pares de Alberto y su distribución con la separación angular, estrellas con emisión, nebulosas planetarias, etc..

En resumidas cuentas una espectacular visión de la Vía Láctea desde ALHAMBRA.

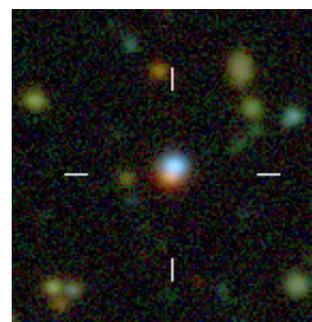
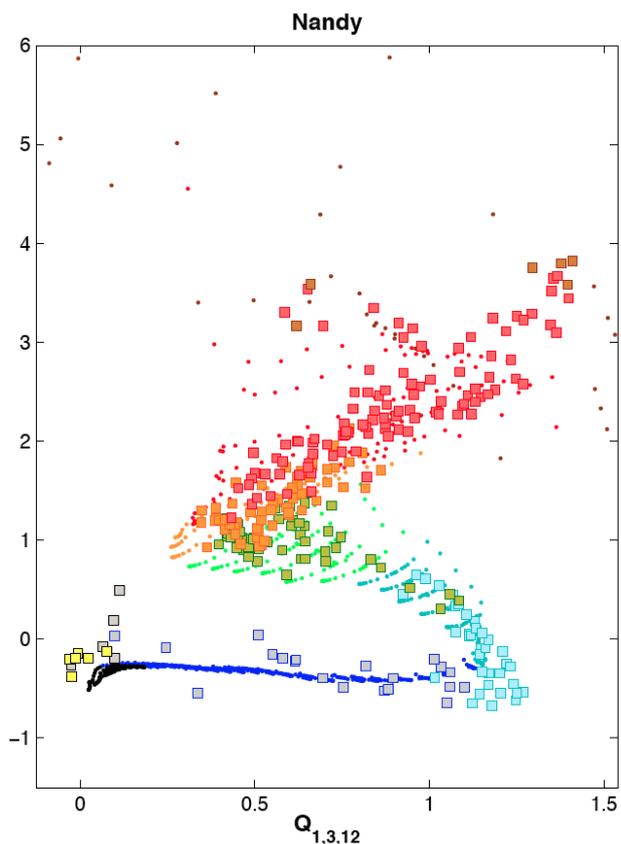


Fig. 2.-Ejemplo de par roja-azul. Muchos de estos pares son sistemas binarios formados por una estrella de tipo espectral M y una enana blanca. Las binarias próximas de este tipo son candidatas a progenitoras de variables cataclísmicas y supernovas de tipo Ia (por Molino).

Fig. 1.- Diagrama $Q_{1,3,12}$ vs $Q_{2,16,19}$ mostrando las estrellas de secuencia principal con diferentes metalicidades tomadas de los modelos de BaSeL 2.2 para la ley extinción de Nandy (círculos). Sobreimpresionadas como cuadrados se han dibujado las estrellas del "Next Generation Spectral Library" (NGSL) que forman la base de la calibración fotométrica del sistema ALHAMBRA. Los colores indican diferentes tipos espectrales (por Aparicio-Villegas).

La energía emitida por una fuente astronómica en función de la longitud de onda recibe el nombre de Distribución Espectral de Energía o SED (de sus siglas en inglés). Estas distribuciones espectrales permiten no solo realizar una clasificación de las galaxias según sea su contenido estelar (qué tipo de estrellas), sino también conocer el estado evolutivo en el que se encuentran (qué estrellas dominan la emisión).



Alberto Molino
CSIC / Instituto de
Astrofísica de Andalucía
amb@iaa.es

Un ejemplo sobre la variedad de tipos espectrales puede verse en la Figura 1, donde los tipos azules corresponderían a las galaxias con poblaciones estelares más jóvenes, y los tipos rojos a aquellas con poblaciones más viejas.

Observar la cantidad de energía lumínica emitida por una galaxia a través de una ventana espectral fija (un filtro) hace posible la estimación del contenido estelar a dicha longitud de onda. Cuando el proceso se repite muestreando diferentes rangos energéticos (distintos filtros) resulta posible inferir la SED de la fuente, generando lo que se conoce como foto-espectro o espectro de muy baja resolución. Un ejemplo que ilustra esta idea puede observarse en la Figura 2, donde los puntos representan cómo ALHAMBRA identifica el foto-espectro correspondiente a la SED de una galaxia (línea gris).

Dado que la luz de las galaxias lejanas tiene que viajar largos periodos de Tiempo por un Universo en continua expansión, las SEDs de las galaxias observadas se encuentran espectralmente desplazadas hacia mayores longitudes de onda, es decir, mostrando un corrimiento al rojo¹ o redshift (de su término en inglés). Cuando se realiza un cartografiado profundo del Universo, cada galaxia observada se encuentra a una distancia concreta y, por lo tanto, mostrando un corrimiento al rojo diferente.

De manera que, para poder inferir la distancia de las galaxias observadas mediante conteo de fotones, se utiliza una técnica denominada corrimiento al rojo fotométrico o photometric redshifts (del término en inglés). La idea básica detrás de esta metodología reside en la comparación de las medidas procedentes del foto-espectro con una librería representativa de modelos de SED.

Asimismo, la comparación ha de contemplar no sólo los diferentes tipos de galaxias, sino también los posibles desplazamientos al rojo a los que podría encontrarse la misma. Por lo tanto, se trata de un análisis en un espacio bidimensional (tipo espectral - corrimiento al rojo), donde a cada galaxia observada se le asigna una probabilidad de encontrarse a una cierta distancia, según sea la bondad con la que se ajusten los datos observados a los modelos.

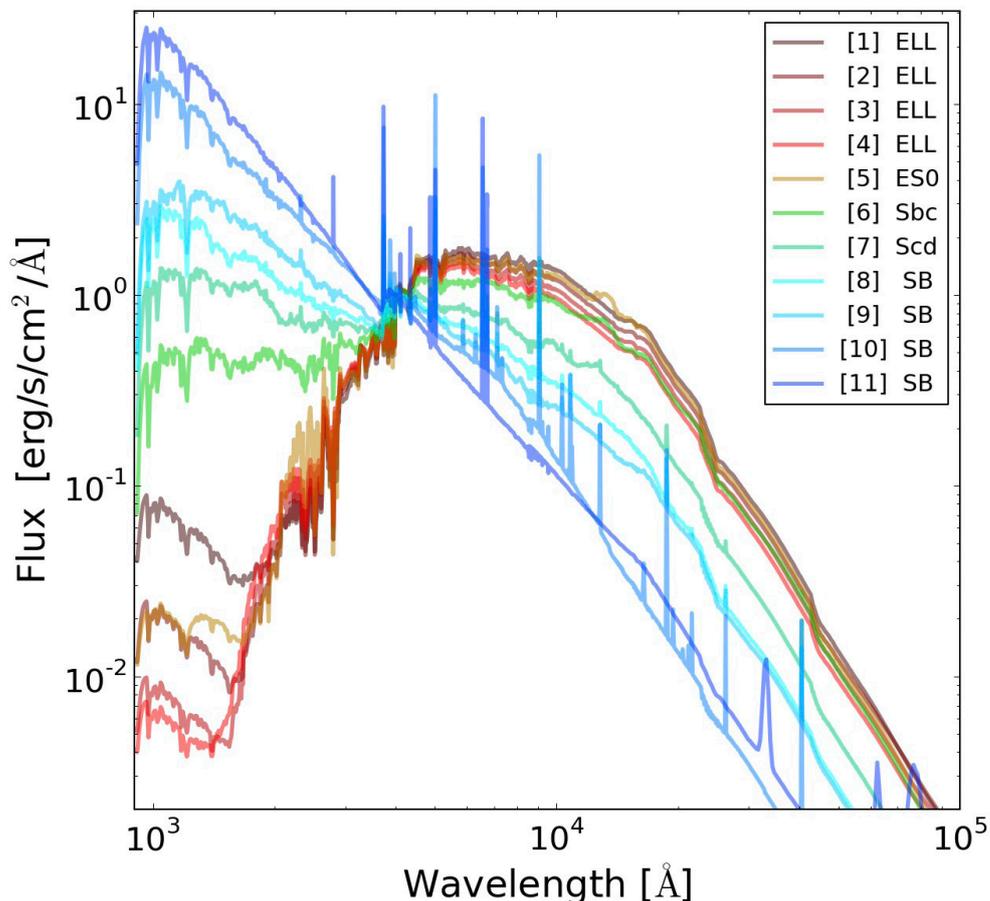
Desde un punto de vista más técnico, podría decirse que la precisión del cálculo del corrimiento al rojo fotométrico depende fuertemente de tres factores observacionales: la resolución espectral, la cobertura y la precisión fotométrica.

Por una parte, la resolución espectral la definirá el sistema de filtros fotométricos empleado. De esta manera, cuanto mayor sea el número de filtros utilizados y menor su anchura, mayor será la fineza para mapear e identificar la SED de la fuente observada. Es importante resaltar que, cuando se observa una fuente a través de un filtro astronómico, toda la información espectral contenida en dicho intervalo de longitud de onda (como líneas de emisión ó líneas de absorción), queda colapsada a un sólo punto fotométrico centrado en la longitud de onda efectiva del filtro. De ahí que los sistemas de filtros de banda ancha tradicionales

(U,B,V,g,R,I,z) sólo permitan inferir propiedades generales sobre el continuo de la SED, tales como la pendiente o saltos. Para aumentar la resolución espectral de sus medidas, ALHAMBRA escogió un sistema de filtros semi-estrechos, capaces de identificar líneas de emisión relativamente débiles (Figura 2).

Por otra parte, la cobertura fotométrica establecida (el rango en longitudes de onda observadas), establece el límite en el seguimiento de los rasgos espectrales de las galaxias. Como la ventana de observación es fija (definida por el sistema de filtros), y la SED se desplaza espectralmente según sea la distancia a la que se encuentre la galaxia, si la cobertura fotométrica no es adecuada puede provocar importantes pérdidas (observacionales) de la información espectral, impidiendo por lo tanto, una identificación precisa e inequívoca de la misma. De esta manera, para poder

Figura 1



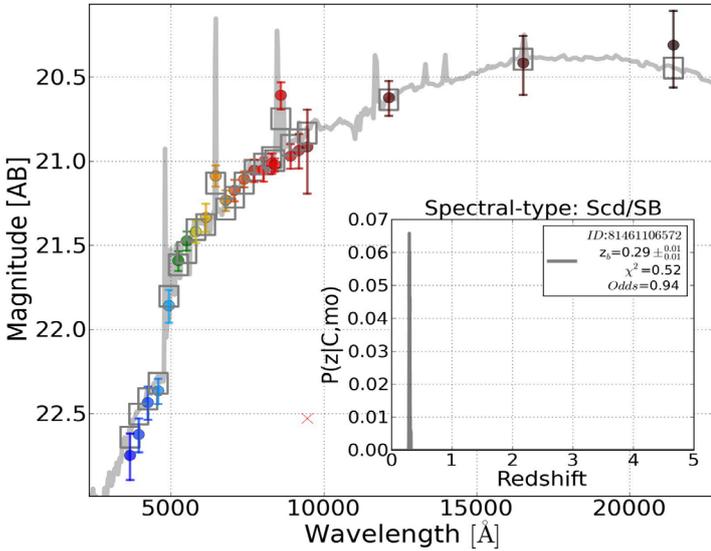
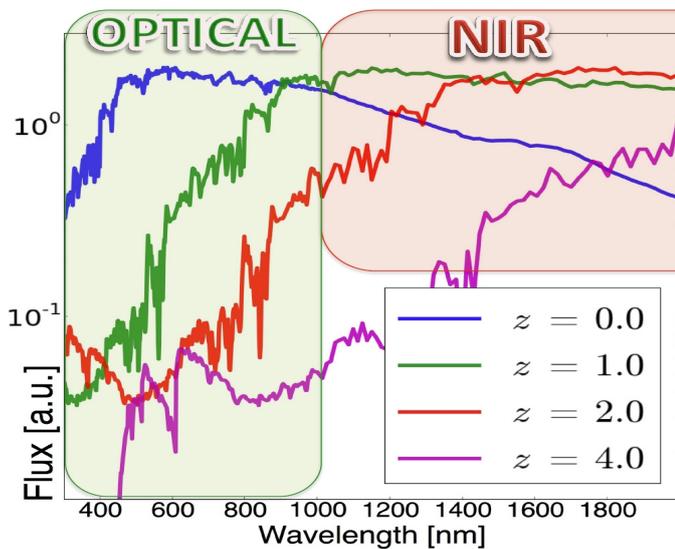


Figura 2

Figura 3



extender el estudio de las galaxias a mayores distancias cosmológicas, ALHAMBRA incorpora al sistema óptico una ventana observacional en el dominio del Infrarrojo donde, lógicamente, reaparecen dichos rasgos espectrales. Un ejemplo para ilustrar esta idea puede observarse en la Figura 3.

Finalmente, la precisión fotométrica resulta ser el elemento más delicado. Dado que tanto la estimación del tipo espectral de una galaxia como su distancia cosmológica depende de la identificación de su SED, es decir, de las variaciones de su energía emitida a cada longitud de onda, la identificación, cuantificación y posterior corrección de cualquier sesgo observacional que afecte dichas medidas resulta crítico. En particular, la variabilidad de las condiciones del cielo (el seeing), pueden artificialmente alterar las mediciones de una misma fuente observada en momentos distintos.

En ALHAMBRA, para poder compensar dicho efecto, y así discernir qué diferencias en la SED correspondían a variaciones reales del contenido de poblaciones estelares, y no a meras variaciones observacionales, resultó necesario modelar la calidad de las observaciones mediante la generación de modelos de PSF (Point Spread Function, del inglés). Dichos modelos, derivados a partir de la selección de cientos de estrellas de campo, permitieron elaborar una fotometría de alta precisión con corrección de PSF. Un ejemplo de los modelos PSF de ALHAMBRA se pueden ver en la Figura 4.

Para poder cuantificar el grado de precisión del redshift fotométrico, resulta necesario comparar las estimaciones con una muestra control de galaxias que posean medidas espectroscópicas fiables de su redshift. Como muestra la Figura 5, los resultados de ALHAMBRA presentan una precisión altamente competitiva semejante a otros cartografiados cosmológicos como COSMOS o COMBO17. Basándose en este triple eje, gracias a un sistema fotométrico optimizado junto con una fotometría de alta precisión, es como ALHAMBRA-survey ha realizado un mapeo sistemático y minucioso para las más de 500.000 fuentes detectadas, con un error en la distancia inferida entorno a un 1.0-1.5%.

NOTAS

¹ Si bien es cierto que la velocidad peculiar de las galaxias cercanas (en un entorno local a la Vía Láctea) también puede producir un desplazamiento espectral de la SED, para el caso de las galaxias lejanas su efecto resulta despreciable en comparación con el producido por la propia expansión del Universo.

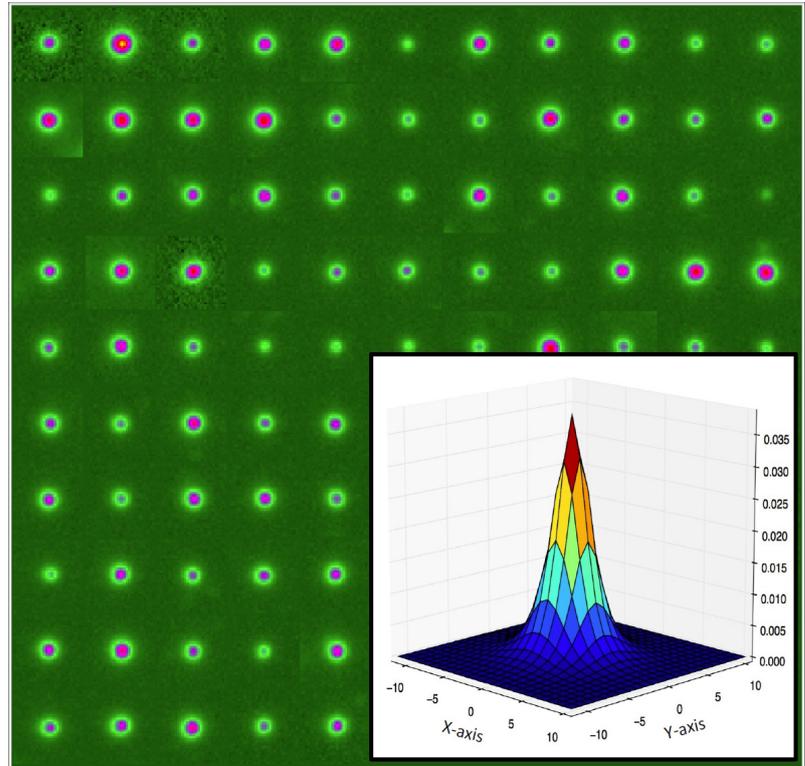
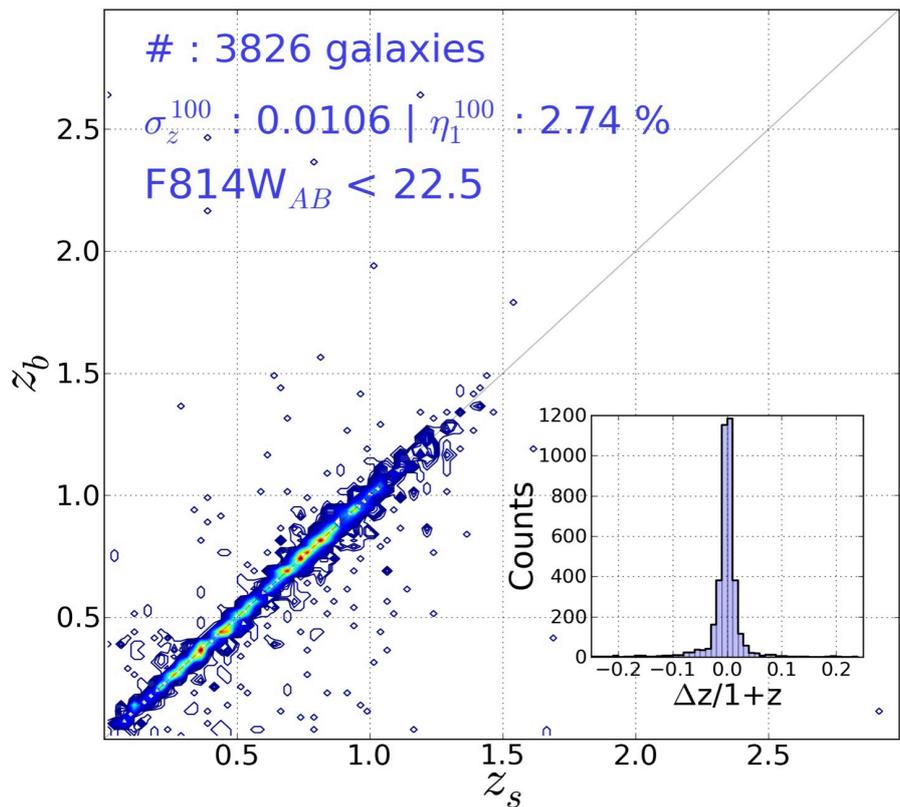


Figura 4

Figura 5



Una de las principales suposiciones de partida en los trabajos cosmológicos actuales es que “el Universo es homogéneo e isótropo”. A partir de ahí las ecuaciones de la Relatividad General, la gravedad y la Energía Oscura hacen su trabajo y determinan la evolución del Universo tal y como lo conocemos. Sin embargo, es evidente que las galaxias no se distribuyen en el cielo de forma homogénea, sino que les gusta agruparse formando cúmulos, grupos y filamentos, dejando vacías ciertas zonas del espacio (ver el artículo de B. Ascaso en este boletín). Esta aparente contradicción encierra un problema de escala, ya que la condición de homogeneidad se cumple a grandes escalas. Por tanto, la primera pregunta que hemos de abordar es ¿a qué escalas podemos considerar el universo homogéneo?



Carlos López San Juan
Centro de Estudios de Física
del Cosmos de Aragón.
clsj@cefca.es

Supongamos que medimos la densidad de galaxias (es decir, el número de galaxias por unidad de volumen) en diferentes regiones independientes del espacio. Como en todo buen problema físico, supongamos estos volúmenes esféricos y con un radio característico R . La densidad de galaxias que mediremos será diferente en cada volumen, presentando cierta dispersión respecto al valor promedio. En un Universo homogéneo las galaxias se distribuyen en el espacio de forma aleatoria y la dispersión en nuestra medida es compatible con una distribución de Poisson: la incertidumbre depende solamente del volumen de las esferas y no de las estructuras -cúmulos, filamentos y vacíos- dentro de ese volumen. Esta fuente de dispersión se denomina “varianza de muestreo”. Estudiando la dispersión de la densidad de galaxias en esferas de diferente radio se concluye que el Universo puede considerarse homogéneo (desviación menor del 1%) a escalas superiores a $R \sim 80\text{-}100$ Mpc/h (Scrimgeour et al. 2012, MNRAS, 425, 116).

Desgraciadamente, las limitaciones observacionales hacen que la mayor parte de los cartografiados extragalácticos profundos muestreen volúmenes inferiores al volumen de homogeneidad a un desplazamiento al rojo dado. En ese caso las medidas sí están afectadas por las estructuras presentes en la distribución de las galaxias y la dispersión en la densidad de galaxias es superior a la varianza de muestreo. Esta varianza extra debida a la presencia de cúmulos, filamentos y vacíos se denomina “varianza cósmica”.

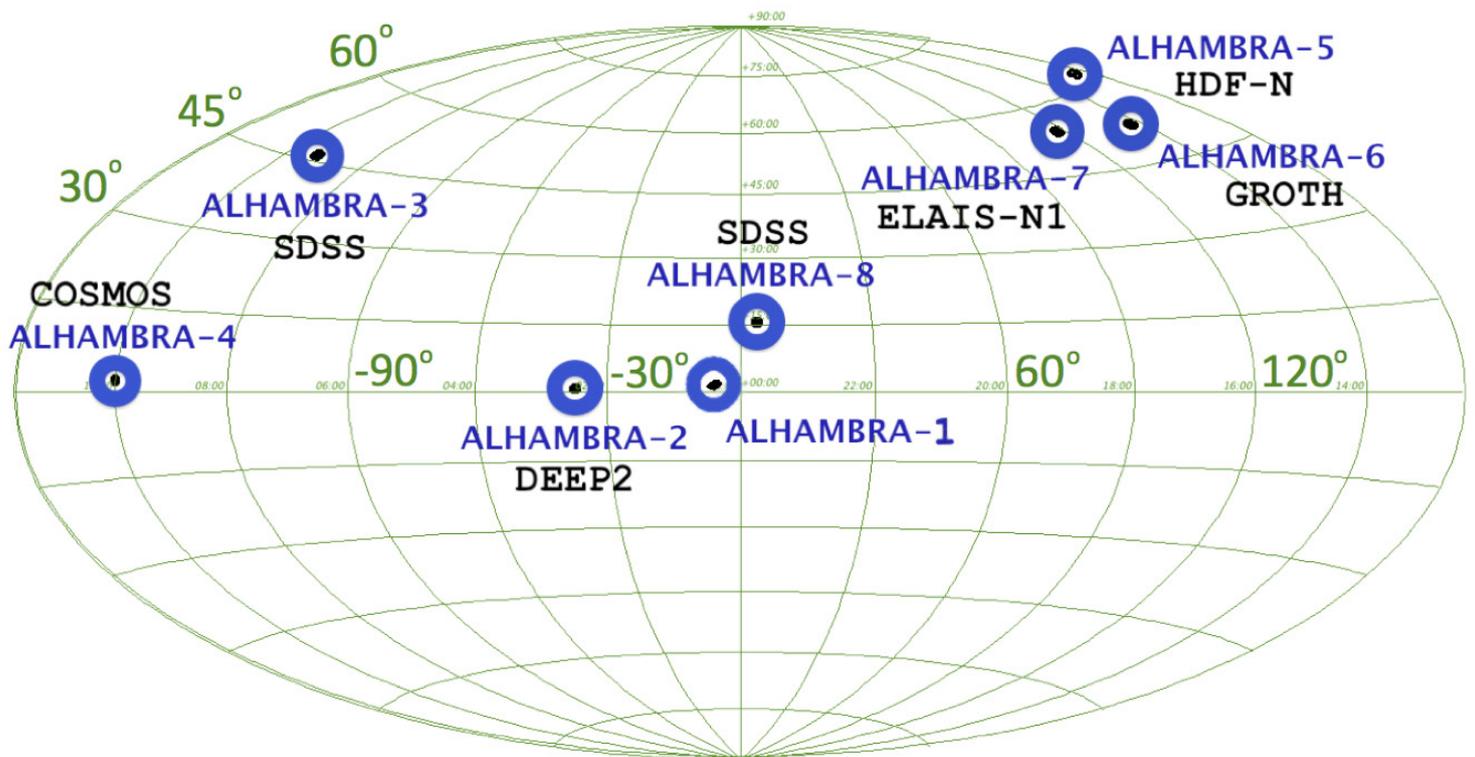
La varianza cósmica afecta a la medida de cualquier parámetro astrofísico y es particularmente importante cuando sólo contamos con un campo para realizar nuestro estudio. Puesto que la varianza cósmica es intrínseca a la región del cielo que estamos observando, ya que depende de la distribución particular de las galaxias en dicha región, no podemos utilizar la información del propio campo para estimarla. Por tanto, no seremos capaces de asignar una incertidumbre realista a nuestras medidas, limitando la interpretación de nuestros resultados.

La forma más eficaz de lidiar con la varianza cósmica es observar varios campos separados en el cielo. Las diferencias campo a campo reflejan tanto la varianza cósmica como la de muestreo, pero la mediana en la distribución de las medidas no se ve afectada por estas dos fuentes de dispersión. Siguiendo esta filosofía, el cartografiado ALHAMBRA ha observado 8 campos separados del hemisferio norte para minimizar el impacto de la varianza cósmica en sus resultados científicos. Estos 8 campos, localizados en zonas de baja extinción galáctica,

cubren además algunos campos emblemáticos de las últimas dos décadas (Fig.1). Por ejemplo, el campo ALHAMBRA-02 ha sido observado por el cartografiado DEEP2 (Newman et al. 2012, arXiv: 1203.3192), ALHAMBRA-4 se corresponde con el campo de COSMOS (Scoville et al. 2007, ApJS, 172, 1), ALHAMBRA-5 con GOODS-N (Giavalisco et al. 2004, ApJ, 600, L93) y ALHAMBRA-6 con el campo de Groth (Davis et al. 2007, ApJ, 660, L1). Los cuatro campos anteriores cuentan con una rica colección de desplazamientos al rojo espectroscópicos, necesarios para estimar y comprender la calidad de los

desplazamientos al rojo fotométricos de ALHAMBRA (ver el artículo de A. Molino en este boletín). Al final, ALHAMBRA proporcionará una estimación robusta del valor promedio en el Universo de cualquier propiedad astrofísica (función de luminosidad y masa, tasa de formación estelar, tasa de fusiones, función de correlación, segregación morfológica, etc.) y de su evolución con el tiempo. En la Figura 2, a modo de ejemplo, se muestra la distribución de galaxias en función del corrimiento al rojo para los distintos campos de ALHAMBRA, donde se puede observar claramente el efecto de la varianza cósmica.

Figura 1. Posición de los 8 campos de ALHAMBRA con en la esfera celeste. Con cada campo de ALHAMBRA se muestra el cartografiado más representativo existente en la misma región del cielo. Crédito: A. Molino.



«La forma más eficaz
de lidiar con la varianza
cósmica es observar
varios campos
separados en el cielo.
[...] Siguiendo esta
filosofía, el cartografiado
ALHAMBRA ha
observado 8 campos
separados»

Sin embargo, ¿qué sucede si sólo contamos con un campo para realizar nuestro estudio? En este caso necesitamos una estimación indirecta de la varianza cósmica para obtener incertidumbres realistas en nuestras medidas. Esta estimación puede obtenerse teóricamente mediante modelos cosmológicos de formación de galaxias, con todos los problemas inherentes a este tipo de modelados, o empíricamente mediante el muestreo de diferentes volúmenes en cartografiados extensos.

Es en este segundo aspecto donde ALHAMBRA marcará la diferencia: gracias a sus 8 campos podremos estudiar directamente la varianza campo a campo, obteniendo una estimación observacional de la varianza cósmica (Figura 3). De esta forma, cualquier cartografiado presente y futuro podrá estimar de forma precisa el impacto de la varianza cósmica en sus mediciones.

Por último, recalcar que, además de presentar ventajas observacionales clave respecto a otros cartografiados profundos a la hora de lidiar con la varianza cósmica, ALHAMBRA proporcionará una nueva e importante fuente de información para los trabajos

teóricos: los modelos de formación de galaxias no sólo tendrán que reproducir el valor promedio medido por ALHAMBRA para cualquier propiedad astrofísica, sino también la varianza (de muestreo y cósmica) de estas medidas. Puesto que la varianza cósmica es un reflejo de la estructura a pequeña escala del Universo, su amplitud encierra información cosmológica que debe aprovecharse para mejorar los modelos teóricos.

En resumen, la varianza cósmica es una fuente de incertidumbre presente en todo cartografiado extragaláctico profundo. La aportación de ALHAMBRA es capital por dos razones: (i) al observar 8 regiones separadas del cielo los resultados de ALHAMBRA estarán poco afectados por la varianza cósmica y serán un reflejo más fiable de las propiedades promedio del Universo y (ii) nos permitirá, estudiando las variaciones entre los campos de ALHAMBRA, estimar directamente y de forma observacional la varianza cósmica. Esto será útil tanto para estimar el impacto de la varianza cósmica en cartografiados profundos con un número limitado de campos como para mejorar los modelos teóricos de formación de galaxias.

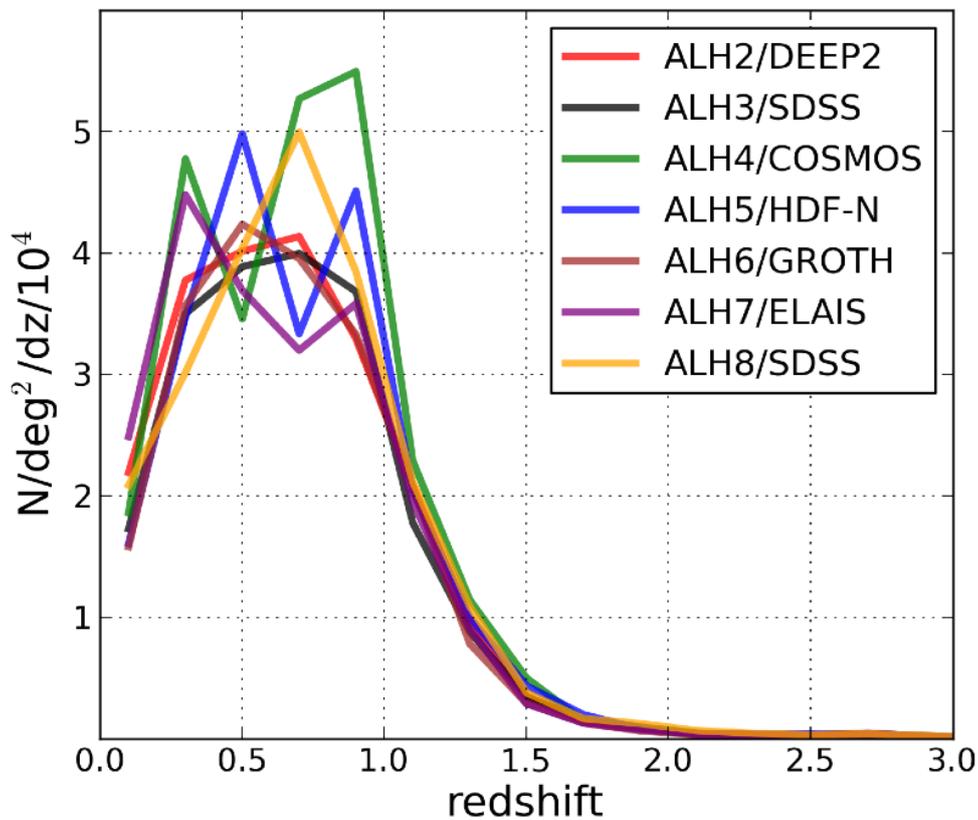
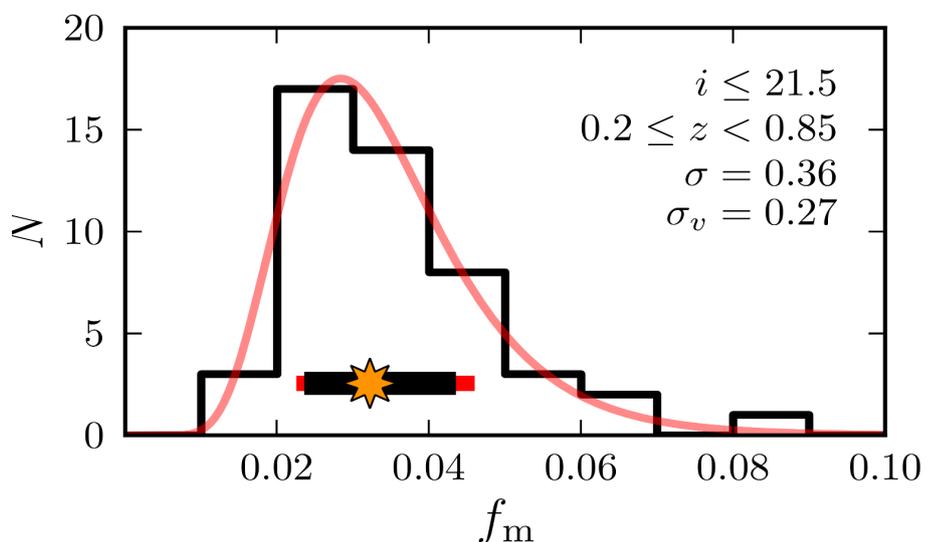


Figura 2. Varianza campo a campo en el número de fuentes por unidad de área en función del desplazamiento al rojo. Los 7 campos de ALHAMBRA presentan estructuras a diferentes desplazamientos al rojo, reflejando la varianza cósmica y la de muestreo. El campo ALHAMBRA-1, no representado en esta figura, está en proceso de calibración fotométrica. Crédito: A. Molino.

Figura 3. Estimación empírica de la varianza cósmica en ALHAMBRA. La figura muestra el histograma de la fracción de fusiones medida en los diferentes campos de ALHAMBRA. Las medidas siguen una distribución lognormal (línea continua) con una dispersión (barra roja) de $\sigma = 0.36$. Esta dispersión incluye la contribución de la varianza de muestreo y de la varianza cósmica (barra negra), $\sigma_v = 0.27$. Crédito: C. López San Juan.



CLASIFICACIÓN MORFOLÓGICA DE LAS GALAXIAS

Las galaxias tienen una gran variedad de formas, presentando distintas componentes que son reflejo de sus propiedades físicas: bulbos, discos, halos, barras, brazos espirales, colas, anillos, etc. Con la clasificación morfológica se pretende organizar las galaxias en distintos grupos en función de estas estructuras

La morfología nos proporciona una información muy valiosa sobre distintas propiedades de galaxias como son sus poblaciones estelares, edades, así como si han sufrido interacciones y el grado de perturbación correspondiente, etc. En general podemos distinguir entre dos tipos principales de galaxias: tempranas y tardías. Con tipos tempranos se consideran las galaxias elípticas y lenticulares, dominadas por el bulbo y con poblaciones estelares viejas, muy poca (o ninguna) cantidad de gas y polvo y con poca formación estelar (véase Figura 1, panel derecho). Las galaxias más viejas, grandes, y masivas que se observan en el universo son galaxias tempranas. Por otro lado, entre las galaxias tardías se consideran todos los tipos de galaxias espirales (barradas o no) e irregulares (véase Figura 1, panel izquierdo). Estas galaxias están dominadas por discos, pueden contener grandes cantidades de gas y polvo y tienen una formación estelar activa.

En los grandes cartografiados la clasificación morfológica es fundamental para cualquier tipo de análisis estadístico relacionado con las propiedades de galaxias tanto normales como anfitrionas de núcleos activos (AGN, del inglés "active galactic nuclei"), los estudios de estructuras a gran escala y la formación y evolución de galaxias en general. En ALHAMBRA se han seleccionado y clasificado 43941 galaxias con magnitudes < 23 en la banda F613W y con fiables desplazamientos al rojo (z en lo sucesivo). La clasificación morfológica se ha llevado a cabo utilizando el código galSVM (Huertas-Company et al. 2008, A&A 478, 971 y Huertas-Company et al. 2009, A&A 497, 743; el acrónimo proviene del nombre inglés "galaxy Support Vector Machine"), un método novedoso y especialmente útil cuando se manipulan datos de baja resolución y objetos con altos z . Con galSVM, hemos utilizado una muestra de 3000 galaxias locales clasificadas visualmente (Nair & Abraham 2010, ApJS 186, 427) para entrenar el SVM y clasificar las galaxias en ALHAMBRA; las galaxias locales se han desplazado a alto z , se ha escalado su brillo para reproducir las distribuciones de z y magnitudes observadas en ALHAMBRA y, teniendo en cuenta el tamaño de pixel, se han introducido en el fondo real (en la imagen) de ALHAMBRA, calculando así para cada objeto siete parámetros morfológicos.



Mirjana Povic
CSIC / Instituto de
Astrofísica de Andalucía
mpovic@iaa.es

DEL CARTOGRAFIADO ALHAMBRA

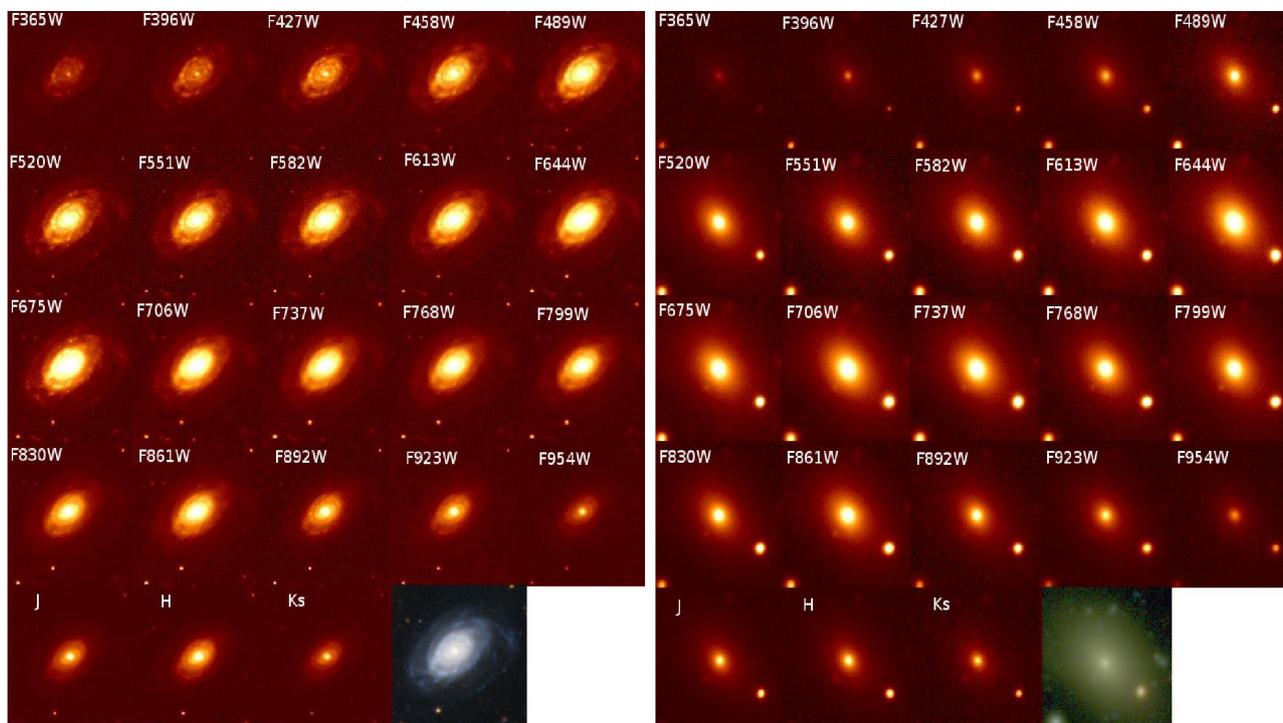


Figura 1: Ejemplo de una galaxia espiral (izquierda) y una elíptica (derecha) con sus imágenes tomadas en los 23 filtros de ALHAMBRA.

De la misma manera los parámetros morfológicos se han calculado para las galaxias de ALHAMBRA, y finalmente, calibrando con la muestra local, a cada galaxia se le ha asignado una probabilidad de que corresponda a un tipo temprano o tardío. Para calibrar nuestra morfología determinando el nivel de contaminación entre los tipos hemos utilizado la clasificación morfológica obtenida con el mismo código en el campo de COSMOS (Scoville et al. 2007, ApJS 172, 1, que corresponde al campo 4 de ALHAMBRA) utilizando las imágenes del telescopio espacial HST/ACS como se hizo en Huertas-Company et al. (2009, A&A 497, 743). Con esta calibración hemos podido determinar los cortes de probabilidades para distintos

intervalos de magnitud que corresponden a distintos niveles de contaminación. Aplicando estos criterios a todo el cartografiado, podemos clasificar el 85% de la muestra seleccionada; el restante 15% de galaxias no clasificadas muestran distorsiones y posibles interacciones y fusiones. De las galaxias clasificadas, el 61% (22141 galaxias) tienen un nivel de contaminación por otro tipo inferior al 10%. De estos, 1644 y 10373 galaxias resultan clasificadas como de tipo temprano y tardío, respectivamente, hasta las magnitudes 22 en la banda F613W. Además, se han podido clasificar 10124 galaxias con magnitudes $22 < F613 < 23$ con el mismo nivel de contaminación, como tipo tardío. Para comprobar la fiabilidad de nuestra clasificación en

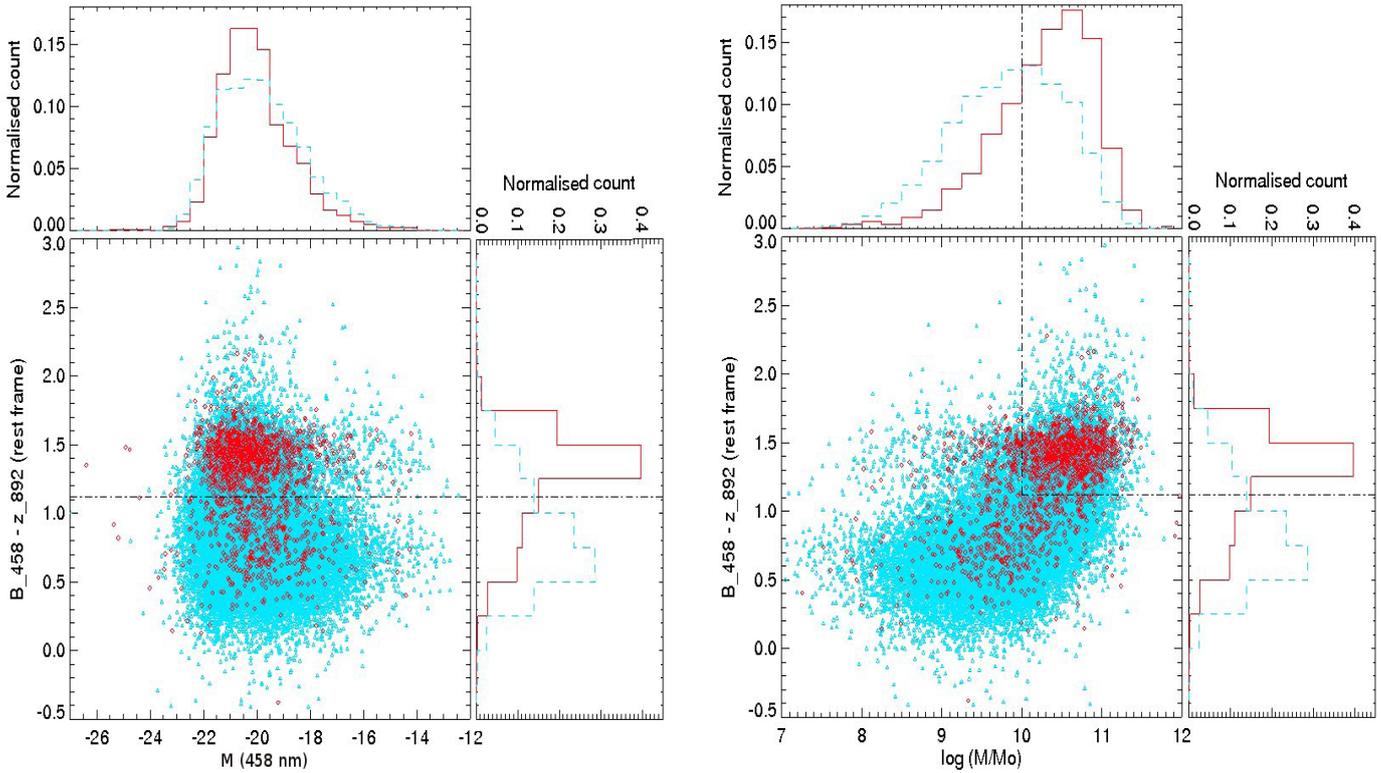
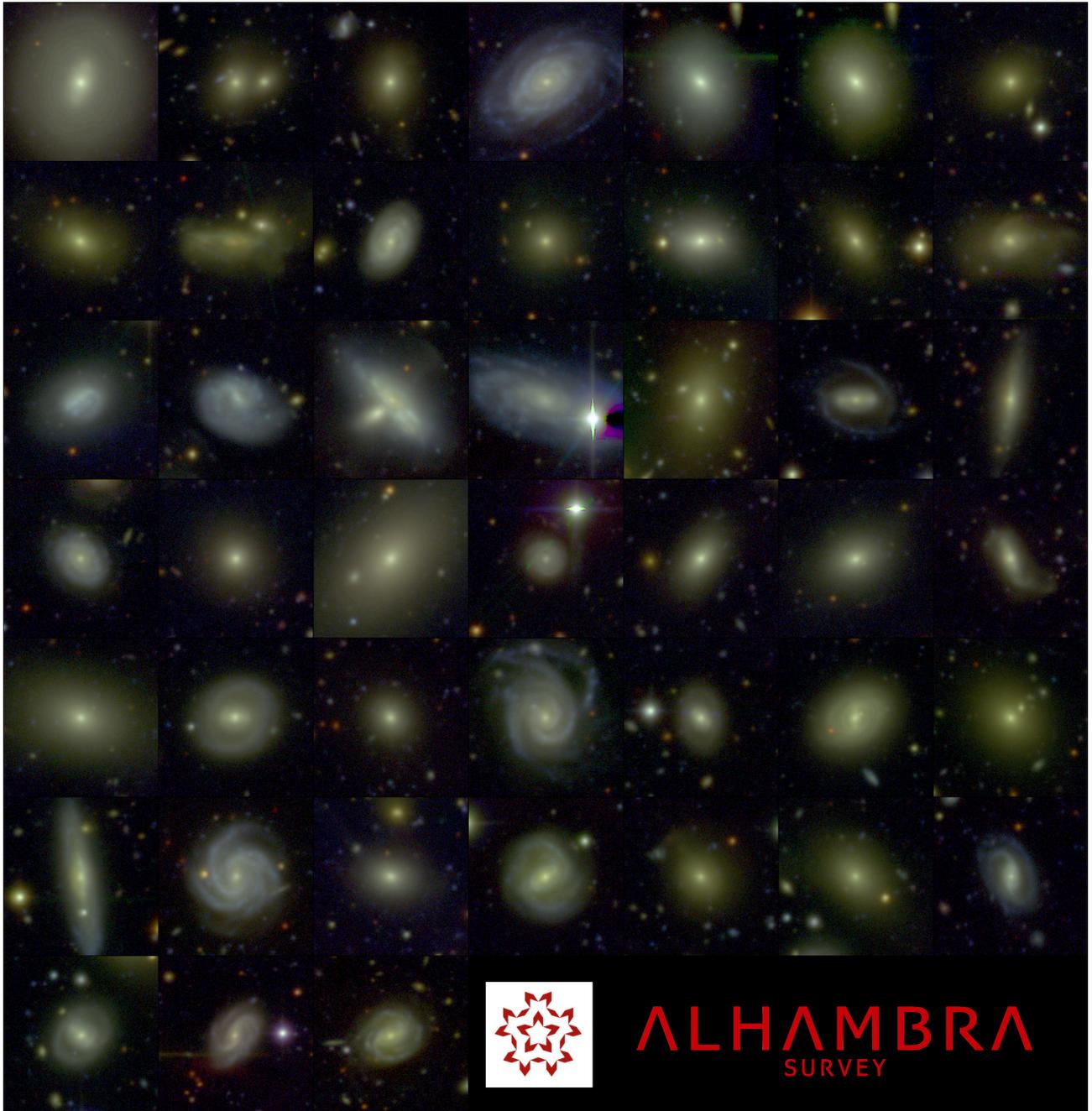


Figura 2: Relaciones color-magnitud (izquierda) y color-masa estelar (derecha) para las galaxias clasificadas como tempranas (diamantes rojos) y tardías (triángulos azules) con un nivel de contaminación por otro tipo inferior al 10%.

todo el cartografiado hemos utilizado los diagramas morfológicos y relaciones estándares en las que los que tipos tempranos y tardíos ocupan distintas regiones. La figura 2 presenta la relación color-magnitud (izquierda) y color-masa estelar (derecha) para todos los objetos tempranos (símbolos rojos) y tardíos (símbolos azules) clasificados y con contaminación inferior al 10%. La línea horizontal separa la 'secuencia roja' (región de arriba) y la 'nube azul' (abajo), donde se concentran la mayoría de las galaxias tempranas y tardías, respectivamente. Todos estos resultados se publicarán próximamente (Povic et al. 2013, MNRAS, enviado). Por otra parte, dentro del proyecto ALHAMBRA se está desarrollando un nuevo método

de clasificación morfológica basado en las bases de funciones CHEF (Jimenez-Teja & Benitez 2012, ApJ 745, 150), unas bases matemáticas ortonormales especialmente diseñadas para el modelado de galaxias y construidas usando funciones racionales de Chebyshev y series de Fourier. La idea consistirá en modelar una muestra morfológicamente bien estudiada y clasificada, como es el caso del catálogo FIGI (Baillard et al. 2011, A&A 532, A74), y usar estos modelos como nueva base (en este caso con significado físico), para ajustar los objetos observados por ALHAMBRA y proporcionar así una estimación cuantitativa del tipo morfológico que mejor se adapta a cada galaxia analizada.



Créditos: A. Molino & ALHAMBRA team.

La luz que observamos de las galaxias evolucionadas está compuesta, casi en su totalidad, por la superposición de la luz emitida por las distintas poblaciones de estrellas que la componen. En las galaxias masivas de primeros tipos (generalmente viejas y rojas en la actualidad) la mayoría de sus estrellas se forman en uno o unos pocos episodios de gran formación estelar durante los cuáles, y de forma muy eficiente, se crean las estrellas que las constituyen. Otros mecanismos acaecidos a lo largo de su evolución, como son las fusiones con otros sistemas menores, completan el censo del contenido estelar de dichas galaxias.



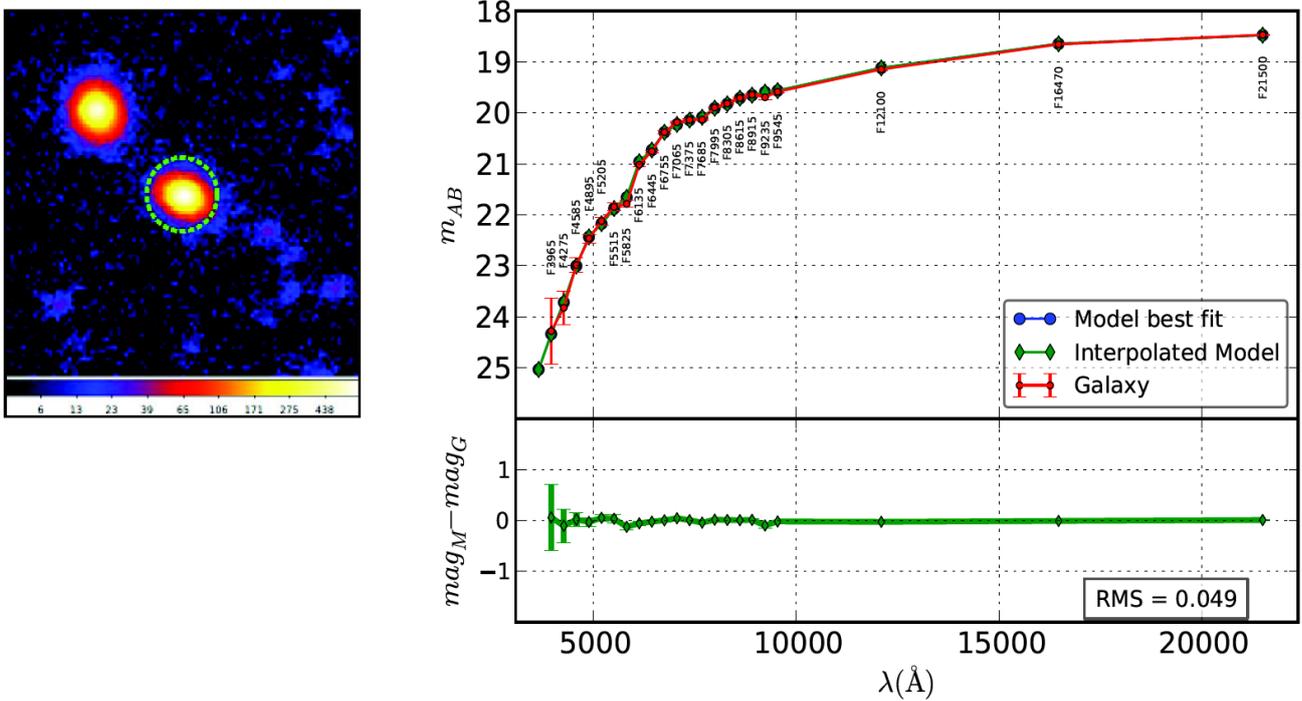
Luis A. Díaz-García
Centro de Estudios de Física
del Cosmos de Aragón.
diaz@cefca.es

Así pues, la historia evolutiva de las galaxias evolucionadas se puede explicar razonablemente mediante la combinación de poblaciones estelares simples (SSP; del inglés *Simple Stellar Populations*) de una cierta edad y metalicidad. La estimación de los parámetros de las poblaciones estelares que componen una galaxia se realiza habitualmente mediante el estudio de su distribución espectral de energía (SED; del inglés *Spectral Energy Distribution*) o mediante un estudio más detallado de ciertas zonas espectrales sensibles a los distintos parámetros (índices de intensidad de líneas).

Con decenas de miles de galaxias detectadas, ALHAMBRA constituye un conjunto de datos idóneo para estudiar, mediante el estudio de las SEDs, las poblaciones estelares de miles de galaxias evolucionadas en el intervalo de redshift $0 < z < 1.5$. ALHAMBRA dispone de 20 filtros contiguos de tipo *top-hat* con una *full width half maximum* (FWHM) de ~ 325 angstroms que cubren el rango espectral óptico (3500-9700 angstroms) y que son complementados con tres filtros J, H, Ks en el infrarrojo cercano (NIR). De modo que ALHAMBRA proporciona un foto-espectro de baja resolución en el intervalo del óptico e infrarrojo cercano, la región óptima para el estudio de las poblaciones estelares de galaxias en el Universo Local y hasta redshifts intermedios.

Las técnicas de análisis que hemos desarrollado específicamente para ALHAMBRA y otros cartografiados multi-filtro se basan en encontrar el mejor ajuste de la SED usando la mezcla de distintas SSPs. Con esta técnica, conocida comúnmente como *photo-spectral fitting*, somos capaces de recuperar los parámetros fundamentales de las poblaciones de las galaxias elípticas (redshift, edad, metalicidad, función inicial de masas estelar o IMF, masa estelar, extinción, presencia de líneas de emisión, etc.), determinando las características de sus poblaciones estelares mediante la comparación con modelos de síntesis evolutiva, como los de MIUSCAT, GALAXEV, etc. Toda esta información nos ayudará a comprender cómo las galaxias más rojas y masivas del Universo han evolucionado con el tiempo y en qué momento han sufrido los principales eventos de su formación.

Figura 1: Ejemplo de una galaxia evolucionada de primeros tipos junto con su foto-espectro en ALHAMBRA y el conjunto de SSPs que mejor describen su SED. El mejor ajuste de la SED corresponde a una población a redshift 0.495 con una edad pesada en luminosidad de 3.5 ± 1.0 Gyr, metalicidad $[Fe/H] \sim 0.4 \pm 0.1$ dex y extinción intrínseca nula.”



«Toda esta información nos ayudará a comprender cómo las galaxias más rojas y masivas del Universo han evolucionado con el tiempo y en qué momento han sufrido los principales eventos de su formación.»

Como muestra de ello, en la Figura 1 se ilustra un ejemplo de una galaxia evolucionada de primeros tipos junto con su foto-espectro en ALHAMBRA y el conjunto de SSPs que mejor describen su SED. Los resultados obtenidos hasta el momento demuestran que, con técnicas adecuadas, los cartografiados multi-filtro como ALHAMBRA permiten recuperar los parámetros fundamentales de las poblaciones estelares de galaxias a pesar de su menor resolución espectral. Si bien la incertidumbre en los parámetros determinados es mayor que para diagnósticos basados en índices de líneas espectrales, el gran volumen de datos permite obtener conclusiones significativas. De hecho, dado que cada filtro constituye una observación independiente del resto de puntos que conforman el foto-espectro, la calibración en flujo de los cartografiados multi-filtro como ALHAMBRA es mucho más precisa que en la espectroscopía convencional, lo cual es determinante a la hora de aplicar técnicas de ajuste a la SED.

Los resultados obtenidos para las galaxias masivas y evolucionadas de ALHAMBRA confirman el escenario de *downsizing* (Thomas et al. 2005, ApJ 621, 673) mediante el cual las poblaciones estelares de las galaxias más masivas se formaron en una época anterior, y en un periodo de tiempo más breve, que las de galaxias menos masivas, albergando así mismo poblaciones más ricas en metales. Es de destacar que,

para las galaxias más masivas, la presente técnica predice la existencia de IMFs con mayor proporción de estrellas de baja masa (*bottom-heavy* IMFs). Este resultado está en acuerdo con estudios espectroscópicos previos y recientes (ej. Cenarro et al. 2003, MNRAS 339, L12; Conroy & VanDokum 2012, ApJ 760, 71; Ferreras et al. 2013, MNRAS 429, 15) que ponen en entredicho la universalidad de la IMF.

Además del estudio de las propiedades integradas, ALHAMBRA proporciona un foto-espectro para cada pixel del cielo, por lo que es posible realizar estudios en 2D de poblaciones estelares dentro de las propias galaxias, como si se tratara de una unidad de campo integral (IFU; del inglés *Integrated Field Unit*), lo que permite contrastar los resultados con las principales teorías de formación de galaxias, así como la importancia de las fusiones menores en el crecimiento en tamaño de las galaxias de primeros tipos desde épocas tempranas. En este sentido, se está realizando una teselación de las imágenes en 2D, definiéndose regiones con similar señal a ruido que permitan la obtención fiable de las poblaciones estelares dentro de la galaxia. A modo ilustrativo, en la Figura 2 se muestra la teselación (panel izquierdo) y el consiguiente gradiente de metalicidad de las partes más externas (panel derecho) obtenido para una galaxia elíptica de ALHAMBRA a partir de la técnica presentada.

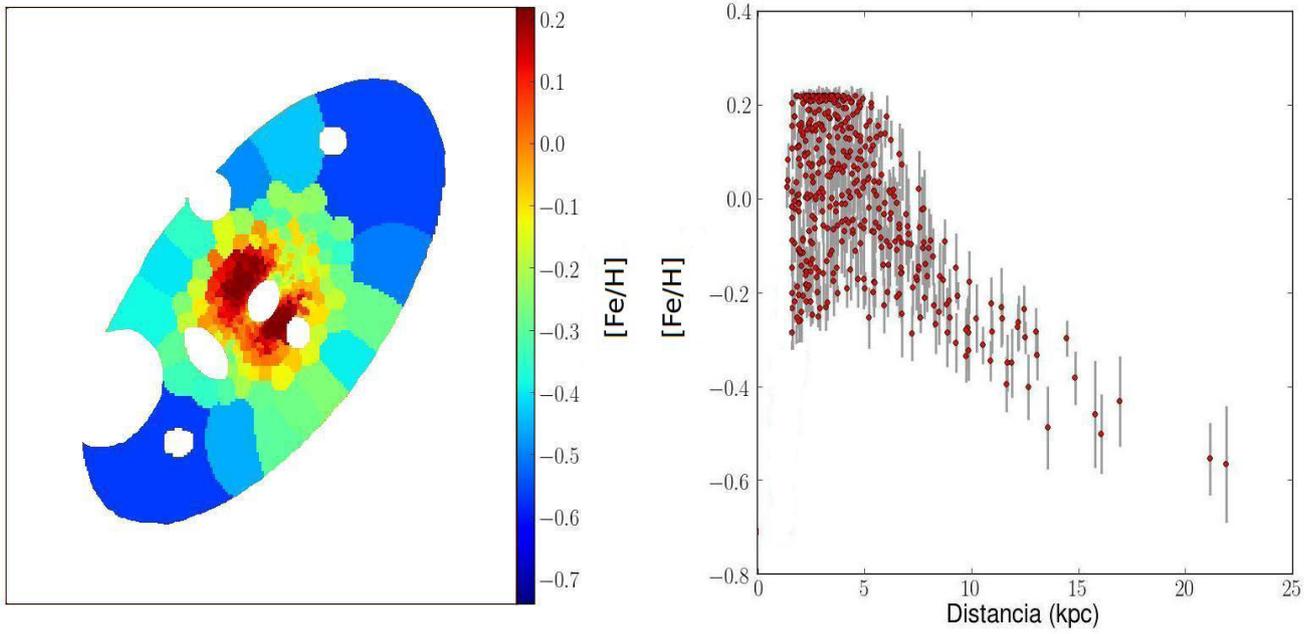


Figura 2: Estudio de las poblaciones estelares en 2D de una galaxia de ALHAMBRA. Panel izquierdo: teselación para una galaxia elíptica a partir de la técnica descrita en el texto. Panel derecho: gradiente de metalicidad de las partes más externas de la galaxia.

FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN

Si contamos con una muestra de galaxias para las que disponemos de su distancia a nosotros, es posible medir qué cantidades de ellas aparecen en función de sus propiedades básicas, como puede ser la luminosidad o la masa estelar. Si además tenemos información morfológica, espectral, o de densidad, podemos segregar la muestra y analizar las diferencias en función de tipos, épocas, y otros parámetros.



Alberto Fernández Soto
Instituto de Física de Cantabria
fsoto@ifca.unican.es

Dada una población de galaxias o de cualquier otro objeto cósmico, una de las primeras distribuciones que se pueden estudiar es el número de ellos que presentan un cierto brillo aparente por unidad de área angular en el cielo. En este caso, en astronomía hablamos del número de cuentas. Es una magnitud básica, que para galaxias se ha medido desde los orígenes de la Cosmología en la primera mitad del siglo XX, y que permite (o, quizás mejor dicho, podría permitir) algunos ejercicios básicos para la medida de parámetros cósmicos (por ejemplo, Fukugita et al. 1990, ApJ 361, L1).

Estos tests históricos son en realidad mucho más difíciles de llevar a cabo de lo que podría parecer en principio, por ejemplo debido a la evolución de las propias galaxias en el tiempo y (en el caso de observaciones profundas) a la variación de sus espectros por efecto del corrimiento al rojo. Ambos problemas pueden ser hasta cierto punto aliviados utilizando cuentas de galaxias en bandas del infrarrojo cercano, o combinando cuentas en dos bandas (por ejemplo B y Ks). Este ejercicio fue uno de los primeros trabajos publicados con datos de ALHAMBRA (Cristóbal-Hornillos et al. 2009, ApJ 696, 1554, ver Figura 1) y probó la validez de los datos para obtener algunas medidas cosmológicas y validar o falsificar modelos de formación y evolución de galaxias.

No obstante, las cuentas de galaxias se basan en la magnitud observada, es decir, en una propiedad extrínseca a la propia galaxia. En caso de conocer el redshift del emisor, podemos calcular su magnitud absoluta, que ya es una propiedad intrínseca. Además, conocer la distribución espectral de energía permite corregir también las variaciones inducidas por el corrimiento al rojo, y obtener datos de todas las galaxias en el mismo filtro y bajo las mismas condiciones. En este caso, podemos calcular la función de luminosidad: el número de galaxias que presentan una cierta luminosidad por unidad de volumen. Podemos segregar además esta función por tipos de galaxia, o por su distancia espacio-temporal hasta nosotros. Finalmente, si disponemos de estimaciones fiables de otros parámetros físicos a partir de la información espectral de cada objeto, podremos construir funciones de distribución para otras magnitudes (por ejemplo, la masa estelar o la tasa de formación estelar) y segregarlas o combinarlas entre sí.

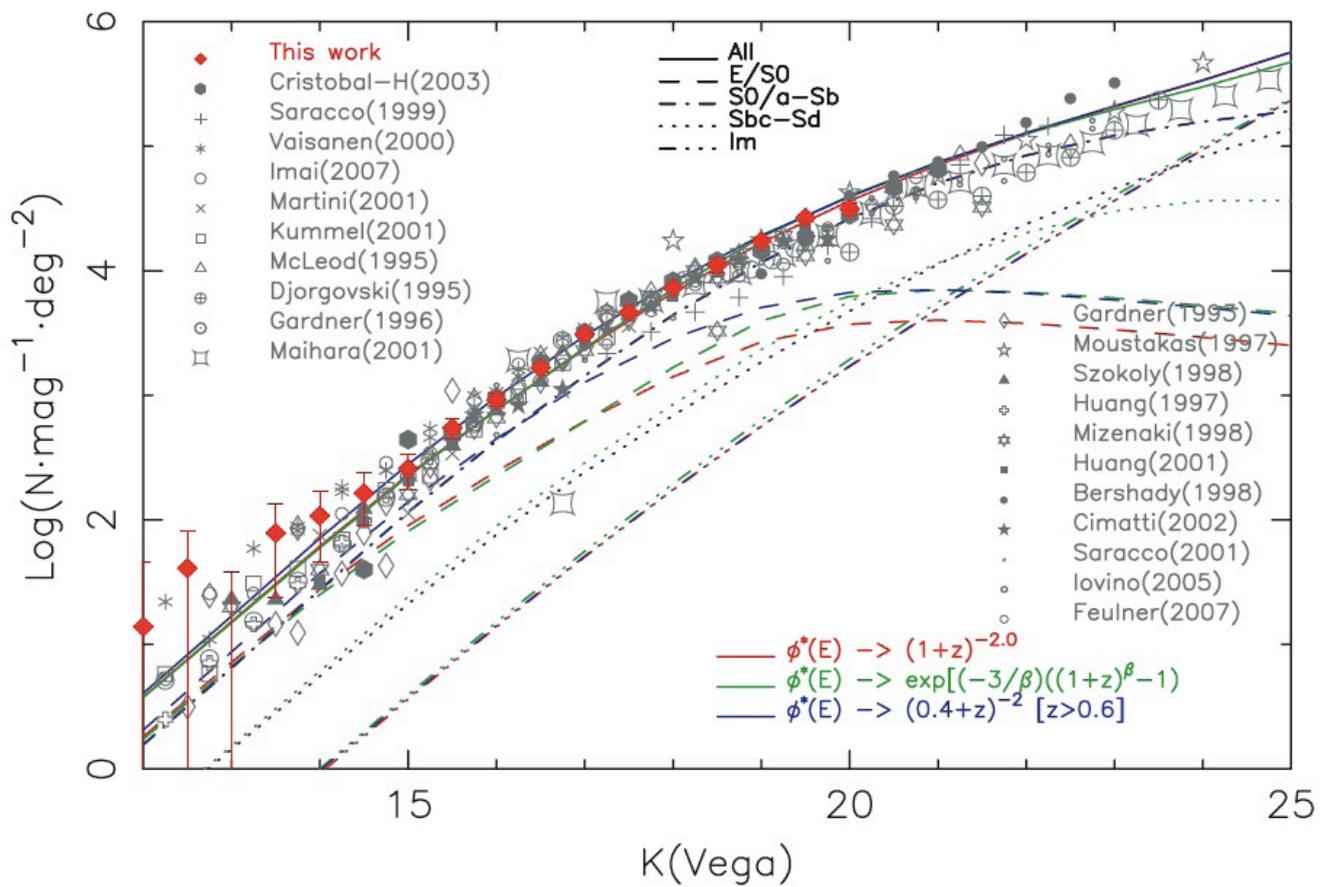


Figura 1: Cuentas de galaxias en el NIR para ALHAMBRA, y comparación con otras observaciones y diversos modelos.

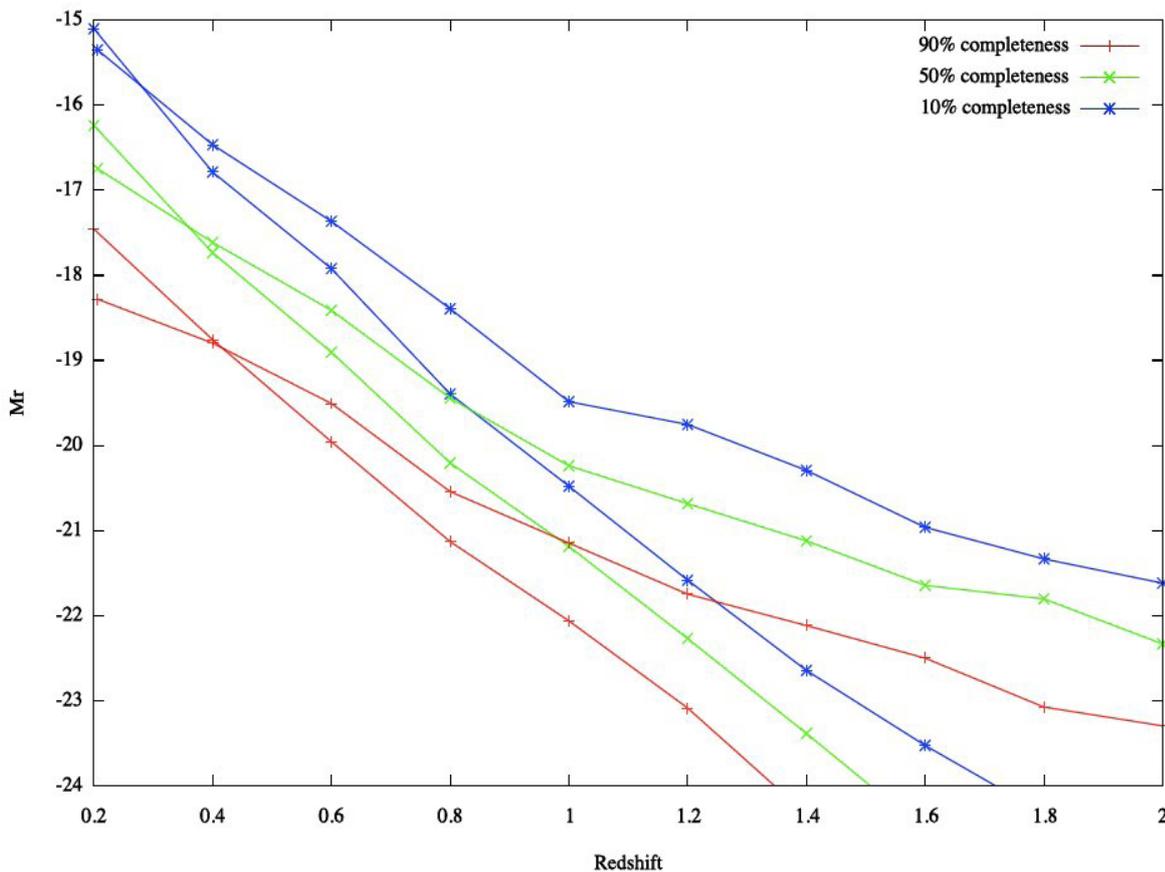
Evidentemente, si queremos medir esta función de modo fiable necesitaremos asegurar una serie de condiciones:

- 1) Homogeneidad de la muestra. En el caso de ALHAMBRA disponemos de medidas en ocho campos independientes. Las observaciones han sido diseñadas de modo que sean idénticas en cada campo. No obstante, las condiciones de observación han sido diferentes en cada caso, lo que hace que cada campo deba estudiarse teniendo en cuenta sus propios parámetros: magnitud límite en cada filtro, seeing promedio, etc.
- 2) Completitud. Para calcular con precisión las funciones de luminosidad, en particular en el límite cercano a los límites de detección de la muestra, es esencial conocer la completitud de los datos.

En el caso de ALHAMBRA, un survey basado en información en muchas bandas, el cálculo de la completitud es particularmente complejo. Un ejemplo del aspecto que tienen estas funciones de completitud se puede ver en la Figura 2, extraída de la Tesis Doctoral de Mauro Stefanon (Universitat de València, 2011).

- 3) Estadística: Los redshifts fotométricos de ALHAMBRA se calculan utilizando un método bayesiano (Benítez 2000, ApJ 536, 571) que utiliza precisamente como priors para el cálculo las funciones de luminosidad de diferentes tipos galácticos. Por tanto, el análisis de la función de luminosidad tiene que tener esto en cuenta a la hora de hacer los cálculos, para no correr el riesgo de recuperar la información introducida en el prior.

Figura 2: Completitud en ALHAMBRA como función de redshift a diferentes niveles para galaxias azules (líneas superiores) y rojas (líneas inferiores)..

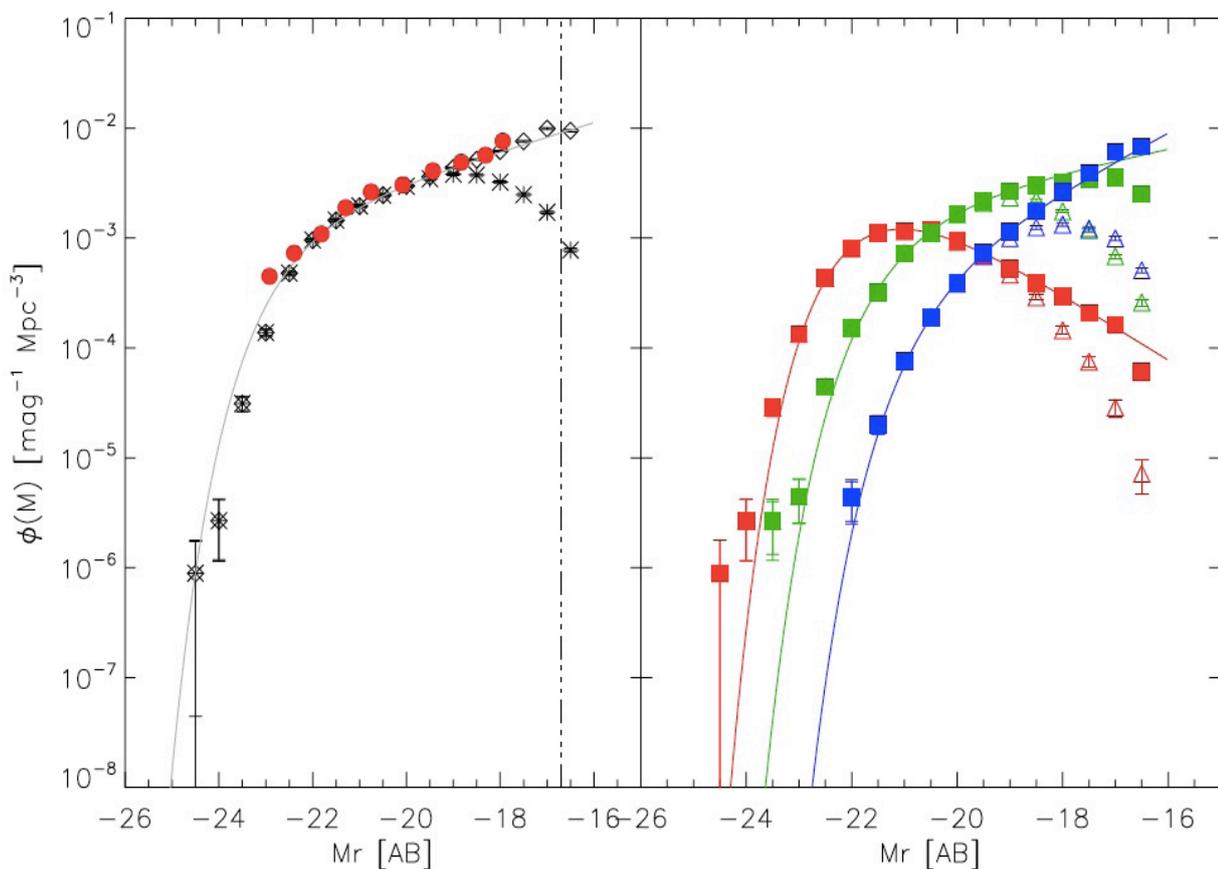


Varios grupos dentro de ALHAMBRA estamos trabajando en el análisis de funciones de distribución. Como ejemplo, los primeros resultados preliminares (de nuevo a partir de la tesis doctoral de Mauro Stefanon, ver Figura 3) muestran que es posible obtener para galaxias normales buenas medidas que cubren el intervalo de redshift $z=0.3\text{--}1.5$, incluyendo la segregación en tipos espectrales.

Estos resultados se alcanzan con una cuidadosa estimación de la homogeneidad y de la completitud de las muestras, pero deben aún ser perfeccionados en lo que se refiere a posibles sesgos producidos por el uso de priors en la obtención de los redshifts fotométricos. Los principales resultados que esperamos obtener de ALHAMBRA en este área se refieren, por supuesto, a las propias

funciones de luminosidad segregadas, pero también a la combinación de estos datos con los datos referentes a la densidad local de galaxias, a las funciones de masa estelar (a partir de los estudios cuasi-espectroscópicos que permiten los 23 filtros de ALHAMBRA), y a las funciones de luminosidad de objetos particulares, como pueden ser galaxias Lyman-break seleccionadas a $z>2$ y cuásares.

Figura 3: Función de luminosidad medida con ALHAMBRA en el intervalo de redshift $z=0.3\text{--}0.6$, para la muestra global (izquierda) y segregada en galaxias rojas, intermedias, y azules (derecha).



CÚMULOS DE GALAXIAS EN ALHAMBRA

Los cúmulos de galaxias son los objetos más masivos que existen en el Universo. Con masas que oscilan desde 10^{14} a varias veces $10^{15} M_{\odot}$ y que pueden llegar hasta $3-4 \times 10^{13} M_{\odot}$ para las estructuras más pequeñas (llamadas grupos de galaxias), estos objetos contienen entre decenas a miles de galaxias, gas caliente entre las galaxias y una gran cantidad de materia oscura.

Abell y Zwicky compilaron los primeros catálogos de cúmulos y grupos de galaxias obtenidos mediante detección visual de sobredensidades de galaxias en los años 60, que fueron usados durante casi 40 años. El interés que suscitaron estos catálogos de cúmulos fue enorme. En primer lugar, se observó que las propiedades medias de las galaxias de los cúmulos eran diferentes a las galaxias “normales” (o de campo). En general, las galaxias de los cúmulos suelen ser más rojas y más viejas, con características morfológicas de elípticas y con una galaxia central conocida normalmente como la galaxia más brillante del cúmulo (BCG en inglés) que presenta propiedades todavía más diferentes a cualquier otra galaxia del Universo. Es más, estas propiedades cambian con su edad o distancia a nosotros. Por ejemplo, la fracción de galaxias azules en el cúmulo crece con el redshift. Así, como medio para estudiar galaxias en diferentes entornos, los cúmulos resultan muy interesantes.

Por otra parte, con la elaboración de modelos cosmológicos que tratan de estudiar como se forma y evoluciona el Universo y las estructuras que contiene, se postuló que muchos de los objetos que hoy vemos en el Universo se habrían formado a partir de pequeñas fluctuaciones en la densidad inicial del Universo. Al ser los cúmulos las estructuras más masivas, el conteo de éstos en función de su masa y redshift en grandes regiones del Universo resultaría muy interesantes para corroborar o no diferentes modelos cosmológicos.

El estudio de los cúmulos a gran escala (en grandes y/o profundos cartografiados) no comenzó hasta bien entrados los años 90. Consecuentemente, se empezaron a elaborar los primeros métodos para detectar cúmulos en estas grandes regiones. Inicialmente, estos métodos contaban con información limitada (generalmente fotometría en una banda, ausencia de información espectroscópica, baja resolución espacial), por lo que casi todos los métodos habían de ser únicamente geométricos, lo que llevaba a incluir una alta tasa de contaminación.

Sin embargo a lo largo de los años, los cartografiados han ido incrementando su calidad proveyendo por una parte información multibanda, que a su vez permite obtener redshifts fotométricos de calidad y



Begoña Ascaso
CSIC / Instituto de
Astrofísica de Andalucía
ascaso@iaa.es

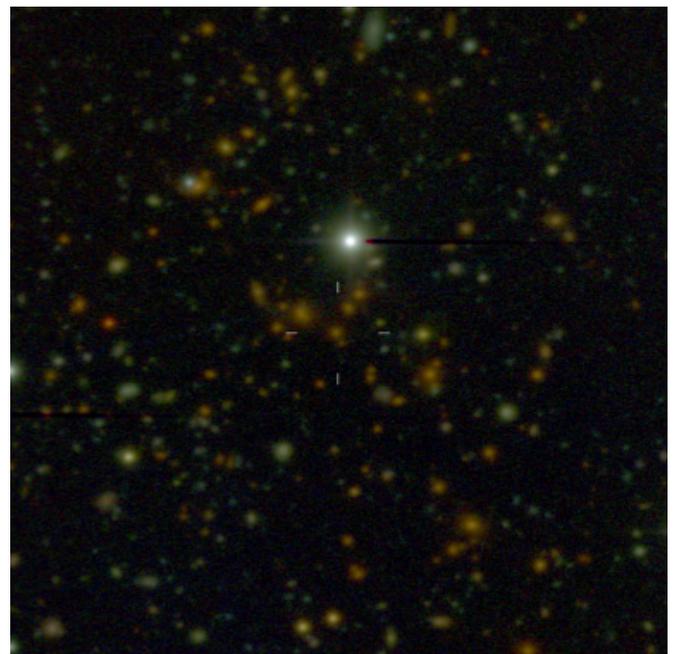
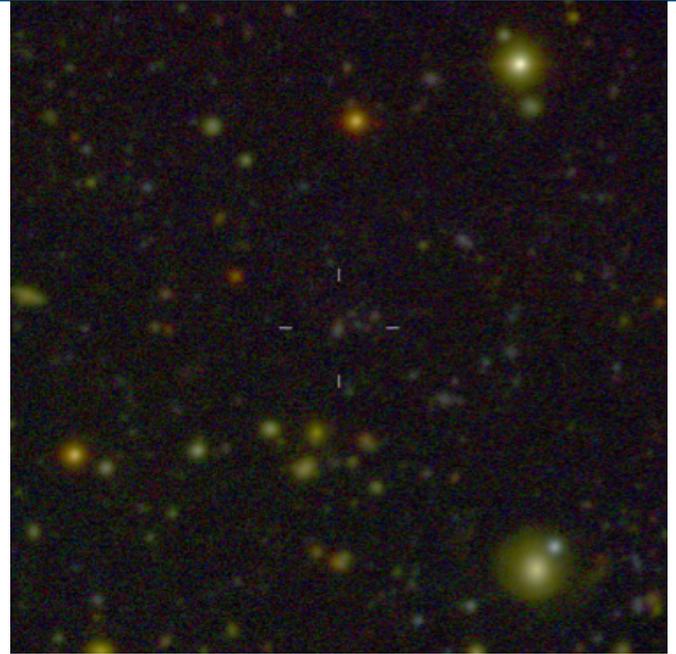
por otra, favoreciendo la obtención de áreas grandes y profundas al mismo tiempo. Así, los métodos de detección de cúmulos han aprovechado estas nuevas características de los cartografiados y han introducido la modelización de propiedades intrínsecas de los colores de las galaxias, el uso de redshifts fotométricos, o la evolución de modelos con el redshift, produciéndose detecciones con mucha menos contaminación y una mayor sensibilidad hasta masas más bajas o redshifts más altos.

Uno de estos nuevos cartografiados es ALHAMBRA, que cubre tres grados cuadrados en siete campos diferentes con 20 bandas estrechas más tres bandas infrarrojas proporcionando una cobertura espectral óptima para conseguir una resolución de redshift fotométrico de gran calidad.

Para detectar cúmulos de galaxias en cartografiados de alta calidad como ALHAMBRA, hemos desarrollado una herramienta llamada el detector de cúmulos bayesiano (BCF, de sus siglas en inglés), con el que somos capaces de detectar estructuras con una tasas de completitud y pureza $>80\%$ hasta límites mucho más bajos de masa en relación con otros cartografiados ($\sim 5-6 \times 10^{13} M_{\odot}$). Ésta es una de las grandes ventajas de ALHAMBRA respecto a otros cartografiados.

Así, encontramos en ALHAMBRA más de 400 cúmulos y grupos. En las figuras podemos observar algunas imágenes en color de cúmulos de ALHAMBRA. Estas estructuras nos están revelando características muy interesantes como posibles poblaciones de galaxias azules en cúmulos a alto redshift (arriba a la derecha), estructuras muy masivas para su edad evolutiva (centro), o grupos a redshift moderados (abajo a la derecha).

Finalmente, el estudio de la variación de las propiedades de estas estructuras en los siete campos diferentes de ALHAMBRA debido a la varianza cósmica permitirá obtener una caracterización robusta de las propiedades de cúmulos y grupos, en particular, aquellos menos explorados en un rango de masas bastante menor que cualquier otro cartografiado hasta la fecha. Nos esperan tiempos emocionantes.



La importancia cosmológica de los agujeros negros supermasivos ($M \sim 10^6\text{-}10^9 M_{\odot}$, SMBH por sus siglas en inglés) se ha multiplicado en los últimos 15 años. Su presencia en el centro de todas las galaxias masivas del universo local, así como las correlaciones encontradas entre la masa del agujero negro y las propiedades intrínsecas (luminosidad, masa y dispersión de velocidades) del bulbo de sus galaxias huésped, indican una fuerte simbiosis entre la formación y crecimiento del agujero negro y el de la componente esferoidal de la galaxia huésped. De esta forma, los modelos modernos de formación y evolución de galaxias tienen que incluir el “efecto” (i.e. retroalimentación o inyección de energía) del agujero negro sobre su entorno para poder reproducir el mayor número de observables.



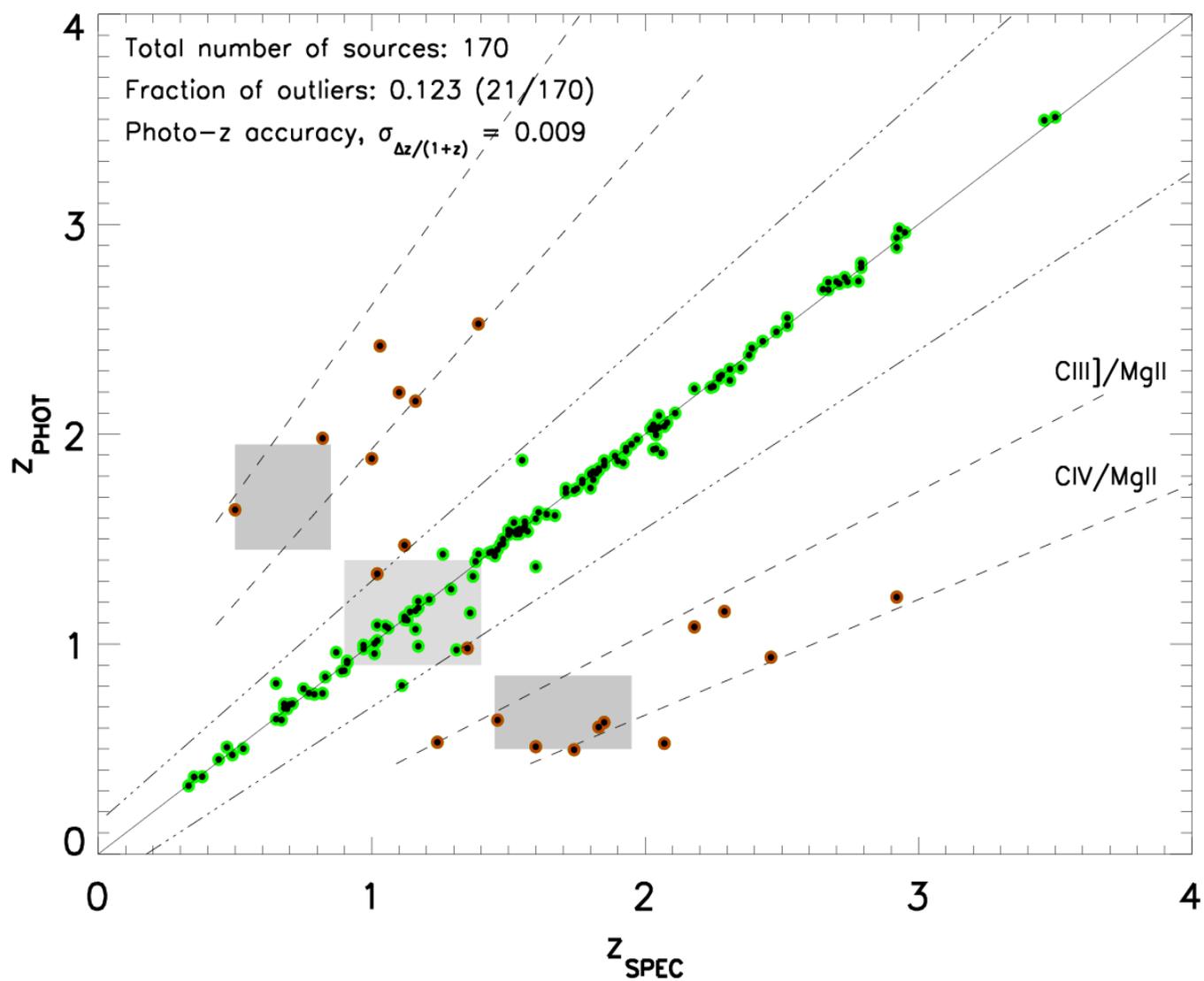
Israel Matute Troncoso
CSIC / Instituto de
Astrofísica de Andalucía
matute@iaa.es

Cuanto mejor sea nuestro conocimiento demográfico de los agujeros negros y sus cambios a lo largo del tiempo cósmico, mejor será nuestra comprensión de la evolución del universo desde el colapso de las primeras estructuras hasta su configuración actual.

La masa del agujero negro se incrementa fundamentalmente en fases de acrecimiento de materia durante las cuales la fuente central se revela como un núcleo de galaxia activo (AGN por su acrónimo en inglés). La liberación de la energía gravitatoria durante estas fases es el mecanismo responsable de las altas luminosidades características de las AGN. Las AGN con luminosidades más extremas, los quasáres (o QSOs), han podido ser observadas cuando el universo tenía sólo una fracción ($\sim 10\%$) de su edad actual, permitiéndonos sondear las condiciones físicas (e.g. metalicidades, fracción de H neutro, contenido en polvo) del mismo durante su infancia. El mapeado de la actividad AGN a lo largo del tiempo cósmico es el primer paso para entender los mecanismos responsables de la relación entre el agujero negro y el bulbo que lo hospeda.

Un modo útil de describir la actividad AGN a través del tiempo cósmico es a través del estudio de su función de luminosidad (FL). La forma (caracterizada por una doble ley de potencia y por una luminosidad característica L^* a cada z), normalización y evolución de dicha FL puede ser usada para acotar los diferentes modelos existentes de evolución de galaxias. Gracias a los avances de cartografiados cosmológicos en los últimos 10 años (e.g. SDSS, 2dF, CFRS, VVDS, COSMOS, GOODS, etc), el número de AGN/QSO identificados espectroscópicamente en el óptico con $0 < z < 5$ se cuenta por decenas de miles. Esto ha hecho que la FL de las AGN en dicho intervalo esté bien determinada. Sin embargo, debido fundamentalmente a la preselección de los candidatos a AGN/QSO en colores con filtros de banda ancha, y dependiendo del intervalo de luminosidad y z considerado, la completitud de las muestras puede llegar a ser tan baja como un $\sim 30\%$ debido a la alta contaminación por otro tipo de objetos. Para $z > 5$, la incertidumbre sobre la FL es muy significativa al ser la estadística demasiado pobre (~ 300 AGNs con $z > 5$ de los cuales sólo ~ 40 con $z > 6$), lo que es especialmente severo para los objetos por debajo de la luminosidad característica.

Figura 1



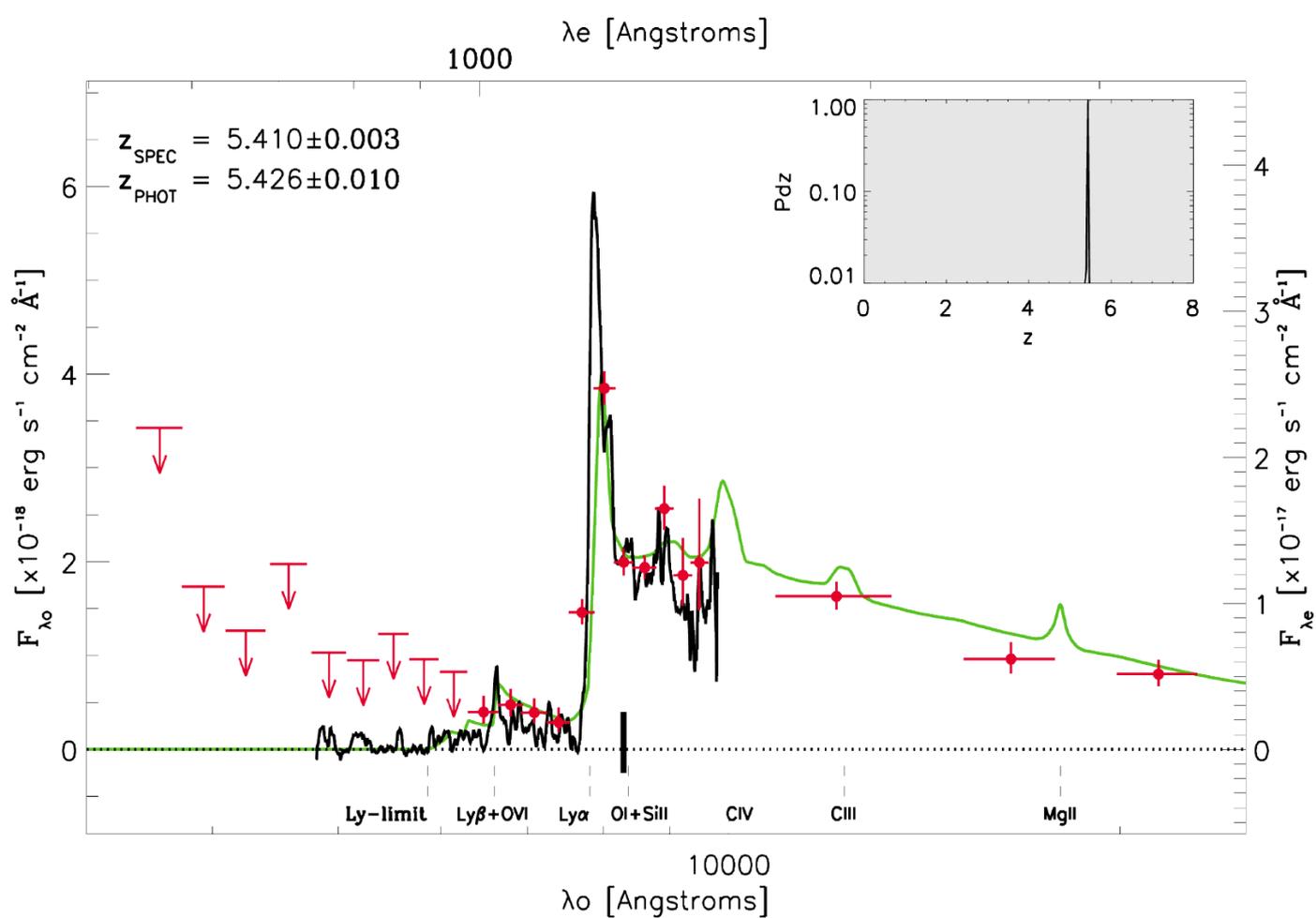


Figura 2

El equipo de AGNs de la colaboración ALHAMBRA tiene como objetivo último y fundamental mitigar en gran medida los efectos clásicos de selección presentes en las muestra ópticas de AGN con el fin de proporcionar a la comunidad científica un catálogo de objetos activos lo más completo posible cubriendo el intervalo de z entre 0 y 6. Esto sentará las bases para poder estudiar con la mayor estadística posible, y sobre el intervalo de luminosidades más amplio posible, la historia del acrecimiento de los SMBH y la interacción con las galaxias huésped. Para alcanzar este objetivo, la capacidad de la fotometría de ALHAMBRA para proporcionar espectros de muy baja resolución en todo el rango óptico (3500-9500Å) la convierten en una herramienta fundamental para poder identificar la población de AGNs y ubicarla en el marco cosmológico a través de unos z fotométricos con excelente precisión.

Como primer paso hemos caracterizado el potencial real de la fotometría de ALHAMBRA para la identificación y asignación de un z fotométrico de AGN con líneas anchas (BLAGN por sus siglas en inglés) y QSOs. Este subgrupo de AGNs (las BLAGN y QSOs) nos proporcionan una línea casi directa de observación al agujero negro central, al gas altamente ionizado que gira a su alrededor presentando así espectros ópticos intensos, continuos muy azules y con intensas líneas en emisión ensanchadas por efecto Doppler por el gas con velocidades superiores a los 2000 km/s. Para un conjunto de 170 BLAGN/QSO (en el rango $0 < z < 4$ y $R_{\text{sloan}} < \sim 24$) conocidos previamente en los campos de ALHAMBRA, se ajustó (usando el código público LePhare, ver Matute et al. 2012, A&A 542, 20) la fotometría preliminar de ALHAMBRA a una librería de distribuciones espectrales de energía (SED por sus siglas en inglés) en la que se incluyen AGNs, galaxias pasivas, galaxias con formación estelar y estrellas de todos los tipos espectrales. El resultado obtenido es muy prometedor, el 88% de las fuentes fueron clasificadas correctamente como BLAGN/QSO con un error en el z fotométrico por debajo del 1% (Figura 1). Las causas del 12% de los objetos con identificación erró-

nea son problemas en la fotometría de ALHAMBRA, la imposibilidad de corregir la fuerte variabilidad de algunos objetos o a la incorrecta asignación del z espectroscópico del AGN debido a la presencia de una sola línea de emisión en el intervalo cubierto por el espectro óptico. Toda información vital que, unida al análisis que actualmente estamos haciendo de la completitud fotométrica, nos permitirá completar el catálogo de BLAGN/QSO y calcular su FL. Estimamos descubrir entre 500 y 1500 QSOs adicionales con $r_{\text{sloan}} < 23$ en el total del área cubierta por ALHAMBRA.

Paralelamente al estudio de la FL de BLAGN/QSO brillantes, hemos empezado un programa piloto para la identificación de QSOs a altísimos desplazamientos al rojo ($z > 5$). Sólo unas pocas decenas de objetos se conocen a estos z por lo que muy poco se sabe de su número real y distribución en luminosidades. La presencia de este tipo de objetos (con masa de su agujero negro central entre 10^7 y 10^9) en un universo tan joven representa un gran desafío para los modelos de evolución de galaxias. Además, su similitud con objetos mucho más cercanos abre muchas incógnitas y nuevas posibilidades respecto a la generación de metales o de polvo en edades tan tempranas.

Aplicando la metodología descrita anteriormente hemos podido identificar 3 candidatos (con magnitudes $r_{\text{sloan}} > 22.5$) sobre un área de 1 grado cuadrado. El seguimiento de los candidatos con el espectrógrafo OSIRIS del telescopio GTC permitió la confirmación de uno de ellos como un QSO a $z_{\text{SPEC}} = 5.41$, ALH023002+004647 (Matute et al. 2013, A&A, enviado). Su espectro, junto a la fotometría de ALHAMBRA, se muestra en la Fig. 2. Con una masa de agujero negro de $10^8 M_{\odot}$ y una luminosidad bolométrica de $2 \cdot 10^{46}$ erg s^{-1} , ALH023002+004647 es uno de los QSO más débiles que se conocen por encima de $z=5$. Aunque la detección de ALH023002+004647 no puede acotar la forma de la FL a $z > 5$ y bajas luminosidades (y a falta del análisis final sobre todos los campos de ALHAMBRA) nos demuestra cómo un cartografiado optimizado puede proporcionar una gran información sobre el origen y la evolución de este tipo de objetos.

OBJETOS EXTREMADAMENTE ROJOS EN ALHAMBRA

En 1988 los astrónomos estadounidenses Richard Elston y George y Marcia Rieke, publicaron un artículo en el que se daba a conocer a la comunidad científica el hallazgo de una pequeña población de galaxias no detectadas hasta la fecha. Estos objetos se caracterizaban por tener un color muy rojo (concretamente $R-K > 5$). Con la elaboración de nuevos surveys más profundos se pudo constatar que esta población era muy significativa y además incluía objetos de distinta naturaleza, algunos de los cuales eran objetos a alto redshift, mientras que otros eran objetos intrínsecamente enrojecidos (Cimatti et al. 2002, A&A 381, L68).



Lorena Nieves
Instituto de Física de Cantabria /
Observatori Astronòmic de la
Universitat de Valencia
lorena.nieves@uv.es

Gracias a su diseño, ALHAMBRA ofrece la posibilidad de buscar objetos en banda Ks no detectados en la imagen de detección F814W, una imagen sintética producto de la suma de varios filtros centrados en los 8140 Å, que ha sido usada en el catálogo fotométrico del survey. El trabajo que hemos hecho consiste en desarrollar una estrategia que permita detectarlos, hacer la fotometría de cada uno de ellos en todos los filtros de ALHAMBRA y ajustar dicha fotometría de manera que podamos clasificarlos y caracterizarlos.

Para ello construimos una máscara con la imagen de detección de ALHAMBRA, la imagen F814W (desarrollada por Alberto Molino), utilizando el mapa de segmentación que SExtractor devuelve de la imagen. Con la imagen convolucionada con una gaussiana para evitar detecciones espurias de fuentes muy luminosas, podemos crear una máscara de unos (ruido) y ceros (fuente), que al aplicarla sobre cualquier otra imagen oculte las fuentes ya detectadas. De esta manera, si aplicamos dicha máscara sobre la imagen Ks, podremos detectar fuentes en el infrarrojo cercano no detectadas en el catálogo de ALHAMBRA.

Para asegurarnos de la fiabilidad de los objetos detectados, hemos tenido que eliminar objetos espurios debidos a restos de estrellas muy saturadas o a fuentes detectadas en los bordes de las imágenes que no se han considerado para así eliminar posibles efectos de bordes en las CCD. Hasta ahora hemos detectado 4093 objetos con el 70% de imágenes del survey analizadas, unos 140 objetos de media en cada CCD (variando entre los 73 y los 230 según el campo considerado y el apuntado).

Una vez detectados, hemos hecho la fotometría de esta muestra en los 23 filtros de ALHAMBRA (Fig. 1) utilizando SExtractor en forma dual, esto es, detectando sobre la imagen enmascarada y midiendo en cada una de las imágenes correspondientes a cada filtro. De esta forma, conseguimos obtener una medida en cada filtro de las fuentes, de manera que luego las podamos utilizar para ajustar los resultados al mejor espectro.

Hemos representado algunas de estas fuentes en un diagrama color-magnitud (Fig. 2, en rojo) junto con las fuentes ya incluidas en el catálogo que utiliza la imagen en el filtro F814W como imagen de detección (azul y negro). Observamos en esta figura que estas fuentes no están detectadas en este filtro, como era de esperar; pero si están dentro del límite de detección de Ks. Esperamos obtener alrededor de 6000 cuando el análisis esté completo.

El siguiente paso que daremos será compilar el catálogo fotométrico completo de EROs para poder caracterizarlos. Hasta ahora, la mayoría de objetos analizados son fuentes que ajustan a galaxias elípticas o envejecidas a redshift $z \sim 1-2$ (Fig. 3). Esperamos encontrar también objetos a alto redshift.

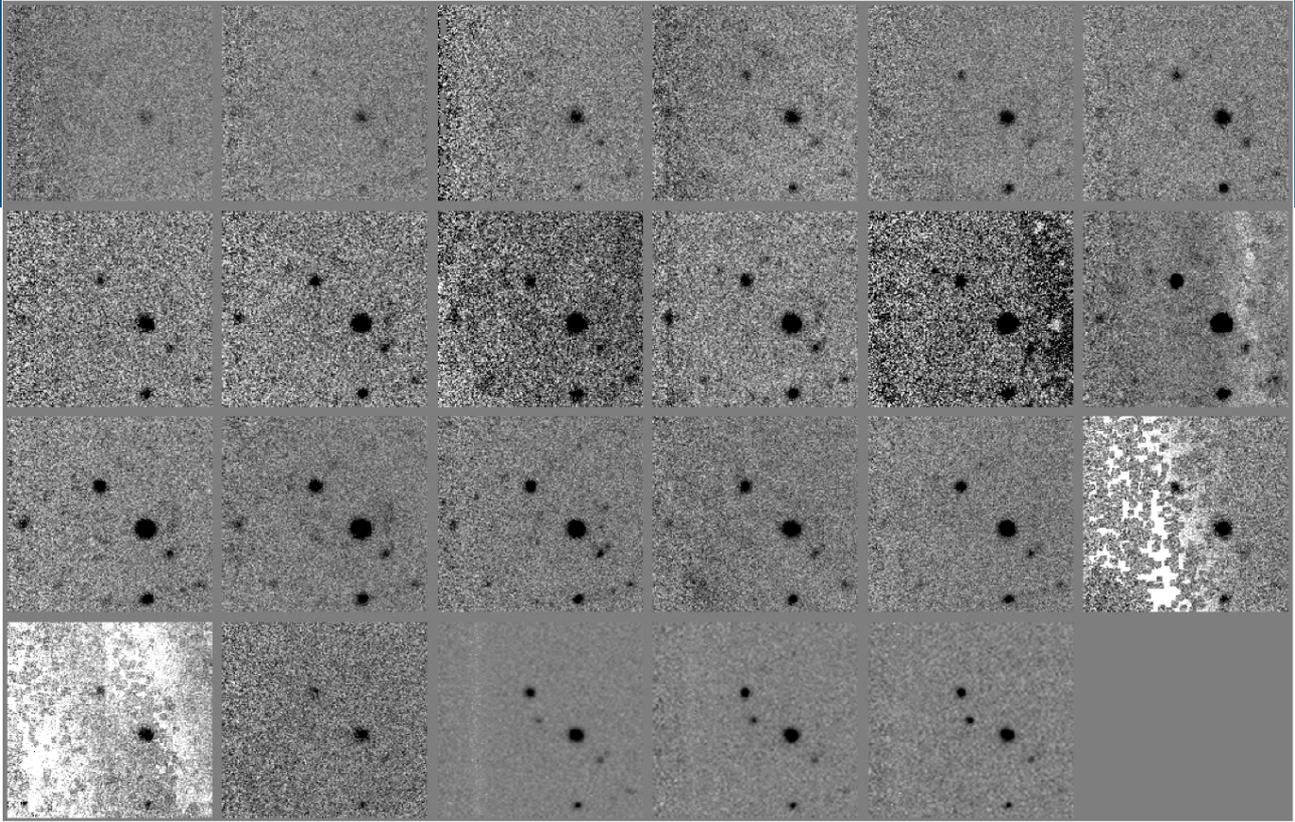


Figura 1. Ejemplo de objeto detectado en Ks, observado en todos los filtros de ALHAMBRA. Las 23 imágenes corresponden a los 23 filtros de ALHAMBRA, en orden de longitud de onda creciente. Las tres últimas son JHKs.

Figura 2. Diagrama color-magnitud correspondiente a uno de los CCDs de ALHAMBRA. Contiene aproximadamente 9000 objetos detectados en F814W (puntos negros y azules), y unos 100 detectados en banda Ks (puntos rojos).

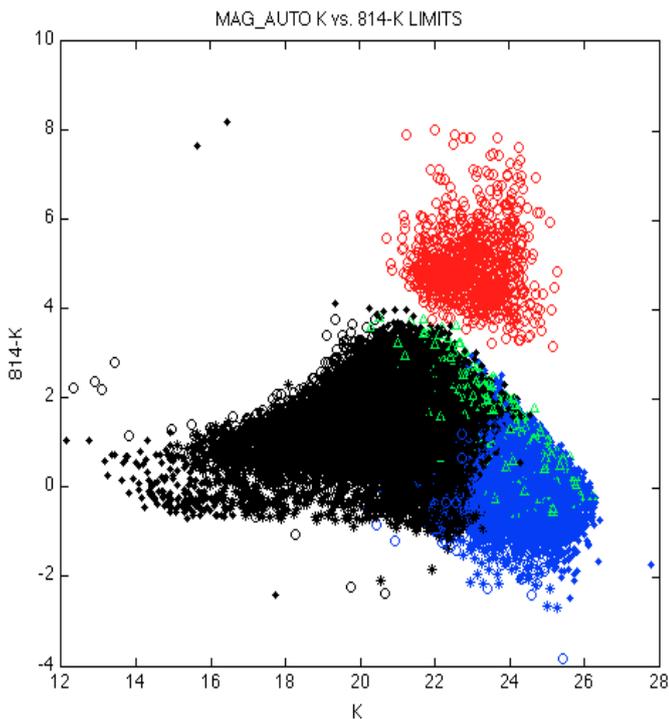
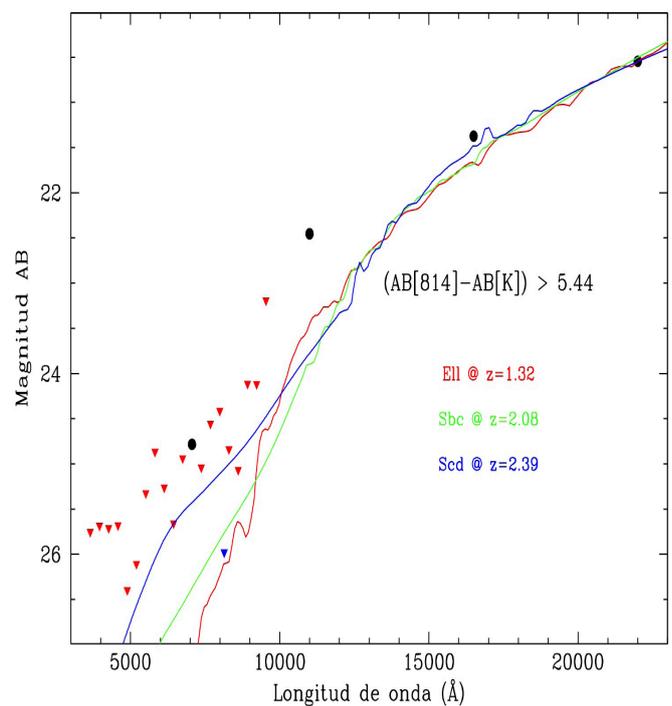


Figura 3. Distribución espectral de energía del objeto presentado en la Figura 1. Los filtros en que se detecta flujo por debajo de 3σ se representan como límites inferiores a la magnitud (triángulos rojos). Cabe destacar que en el filtro a $\lambda \sim 7000\text{\AA}$ (que aparece como detección) el flujo supera sólo marginalmente el nivel 3σ . A modo de ejemplo presentamos tres espectros que reproducen los datos: una galaxia elíptica a redshift $z=1.32$, una Sbc a $z=2.08$, y una Scd a $z=2.39$. El límite azul corresponde al filtro sintético F814W (no usado en el ajuste), y parece favorecer el caso de la galaxia elíptica.

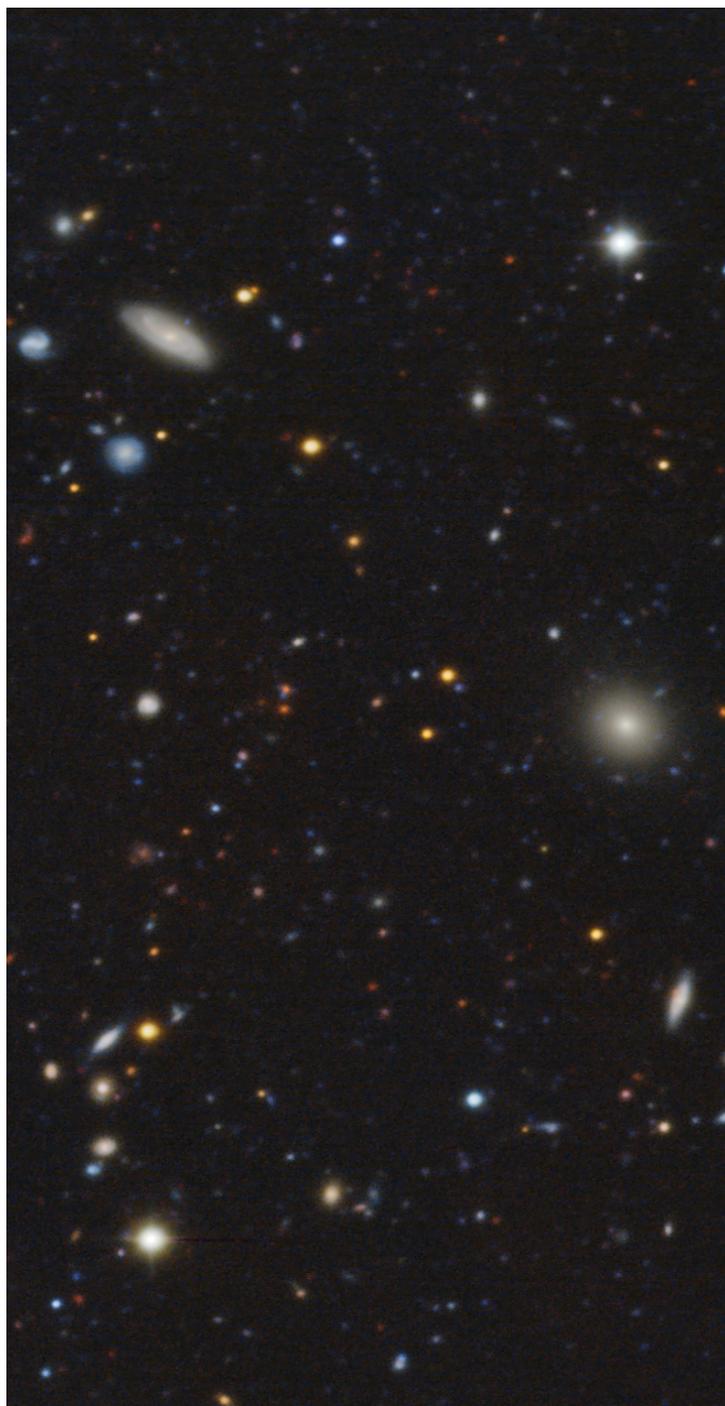


ALHAMBRA GOLD SAMPLE

Aprovechamos la publicación de este número especial del Boletín de la SEA para anunciar también la primera release de datos de ALHAMBRA, inicialmente destinada al ALHAMBRA Extended Team, que incluye a una buena parte de los miembros de la SEA y lectores de este Boletín.

Este primer conjunto de datos será accesible a partir de nuestra página web (www.alhambrasurvey.com) y contiene datos de aproximadamente 100,000 galaxias, seleccionadas como una muestra completa en flujo a partir de la imagen sintética F814W, con $AB(8140) < 23$. Para cada objeto se incluye la información astrométrica, información morfológica básica a partir de SExtractor, e información fotométrica en las 20 bandas intermedias del rango visible propias de ALHAMBRA, las 3 bandas del infrarrojo cercano JHKs, y la imagen sintética F814W.

Se acompaña de información derivada a partir de las magnitudes anteriores, en particular el redshift fotométrico y tipo espectral derivado a través del uso de BPZ, una medida de la fiabilidad del resultado (parámetro odds) y algunas magnitudes derivadas. Los datos están contenidos en ficheros en formato ASCII, y se acompañan de información detallada tanto sobre el tratamiento de los datos como de los propios parámetros incluidos en ellos. En caso de que tengáis alguna duda o problema no dudéis en contactar con algún miembro del Core Team, que intentará ayudaros en todo lo posible.





Fragmento del campo 6 de ALHAMBRA (procesado V. Peris).

En esta sección de nuestro Boletín pretendemos mostrar la cara más social de los miembros de nuestra sociedad: entradas y salidas de comités, nombramiento de nuevos directores de centros, cambios de afiliaciones, jubilaciones, premios, etc. Si cuando acabéis de leer la sección pensáis "Podían haber hablado también de..." os pedimos que nos enviéis vuestra entrada para incluirla en el próximo número. Gracias.

ALMA, INAUGURADO

Empezamos esta edición de "Ecos de LA Sociedad" con la inauguración de ALMA el pasado 13 de marzo, a la que asistió nuestro colega Xavier Barcons en su calidad de Presidente del Consejo de ESO.

NOMBRAMIENTOS

La Association of Universities for Research in Astronomy (AURA) ha anunciado que nuestro colega Valentín Martínez Pillet ha sido nombrado director del prestigioso National Solar Observatory. Desde aquí nuestras felicitaciones.

También damos la enhorabuena a nuestra compañera Almudena Alonso Herrero, investigadora del IFCA, que en abril fue nombrada miembro del comité de Ciencia y Tecnología de ESO.

Nuestro colega José María Quintana ha sido recientemente nombrado director del Centro Astronómico de Calar Alto. Habitualmente damos la enhorabuena, pero en este caso casi sería más apropiado desearle mucha suerte para que pueda lidiar con éxito con la situación extremadamente difícil en la que se encuentra el observatorio y el futuro que se adivina. ¡Mucho ánimo!

PREMIOS

En el apartado de premios, nos complace anunciar que a nuestro colega Iván Martí le ha sido concedido el prestigioso premio de la Real Sociedad Española de Física - Fundación BBVA al Mejor Artículo de Enseñanza, Notas Históricas o Ensayos en la Revista Española de Física.

El premio SEA a la mejor tesis doctoral en Astrofísica del año 2012 ha sido concedido ex aequo a Fernando Buitrago, con la tesis "Structural evolution of massive galaxies in the last 11 Gyr", y a Javier Moldón, con la tesis "Structure and nature of gamma-ray binaries by means of VLBI observations".

Y finalmente, en la primera convocatoria del premio conjunto de la SEA y la Sociedad Francesa de Astronomía y Astrofísica ha salido ganador el proyecto "Caracterización de objetos trans-neptunianos a partir de radiometría térmica y ocultaciones estelares", liderado por IPablo Santos-Sanz, del Instituto de Astrofísica de Andalucía y Emmanuel Lellouch, del Observatorio de Paris-Meudon (LESIA).

MARINEROS QUE SURCAN LOS CIELOS

Vicent J. Martínez

ISBN: 978-84-370-6653-0

Publicacions Universitat de València

En esta sección de reseñas de libros, queremos incluir también reseñas de libros de astronomía escritos por lectores o lectoras no especialistas. Nos ha resultado agradable comprobar que, en ocasiones, libros escritos por socios de la SEA son comentados en revistas o blogs literarios. Incluimos aquí la reseña del libro "Marineros que surcan los cielos" de Vicent J. Martínez que encontramos en un interesante blog de lectura de la periodista Patricia Cazón. Gracias Patricia.

El universo es tan inmenso que parece presuntuoso intentar explicarlo. En efecto, las escalas cósmicas de distancia y tiempo son descomunales. Remarcan, por su contraste clamoroso, nuestra pequeñez y lo efímero de nuestra existencia. Habitamos un planeta que gira alrededor de una estrella ordinaria, semejante a cien mil millones de estrellas más en nuestra Galaxia (...). La vida humana es muy breve en comparación con el devenir cósmico (...). Si una persona vive cien años, este lapso representa, en la historia del universo, un intervalo de tiempo equivalente al que espera una persona cualquier día hasta que un semáforo cambia de color, en comparación con la duración de su propia vida

Lo que esperas un semáforo. Eso son cien años de nuestras vidas para el universo. Un grano de arena en una playa kilométrica. Un copo de nieve en la Antártida. Eso somos. Y, en cambio, tan importantes nos creemos. Siento un vértigo inmenso cuando pienso en el universo, en que no somos más que motas de polvo, que nuestro venerado sol no es más que otro punto de luz que brilla en el cielo y que, un día, se apagará y cuando ese día llegue nadie recordará El Quijote, ni a Anna Karenina, ni a Shakespeare, ni al descubridor Colón.

Marineros que surcan los cielos es un libro maravilloso. Bien escrito, didáctico, cortito y cargado de enseñanzas que recibió el Premio Europeo de Divulgación Científica. No me extraña. El autor, Vicent J. Martínez lo avanza ya en las primeras páginas. El universo y todos los pasos del hombre, desde Platón a hoy, para entenderlo, para desentrañarlo, contado para todos. Gracias a él un lector de letras, que no domine, que no sepa, comprende, al fin, algo tan básico como la distancia años-luz. O sea, el brillo que esta noche podemos ver de cualquier estrella en el cielo, allá, a lo lejos, en realidad sucedió hace muchos, muchos años. Nosotros vemos su luz ahora. Pero en este ahora esa estrella, quizá, ya no exista. El tiempo que pasa desde que la luz partió de ella y nuestros ojos. Esos son los años luz. Sólo después de leer Marineros que surcan los cielos, yo, de letras puras, lo he comprendido del todo.

Qué vértigo.

Vicent J. Martínez, el autor, desgrana nuestra historia con una ambición didáctica manifiesta. Lo explica con un len-



guaje directo y sencillo, para que se entienda. En algunos capítulos un lector que no esté acostumbrado a moverse en términos y fórmulas matemáticas puede perderse, pero aún así, sigue leyendo, porque a pesar de no entender, lo que Vicent J. Martínez explica, apasiona. Nebulosas difusas como M42, nebulosas a secas como la de Andrómeda, estrellas jóvenes en regiones de formación estelar como M45, galaxias espirales como M51, estrellas viejas como M13 o el efecto Doppler. Qué nombres. Una letra y un número. Tan sencillos y a la vez tan abrumadores.

Creo que el hombre nunca llegará a comprender del todo el universo. Nuestra cabeza no está preparada para entender algo que no empiece ni termine. Nacemos y morimos. Reímos y lloramos. Queremos grises, pero oscilamos siempre entre el blanco y el negro. Entre el principio y el fin. Por eso resulta complicadísimo pensar en que el universo no termina ni empieza. Vicent J. Martínez propone un viaje desde la antigua Grecia hasta hoy para contarnos esta aventura, la del mundo, la corta historia de la humanidad. Galileo, Copérnico, Newton o Einstein. Edmond Halley, Edwin Hubble. De las primeras miradas al cielo sin más lupa que dos retinas desnudas a los potentes telescopios que hoy tenemos, pasando por las teorías, hipótesis y noches en blanco que han dado forma a la historia del universo. Todo está ahí, en estas 160 páginas, que nos ponen en nuestro lugar, que nos recuerdan que no somos más que el pelo de la pulga más chiquita de esa infinidad llamada universo, devenir cósmico.

La de Vicent J. Martínez es, en definitiva, una lectura muy interesante. Un libro que, cuando acabas, te empuja a mirar al cielo como uno de esos marineros que lo surcan cada noche, esos Galileo, Copérnico, Newton, Einstein, Halley o Hubble que con sus cábalas, cuentas e insomnios nos han ayudado a entender de qué va esto de la vida.

Patricia Cazón
lakriticon.wordpress.com

Población y función de masa subestelar en regiones de formación estelar

Autora: Karla Peña Ramírez (karla@iac.es)

Tesis doctoral dirigida por: M^a Rosa Zapatero Osorio y Víctor Sánchez Béjar

Centro: Universidad de la Laguna / Instituto de Astrofísica de Canarias

Fecha de lectura: 15 de octubre de 2012

Esta tesis doctoral se centra en la búsqueda y caracterización de enanas marrones (cuerpos celestes con ~ 13 – 75 veces la masa de Júpiter, M_{Jup}) y objetos aislados de masa planetaria (con masas por debajo del límite de combustión del deuterio a $\sim 13 M_{\text{Jup}}$) en las regiones de formación estelar σ Orionis (~ 3 Ma) y Upper Scorpius (~ 5 Ma). En el cúmulo σ Orionis los descubrimientos doblan el número de candidatos de masa planetaria conocidos hasta la fecha y en Upper Scorpius se identificaron los candidatos a planetas aislados menos masivos conocidos en toda la asociación. Los avances en este campo son claves en la determinación de la función de masa subestelar. Lograr determinar el valor de masa mínimo hasta el que se pueden formar objetos mediante mecanismos similares a los de las estrellas es un parámetro crítico para explicar los procesos de formación estelar y subestelar.

La búsqueda en el cúmulo σ Orionis (~ 3 Ma, ~ 352 pc, baja extinción, metalicidad solar) combina una profundidad homogénea, un amplio cubrimiento espacial ($> 75\%$) y un alto porcentaje de miembros confirmados ($\sim 70\%$) lo que ha permitido estudiar la distribución espacial, frecuencia de discos y función de masa del cúmulo. La exploración está enfocada en un área circular de 2798.4 arcmin^2 alrededor del sistema múltiple σ Ori. Las observaciones VISTA más profundas alcanzan magnitudes de completitud de 22.6 y 21.0 en los filtros Z y J, respectivamente. Para derivar los resultados aquí presentados, se ha combinado la fotometría VISTA (ZYJHKs) con datos en el óptico (I) y en el infrarrojo cercano (filtros W1, W3 de WISE y [3,6], [4,5], [8,0] de Spitzer). Se han encontrado 210 candidatos con magnitudes en el rango $J=13$ – 20 mag y que de acuerdo con isocronas teóricas de 3Ma corresponden al intervalo 0.25 – $0.004 M_{\odot}$, 23 de los cuales son nuevos candidatos con masas en el rango 0.011 – $0.004 M_{\odot}$, es decir, dentro del dominio de masas planetarias del cúmulo. Uno de los nuevos candidatos presenta colores compatibles con una enana de tipo T. La confirmación de la presencia de metano en su atmósfera y por tanto de su tipo espectral se llevaron a cabo haciendo uso de fotometría con el filtro de metano en la banda H obtenida con LIRIS/WHT. Usando el catálogo Mayrit, se presenta la función de masa del cúmulo cubriendo un amplio rango de masas desde ~ 19 hasta $0.004 M_{\odot}$. Este estudio indica que la

función de masa de σ Orionis es una distribución creciente y se extiende dentro del régimen de masas planetarias. Sin embargo, el número de objetos de tipo T hallados en la exploración VISTA σ Orionis es menor que lo predicho por la extrapolación de la función de masa del cúmulo hasta la completitud de la búsqueda en banda J. Esto parece indicar que la función subestelar del cúmulo tiene un cambio de pendiente alrededor de las $0.004 M_{\odot}$ (asociada a la formación restringida de este tipo de objetos fríos en cúmulos abiertos o a interacciones dinámicas fuertes que ocasionan la eyección de los objetos menos masivos después de ser formados) o que los objetos de tipo T del cúmulo son más débiles que lo predicho por los modelos.

Previo a este estudio en el cúmulo σ Orionis se han identificado dos candidatos de tipo espectral T: S Ori 70 (Zapatero Osorio et al. 2002, ApJ, 578, 536) y S Ori 73 (Bihain et al. 2009, A&A, 506, 1169). El primero tiene un tipo espectral $T5.5 \pm 1$ medido a partir de su espectro de baja resolución en el infrarrojo cercano en las bandas H y K. Usando imágenes en el filtro de metano de HAWK-I/MLT se ha realizado una búsqueda profunda ($J=19$ – 21.7 mag dentro de completitud) para identificar candidatos de tipo T adicionales. Ninguno de los candidatos seleccionados mediante cortes fotométricos apropiados aparece como un candidato concluyente. Se han analizado las propiedades atmosféricas de S Ori 73, confirmando por primera vez su absorción de metano en la banda H y estimando su tipo espectral como una enana de tipo $T4 \pm 1$. En el mismo trabajo, se ha estudiado la pertenencia al cúmulo de S Ori 70 y S Ori 73 por medio de sus colores fotométricos y un análisis de movimientos propios. El resultado de este estudio arroja para ambos objetos medidas de movimiento propio mayores que las del movimiento de σ Orionis, dejando así, incierta la pertenencia de las dos fuentes al cúmulo. S Ori 73 tiene colores similares a las enanas de tipo T3–T5 del campo, lo que adicionalmente a su movimiento propio, sugiere que se trata de una enana del campo localizada a 170–200 pc de distancia. El origen de S Ori 70 sigue sin ser claro: podría tratarse de una enana del campo aislada de tipo T intermedio o tardío con colores peculiares, o un planeta eyectado a través de interacciones dinámicas fuertes desde σ Orionis o alguna región de formación estelar en Orión.

En la asociación Upper Scorpius (~ 5 Ma, ~ 145 pc, baja extinción, metalicidad solar) se realizó una exploración de 1.17 grados² usando datos VIMOS/MLT (Iz) combinados con fotometría UKIDSS DR8 (ZYJHK). Este estudio es sensible dentro de completitud a la detección de enanas de tipo M tardías hasta objetos de tipo T intermedios. El área explorada es la única en todo Upper Scorpius en donde se ha cubierto la población de masas planetarias hasta las $0.004 M_{\odot}$. Como resultado se han identificado 4 candidatos que siguen la secuencia de la asociación desde las enanas marrones de baja masa ($\sim 0.025 M_{\odot}$) hasta objetos aislados de masa planetaria ($\sim 0.004 M_{\odot}$). Tres de los objetos son nuevos candidatos y presentan colores consistentes con enanas de tipo L tardío. Sus movimientos propios son compatibles con su pertenencia a la asociación. Estos candidatos serían los miembros menos masivos (~ 5 – $7 M_{\text{Jup}}$) conocidos hasta la fecha en Upper Scorpius.

Evolution: A new version of the Besançon Galaxy model constrained with Tycho data

Autora: Maria Anna Czekaj (mczekaj@am.ub.es)

Tesis doctoral dirigida por:

Francesca Figueras Siñol, Annie C. Robin y

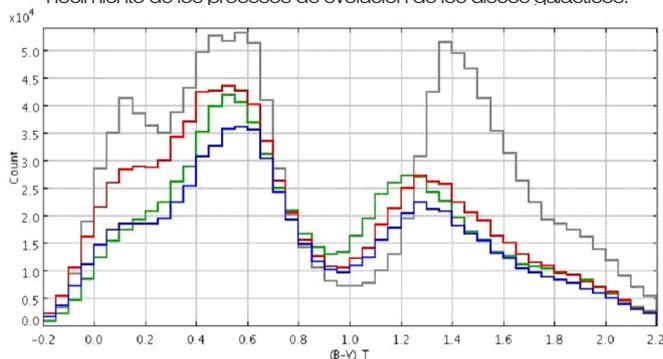
Francesc Xavier Luri Carrascoso

Centro: Universidad de Barcelona

Fecha de lectura: 22 de octubre de 2012

Uno de los principales objetivos de la misión Gaia (ESA, lanzamiento previsto para otoño de 2013) es avanzar en el conocimiento del origen y la evolución de nuestra Galaxia. Para poder realizar una óptima explotación científica de los datos que aportará este satélite es fundamental disponer de modelos y códigos que permitan contrastar varias hipótesis y escenarios sobre los procesos de formación y evolución de las componentes galácticas. Cada una de estas componentes - disco delgado, disco grueso, halo y bulbo - viene caracterizada por una ley de densidad (recuentos estelares) y unas propiedades cinemáticas. Son también ingredientes fundamentales del modelo las propiedades de las estrellas, caracterizadas a partir de los modelos de evolución estelar y los modelos de atmósfera. Así también, un correcto tratamiento de los sistemas binarios en función de los parámetros físicos estelares es esencial en este tipo de estudios. Todo este conjunto de ingredientes permiten caracterizar las poblaciones estelares a nivel global y, de aquí, inferir la distribución total de masa y el potencial gravitacional galáctico. Para abordar este objetivo, en la presente tesis doctoral nos hemos propuesto optimizar el llamado modelo de síntesis de poblaciones estelares de Besançon, cuya primera versión fue desarrollada por A. Robin en 1986. En particular, nos hemos centrado en la componente del disco delgado de la Vía Láctea. Cuando iniciamos nuestro trabajo, hace ya cuatro años, dicho modelo simulaba el contenido estelar en una dirección del cielo dado usando los llamados diagramas de Hess. Para una población dada, este diagrama estaba fijado, y se calculaba imponiendo, de antemano, una función inicial de masa (IMF), una historia de formación estelar (SFR), un modelo de evolución estelar y una relación metalicidad-edad. Ello conllevaba que cualquier generación de un catálogo estelar mediante dicha versión mantuviese fijos ingredientes tan fundamentales y poco conocidos como son la IMF o la SFR, parámetros que Gaia deberá redefinir en la próxima década. Esta tesis ofrece una nueva versión del modelo de Besançon. Hemos diseñado, desarrollado, implementado y testeado una nueva estructura de generación de las estrellas del disco delgado, una estructura que permite, mediante la comparación de los datos observados y los generados, encontrar la mejor combinación de IMF y SFR que ajusta a las observaciones. Como se detalla en el capítulo 2, el código que presentamos permite imponer la autoconsistencia dinámica en el proceso de generación estelar. Esta se realiza siguiendo los modelos propuestos por Bienayme et al. (1987). Para cada nuevo escenario de evolución (IMF, SFR, modelos de evolución estelar, ...) se recalcula el potencial galáctico y de aquí las leyes de densidad que nos permitirán generar un catálogo dinámicamente autoconsistente. La segunda aportación importante de esta tesis es la capacidad del nuevo modelo de Besançon de generar sistemas binarios. Hasta la fecha, dicho modelo, disponible en la web y de uso libre para toda la comunidad internacional, solo permitía la generación de estrellas individuales (Robin et al. 2003). Si bien el simulador de Gaia, cuya descripción del contenido estelar ha sido recientemente publicada en Robin et al. (2012), incluía ya la generación de sistemas binarios, tampoco contemplaba algo tan fundamental como es la autoconsistencia dinámica, es decir la

conservación de la masa total observada en el entorno solar. En la versión que se presenta en esta tesis doctoral este tema ha sido tratado y testeado con rigor de forma que podemos afirmar que el contenido estelar que genera el nuevo modelo mantiene las restricciones de la densidad local observada, restricciones que se derivan de la función de luminosidad observada en el entorno solar. Los capítulos 2 y 3 incluyen una descripción detallada de la nueva estructura del código, de las actualizaciones de todos los ingredientes del modelo de acuerdo con los avances en los últimos diez años en astrofísica galáctica y evolución estelar, así como de los procesos de generación de sistemas binarios. En el capítulo 4 discutimos los dos elementos observacionales clave para el ajuste entre modelo y observación: la función de luminosidad observada en el entorno solar y el catálogo de Tycho, ambos aportaciones relevantes de la misión Hipparcos de la ESA (Perryman et al., 1997). Una vez desarrolladas las herramientas que permiten este ajuste entre modelo y observables (ver capítulo 4), en el capítulo 5 pasamos a seleccionar los escenarios de evolución estelar y galáctica que permiten un mejor ajuste del modelo a los datos observacionales. Dicho capítulo muestra otro de los logros de la presente tesis doctoral: por primera vez hemos conseguido un ajuste aceptable a los recuentos estelares y distribuciones de color observados por Hipparcos hasta magnitud visible aparente 11 (ver Fig. 1). En este capítulo mostramos los efectos que resultan de variar cada uno de los ingredientes básicos del modelo, desde el cambio de los modelos de atmósfera o los modelos de evolución estelar al uso de uno u otro modelo de extinción interestelar. También, como ejemplo, en esta sección se han analizado los efectos en los recuentos estelares derivados de imponer una u otra masa dinámica del sistema galáctico. En conclusión, esta tesis nos proporciona una visión global no solo de los ingredientes que componen el puzzle del disco delgado de nuestra Galaxia sino también de los efectos que cada uno de estos produce en la componente estelar que observamos en una dirección del cielo dada. Para concluir, queremos mencionar que el código que aquí presentamos supone una mejora substancial al modelo de síntesis de poblaciones estelares más usado por la comunidad astronómica internacional. El ajuste de sus ingredientes básicos al catálogo Tycho aporta resultados tan relevantes como es la confirmación de que el ritmo de formación estelar en el disco galáctico no ha sido constante sino decreciente desde los inicios de la formación de esta estructura. Sin duda, la futura generación de catálogos sintéticos a partir de este código y su comparación con catálogos estelares más profundos como GSC2 o PanStars supondrá un paso significativo hacia el conocimiento de los procesos de evolución de los discos galácticos.



Distribuciones acumulativas del color (B-V)T para todo el cielo del modelo antiguo (gris), nuestros dos nuevos modelos por defecto (en azul utilizando la IMF de Haywood-Robin y en rojo la de Kroupa-Haywood v6) y los datos de Tycho-2 (en verde). Es crucial darse cuenta de los enormes cambios que aparecen en el histograma (B-V)T con nuestro nuevo modelo, respecto a los de la versión anterior. Hemos logrado disminuir el número de objetos en ambos picos, haciéndolo mucho más similar al número de estrellas observados en la muestra de Tycho-2. Hemos mejorado también el aspecto del histograma. El pico rojo de las gigantes se ha desplazado más de 0.1 mag hacia el azul ajustando significativamente mejor los datos de Tycho-2. El exceso de estrellas azules alrededor de (B-V)T = 0.1 mag se ha reducido significativamente.

Poblando con galaxias simulaciones cosmológicas usando el modelo HOD

Autor: Jorge Carretero Palacios
(jcarrete@aliga.ieec.uab.es)

Tesis doctoral dirigida por:
Francisco Javier Castander y Enrique Gaztañaga

Centro: Institut de Ciències de l'Espai
(ICE-CSIC) / UAB

Fecha de lectura: 1 de febrero de 2013

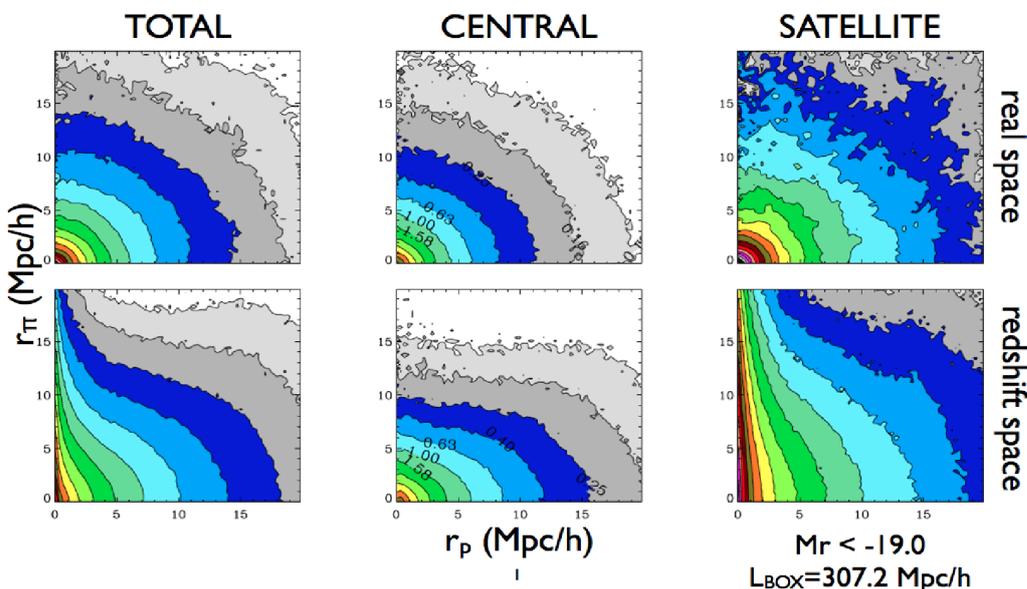
El propósito de la tesis es presentar un método con el que construir catálogos de galaxias virtuales poblando simulaciones de N-cuerpos de materia oscura usando recetas basadas en el modelo "Halo Occupation Distribution (HOD)". Los catálogos generados cumplen una serie de propiedades observadas de las galaxias, tales como la función de luminosidad, el diagrama color-magnitud y la distribución espacial en función de la luminosidad y del color. Los datos observados provienen del "Sloan Digital Sky Survey (SDSS)".

Se describe el marco teórico en el que se basa la producción de los catálogos, tanto el "Halo Model" como el modelo HOD. Nuestros catálogos se construyen poblando con galaxias los catálogos de halos generados a partir de las simulaciones de N-cuerpos de materia oscura "Marenostrum Institut de Ciències de l'Espai" - MICE (<http://maia.ice.cat/mice/>). Caracterizamos el catálogo de halos usado calculando su función de masa, la función de correlación espacial a dos puntos de los halos y su "bias" lineal a gran escala en función de la masa del halo. El modelo HOD proporciona recetas para poblar los halos con galaxias. Este modelo puede ser parametrizado de diversas maneras. En nuestro caso comenzamos generando catálogos de galaxias usando las recetas del modelo HOD propuestas por

Skibba & Sheth en 2009. Debido a que el catálogo generado no se ajusta correctamente a las observaciones, investigamos en primer lugar y de manera analítica el cálculo de dos parámetros del modelo HOD, M_{min} y M_1 (asumimos $\alpha=1$), usando únicamente dos condiciones: la densidad media en número de galaxias y su "bias" en función de la luminosidad a una escala determinada. Posteriormente calculamos los parámetros del modelo HOD que mejor ajustan la distribución espacial de las galaxias, desde muy pequeña escala hasta ~ 30 Mpc/h, en función de la luminosidad, mediante la construcción de un "grid" de catálogos que cubren un amplio rango de los valores de tres parámetros del modelo HOD, M_{min} , M_1 y α . Para que los catálogos se ajusten a las observaciones es necesaria la introducción de nuevos ingredientes en el modelo: la técnica "SubHalo Abundance Matching (SHAM)" y un perfil NFW modificado.

Se crea un único catálogo que cumple al mismo tiempo la distribución espacial de galaxias para todas las luminosidades y todos los colores poblando el catálogo de halos calculado del "snapshot" a "redshift" $z=0$ de la simulación "MICE Grand Challenge". El catálogo se construye siguiendo un nuevo algoritmo en el que se introducen algunas modificaciones: "scatter" en la relación entre la luminosidad de la galaxia central y la masa del halo, M_h , el parámetro $M1$ del HOD se modela en función de M_h , y se incluye una tercera componente Gaussiana (en lugar de dos), para describir el diagrama color-magnitud. Se calcula la función de luminosidad y el "bias" lineal de las galaxias del catálogo generado. También se muestra el efecto que producen las velocidades peculiares de las galaxias en su distribución espacial al medirla en el espacio de "redshift", y la función de correlación angular en la escala de las oscilaciones acústicas de los bariones (BAO). Finalmente y brevemente se describen algunas de las actuales aplicaciones de los catálogos usados en los proyectos Physics of the Accelerating Universe (PAU) y Dark Energy Survey (DES), en los que además se incluyen características específicas para cada una de las galaxias como son las propiedades morfológicas, la magnitud en distintos filtros dependiendo del "survey" o la deformación provocada por el "shear" gravitacional. La tesis puede ser descargada en: <http://maia.ice.cat/jorge/tesi.pdf>

Función de correlación espacial a dos puntos del conjunto total de las galaxias del catálogo (izquierda), de las centrales (centro) y de las satélites (derecha) en función de la distancia en la dirección de la línea de visión (r_π en el eje vertical) y en función de la distancia perpendicular (r_p en el eje horizontal) para un conjunto de galaxias con luminosidad $M_i < -19.0$ y contenidas en una caja de lado $L=307.2$ Mpc/h. En los paneles superiores no se tiene en cuenta la velocidad peculiar de las galaxias (espacio real) y en los paneles inferiores sí (espacio de "redshift"). Los colores naranja y rojo corresponden a valores altos de la amplitud de la función de correlación y los colores azul y gris a valores bajos.



Una búsqueda de objetos de baja masa en regiones jóvenes de formación estelar

Autor: Manuel Perger (mperger.astro@hotmail.com)

Tesis doctoral dirigida por: Eduardo Martín,
David Barrado y Navascués

Centro: Universidad de La Laguna

Fecha de lectura: 12 de abril de 2013

La mejor herramienta y la más usada para caracterizar la formación de estrellas en un sistema cerrado es la función de masas. Muchas investigaciones en varias regiones muestran que su aspecto y su forma son más bien universales con un pico aproximadamente a 0.1 a $0.3 M_{\odot}$. Sin embargo, hay excepciones importantes como la región de la formación estelar de Taurus. En ésta, la distribución de las masas estelares muestra un pico aproximadamente a $0.8 M_{\odot}$. Muchas estrellas de baja masa faltarían en esta región para que pudiera encajar la forma universal de la función. Esto podría darse debido a una de las características únicas de Taurus como por ejemplo su baja densidad. Esta región es muy fácilmente accesible debido a su juventud y su proximidad. Numerosas investigaciones se han llevado a cabo buscando objetos nuevos en las nubes principales de la región. Sin embargo, algunas teorías proponen que muchos de los objetos de baja masa de Taurus nacidos recientemente podrían ser expulsados de sus sitios de nacimiento, esto es, las nubes moleculares.

Nuestro objetivo es encontrar nuevos objetos de baja masa en Taurus que pudieran proporcionar un nuevo enfoque sobre su función de masa. La región estudiada en este trabajo está localizada 5 grados al norte de las nubes principales y cubre aproximadamente 25 grados cuadrados. De esta manera, también contribuimos a resolver la pregunta sobre si los objetos de baja masa se han movido desde su sitio de nacimiento o no. Puede que los objetos falten porque una gran parte de ellos ya no esté conectada con las partes más densas de las nubes principales de Taurus. La meta fue encontrar tantos objetos como fuera necesario para identificar una diferencia en la función de masa y para poder constatar así una parte importante de miembros de Taurus de baja masa lejos de las nubes. Para confirmar la relación entre la diferencia de la función de masa de Taurus y su baja densidad de 1 estrella \cdot parsec², también hemos estudiado 15 grados cuadrados de la región de Orión, de mayor densidad. En esa región buscamos nuevas asociaciones de estrellas para lograr construir sus funciones de masa comple-

tas hasta aproximadamente las mismas masas igual que realizamos en la investigación en Taurus. Para nuestra búsqueda hemos usado como base de datos el registro fotométrico de campo amplio e infrarrojo cercano UKIDSS GCS, el cual alcanza aproximadamente 3 magnitudes más en profundidad que 2MASS. Hemos investigado las características fotométricas de todos los 351 miembros de Taurus ya conocidos y las hemos aplicado a esta base de datos para poder extraer posibles nuevos miembros. Debido a la baja densidad y la proximidad de la región, se aumentó el alcance de criterio de búsqueda mediante la construcción de un mapa de extinción de alta resolución. Es más, fuimos capaces de tener acceso a movimientos propios y fotometría de infrarrojo mediano de una pequeña parte de la región estudiada. En total, se aplicaron 40 criterios de selección. En Orión se limpió la base de datos de posibles efectos de extinción y se hizo uso de diferentes métodos para identificar las asociaciones estelares que contiene la región. Para confirmar la pertenencia a una de las regiones de todas las fuentes seleccionadas, se observaron tantos candidatos como fue posible mediante espectroscopia óptica de baja resolución. En este rango de longitud de onda, múltiples características de las líneas pueden revelar la juventud de una fuente. Para comparar dichas fuentes se observaron unos miembros de Taurus ya conocidos y unas estrellas enanas de campo.

En Taurus fueron observados 43 de 253 candidatos brillantes y 7 de 55 en Orión. El análisis fotométrico y espectral completo pudo identificar 11 y 4 de ellos como posibles nuevos miembros WTTs. Esto implica una cuota de éxito de observación del 26% en Taurus. Los objetos observados tienen tipos espectrales de hasta M4.5. En Orión hemos encontrado una nueva asociación estelar muy dispersa con la función de masa universal. No obstante su existencia todavía no se puede establecer pues solamente se pudieron observar 7 fuentes. Los nuevos miembros de Taurus no están conectados con ninguna nube molecular y se han movido desde su sitio de nacimiento a su sitio actual. Su existencia indica una significativa población todavía desconocida de miembros de Taurus lejos de las nubes principales. Nuestro proceso de búsqueda sin embargo está sesgado por magnitudes. Sólo tuvimos acceso a objetos con $12.0 < J < 15.5$ mag o $0.55 > M > 0.08 M_{\odot}$. Dentro de este rango están localizados 104 miembros de Taurus ya conocidos. Así pues, los 11 nuevos miembros contribuyen en un 10% a la función de masa. Teniendo en cuenta que sólo se observó el 17% de nuestra lista de candidatos, esperaríamos encontrar unos 64 miembros en la región estudiada dentro de este rango de magnitudes. Por tanto podemos concluir que los objetos de Taurus de baja masa que faltaban están localizados lejos de las nubes principales de la región. Si esta región joven y cercana de formación estelar es única o no, se puede estudiar en sus partes externas. Taurus es sin lugar a dudas de menor densidad y está más extendida a como se había asumido previamente.

Amanecer en Calar Alto.
Autor: Aldo Dall'Aglio.



**Sociedad Española
de Astronomía**

Universidad de Barcelona,
Facultad de Física
Av. Martí Franquès, 1
Barcelona 08028

Tfno: +34 91 394 5249
Fax: +34 91 394 5051