

15 Años de Ciencia con Gemini en Argentina

LIBRO DE ACTAS



Planetario Ciudad de La Plata – 1 al 5 de junio de 2015



Presidencia
de la Nación

Ministerio de
Ciencia, Tecnología
e Innovación Productiva



GEMINI
OBSERVATORY



Facultad de Ciencias
**Astronómicas
y Geofísicas**
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA



15 Años de Ciencia con Gemini en Argentina

Planetario Ciudad de La Plata – 1 al 5 de junio de 2015

Libro de Actas

Comité Editorial:

Sergio A. Cellone
Juan Pablo Calderón
Analía V. Smith Castelli

COMITÉ CIENTÍFICO (CC)

Dra. Mercedes Gómez

Dr. Juan Carlos Forte

Dr. Guillermo Hägele

Dra. María Laura Arias

Dra. Silvina Cichowolski

Dra. Analía Smith Castelli (Presidente)

COMITÉ ORGANIZADOR LOCAL (COL)

Dra. Analía Smith Castelli (Presidente)

Dr. Sergio Cellone

Dr. Favio Faifer

Lic. Gabriel Ferrero

Dr. Juan Pablo Calderón

Dr. Juan Pablo Caso

Lic. Carlos Escudero

Lic. Néida González

Lic. Leandro Sesto

Motivación

La República Argentina forma parte del consorcio internacional que planeó, construyó y opera los dos telescopios gemelos de 8 metros de diámetro que integran el Observatorio Internacional Gemini. Dicha participación comenzó en 1993, hace ya más de veinte años, y continúa hasta hoy en día. El telescopio Gemini Norte, emplazado en Hawaii, comenzó a operar en 1999, mientras que Gemini Sur, ubicado en Chile, lo hizo en 2001. Es así que durante el año 2015 se cumplieron 15 años de funcionamiento de dichas facilidades, durante los cuales la comunidad astronómica argentina ha hecho un uso activo de instrumentación de última generación con alta competitividad a nivel mundial.

A lo largo de este tiempo, cada semestre nuestra comunidad ha tenido acceso a varias decenas de horas en cada telescopio, de uso soberano, posibilitando el acceso directo a instrumentación tanto en el rango óptico como infrarrojo cercano y medio. La combinación de una gran superficie colectora de luz, junto con alta calidad de imagen a través de sistemas de óptica activa y adaptable, además de la posibilidad de observar desde ambos hemisferios, ha posicionado a Gemini como una herramienta versátil frente a la astronomía argentina, permitiendo abordar estudios astrofísicos de distinta índole. Desde el análisis de objetos pertenecientes a nuestro sistema solar, hasta de aquellos que se observan tal cual eran cuando el Universo tenía no más de mil millones de años de edad, todo ello ha sido puesto al alcance de las inquietudes de los astrónomos argentinos.

Gracias a esto, la comunidad astronómica local utiliza actualmente, y en forma creciente, las facilidades instrumentales de Gemini para producir importantes trabajos científicos (que incluyen numerosas colaboraciones internacionales, tesis de grado y tesis doctorales) en varias universidades e institutos de investigación del país. De este modo, Argentina, como miembro pleno del consorcio, ha contribuido, a través del Observatorio Internacional Gemini, a impulsar de un modo sustantivo el conocimiento del Universo, y a la divulgación de este conocimiento en el ámbito internacional.

En este contexto, la Oficina Gemini Argentina (OGA) entendió que este aniversario representaba una excelente oportunidad para dar a conocer los trabajos científicos realizados con datos Gemini por investigadores de instituciones argentinas durante estos 15 años. Es así que la OGA decide impulsar la organización del congreso nacional “15 Años de Ciencia con Gemini en Argentina”.

El evento estuvo abierto a todos los interesados en el tema (investigadores, personal técnico, estudiantes de postgrado y grado), con un programa orientado, específicamente, a la exposición de resultados de la participación argentina en el Observatorio Gemini, a través de contribuciones orales y murales. Asimismo, se presentaron informes invitados y se contó con la participación de astrónomos del staff de Gemini, quienes expusieron las características y las potencialidades científicas de los nuevos instrumentos disponibles en el consorcio (Flamingos-2, GPI y GSAOI).

Se contó con la asistencia de, aproximadamente, 90 personas de los cuales el 75% correspondió a estudiantes de grado, postgrado e investigadores jóvenes. Los temas abarcados en las distintas charlas científicas fueron los siguientes:

- Astronomía Estelar
- Cúmulos de Galaxias
- Galaxias Enanas
- Cúmulos Globulares
- Blazares
- Formación Estelar
- Núcleos Activos
- Instrumentación

Desde la organización esperamos que este congreso represente el punto inicial para la próxima etapa de la participación de Argentina en el Observatorio Internacional Gemini, a partir de la reciente renovación del convenio por parte de las autoridades del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación.

La Plata, noviembre de 2015

Auspiciantes

Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación

Observatorio Internacional GEMINI

Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (UNLP)

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica

Instituto de Astrofísica de La Plata (CONICET - UNLP)

Lista de inscriptos

Agüero, María Paz
Alonso, María Victoria
Andruchow, Ileana
Argumero, Virginia
Arias, María Laura
Baravalle, Laura
Bassino, Lilia
Bersten, Melina
Blanco, Agustina
Bosch, Guillermo
Bustamante, Ildara
Calderón, Juan Pablo
Camperi, Javier
Campuzano Castro, Federico
Cappa, Cristina
Cardaci, Mónica
Carrasco, Rodrigo
Caso, Juan Pablo
Cellone, Sergio
Cichowolski, Silvina
Cidale, Lydia
Cúneo, Virginia
Cochetti, Yanina
Collado, Ana
Cora, Sofía
Coronel, Carla
Corti, Mariela
Corvera, Andrea
D'Ambra, Ary
Damia Rincón, Camila
Díaz, Rubén
De Bortoli, Bruno
De Rossi, María Emilia
Donoso Navea, Laura
Dubner, Gloria
Ennis, Ana
Eppens, Laura
Ertini, Keila
Escudero, Carlos
Faifer, Favio
Fariña, Cecilia
Feinstein, Carlos
Fernández Lopez, Manuel
Ferreiro, Diego
Ferrero, Gabriel
Ferrero, Leticia
Filócomo, Agustina
Firpo, Verónica
Fogantini, Federico
Folatelli, Gastón
Forte, Juan Carlos
Gamen, Roberto
García, Luciano
García, Nicolás
Gargiulo, Ignacio
Gaspar, Gaia
Giacani, Elsa
Girola, Rafael
Giudici Michilini, Federico
Gomez, Mercedes
González, Nélide
Gunthardt, Guillermo
Guzmán Ccolque, Estrella
Haucke, Maximiliano
Hägele, Guillermo
Hibon, Pascale
Higa, Rebeca
Hull, Chat
Iannuzzi, Matilde
Jofre, Emiliano
Lagos, Patricio
Leiva, María Marta
López, Guillermo
Martioli, Eder
Martínez, Laureano
Miculán, Romina
Mirabel, Igor Félix
Molina Lera, José Alejo
Montúfar, Sergio
Moreno, Jonathan
Muratore, María Florencia
Oddone, Mónica
Oio, Gabriel
Orcajo, Santiago
Parisi, Celeste
Parra Uchasara, Fernando Jr.
Pessi, Priscila
Petriella, Alberto
Petrucci, Romina
Pichel, Ana
Pintado, Olga
Putkuri, Cristina
Reynaldi, Victoria
Rodríguez, Cinthya
Ruiz Díaz, Matías
Saker, Leila
Scalia, María Cecilia
Scoccola, Claudia
Sesto, Leandro
Smith Castelli, Analía
Sánchez, Mariana
Sosa, Marina
Suad, Laura
Supán, Leonardo
Torres Zafra, Juanita
Torres, Andrea
Vargas, Stella Maris
Vazzano, Mercedes
Vega, Luis
Vendemmia, Estefanía
Zibecchi, Lorena



Ph: JP Calderon

Conference Program

	1
Charlas	1
Institucionales	1
1 La participación argentina en el Observatorio Gemini <i>Alonso M. V.</i>	
7 UCG: el Comité de Usuarios del Observatorio Gemini <i>Bassino L.</i>	
11 La Oficina Gemini Argentina <i>Cidale L. S. & Cellone S. A.</i>	
Instrumentales	17
17 GeMS y GSAOI: capacidades observacionales, resultados científicos y perspectivas futuras <i>Carrasco R.</i>	
23 El Espectrógrafo Infrarrojo Flamingos-2 <i>Díaz R.</i>	
29 El Programa de Instrumentación de Gemini <i>Díaz R.</i>	
35 The Gemini Planet Imager <i>Hibon P., Rantakyö F., Cardwell A. & the GPI Gemini team</i>	
41 Espectroscopía de alta resolución con el nuevo instrumento GRACES <i>Martioli E.</i>	
Científicas	47
47 Cinemática del gas ionizado y perfiles de luminosidad de las galaxias “porotos verdes” <i>Agüero M. P., Díaz R. J. & Schirmer M.</i>	
51 Estudios de cúmulos de galaxias utilizando datos Gemini <i>Alonso M. V., Lambas D. G., Muriel H., Valotto C. & Castellón J. L. N.</i>	
55 Observaciones en el óptico e infrarrojo de una muestra de estrellas candidatas a B[e] galácticas <i>Arias M. L., Cidale L. S., Kraus M., Torres A. & Granada A.</i>	
59 Acerca del núcleo galáctico de NGC 253 <i>Camperi J. A., Günthardt G. I., Agüero M. P., Díaz R. J., Gomez P. L., Bosch G. & Schirmer M.</i>	
63 Discos circunestelares de estrellas masivas: una visión a través de Gemini <i>Cidale L. S.</i>	
69 El enigmático sistema de cúmulos globulares de la galaxia lenticular NGC 6861 <i>Escudero C. G., Faifer R. F., Bassino L. P., Calderón J. P. & Caso J. P.</i>	
73 Análisis del sistema de cúmulos globulares y la enana ultracompacta de NGC 4546 <i>Escudero C. G., Norris M. A., Faifer R. F., Kannappan S. J. & Forte J. C.</i>	
77 Cúmulos Globulares en la galaxia gigante M 87: espectroscopía Gemini+GMOS y determinación de edades y metalicidades <i>Faifer F. R., Escudero C., Norris M., Forte J. C., Smith Castelli A. V. & Sesto L.</i>	
81 NIRI para estudiar la formación de estrellas de gran masa en distintas escalas espaciales <i>Fariña C., Bosch G., Parón S., Ortega M. & Barbá R.</i>	
87 Morfología de jets en estrellas jóvenes: Imágenes obtenidas con GSAOI/GEMINI <i>Ferrero L. V., Gómez, M. & Günthardt G.</i>	

- 91 Espectroscopía 3D: cinemática interna en galaxias del Universo local
Firpo V., Bosch G., Díaz R., Hägele G. F., Dottori H., Cardaci M. V. & Dors O.
- 95 Estudio fotométrico de candidatas a galaxias enanas de tipo temprano en el supergrupo de Eridanus y el grupo de Pegasus I
González N., Smith Castelli A., Faifer F., Cellone S. A., Escudero C., Sesto L. & Forte J. C.
- 99 Gas ionizado en radiogalaxias: procesos ionizantes
Reynaldi V. & Feinstein C.
- 105 Develando las propiedades del sistema inexplorado de cúmulos globulares de NGC 5044 a través de Gemini+GMOS
Scalia M. C., Faifer F., Smith Castelli A., Forte J. C., Cellone S. A. & Bassino L.
- 109 Propiedades fotométricas y espectroscópicas del sistema de cúmulos globulares de NGC 1316
Sesto L. A., Faifer R. F. & Forte J. C.
- 113 Galaxias Enanas a través de los ojos de Gemini
Smith Castelli A.
- 117 Estudio del entorno de blazares a partir de datos GEMINI-GMOS
Torres Zafra J., Cellone S. A. & Andruchow I.
- 121 Buscando huellas atmosféricas del exoplaneta Qatar-1b
von Essen C., Cellone S. A., Albrecht S. & Dreizler S.

Posters

125

- 125 Análisis de la cáscara molecular G 126.1–0.8–14
Cichowski S., Pineault S., Gamen R., Arnal E. M., Suad L. A. & Ortega M. E.
- 129 Espectroscopía IR de estrellas Be
Cochetti Y. R., Cidale L., Arias M. L. & Granada A.
- 133 Espectros GMOS de las compañeras visibles de los objetos compactos en los sistemas binarios SS 433 y LS 5039
Cúneo V. A., Jofré E., Pintado O. & Gómez M. N.
- 137 Sistemas de cúmulos globulares: pistas sobre el origen de las galaxias lenticulares
Escudero C. G., Faifer R. F. & Bassino L. P.
- 141 Espectros en el infrarrojo medio de tres estrellas con discos *debris*
García L., & Gómez M.
- 145 El aporte del Observatorio Gemini en el aula
Girola R., Santos M., Racchiusa N. & Escudero J.
- 147 Estudio estructural de la región central de NGC 253
Günthardt G. I., Agüero M. P., Camperi J. A., Díaz R. J., Gomez P. L., Bosch G. & Schirmer M.
- 151 Correlación planeta-metalicidad en estrellas M
Jofré E., Petrucci R., Hobson M., García L., Gómez M. N.
- 155 Estudio del material circunestelar en la supergigante A[e] HD 62623: cinemática del CO
Muratore M. F., Arias M. L., Cidale L. & Kraus M.
- 159 Estado evolutivo de la estrella B[e] MWC 137
Muratore M. F., Kraus M., Oksala M. E., Arias M. L., Cidale L., Borges Fernandes M. & Liermann A.
- 163 Cinemática gaseosa de la región nuclear de la galaxia activa SDSSJ 093643.13+505249.6 obtenida con GMOS-IFU
Oio G. A., Ferreira D. L., Vega L. R. & Schmidt E.
- 167 El sistema de cúmulos globulares de NGC 1395: ¿pistas de un evento de fusión reciente?
Sesto L. A., Escudero C. G., González N. M., Faifer R. F., Smith Castelli, Forte J. C.
- 171 Estudio fotométrico del blazar MAGIC J2001+435 y su galaxia anfitriona
Sosa M. S. & Cellone S. A.

- 175 Espectroscopía Flamingos 2 de candidatos a YSOs: ¿Un nuevo objeto Haro-Herbig?
Vazzano M. M., Bosch G. & Cappa C. E.

La participación argentina en el Observatorio Gemini

M. Victoria Alonso^{1,2}

¹ Observatorio Astronómico de Córdoba, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina

² Instituto de Astronomía Teórica y Experimental (CONICET), Argentina

Resumen

Como miembro actual del Consejo Directivo del Observatorio Gemini, se presenta un resumen de los 15 años de Argentina en el Observatorio. Se describe, brevemente, el convenio que rige actualmente el Observatorio hasta fines del 2015 y el nuevo que estará vigente en el período 2016–2021.

1. La gobernanza del Observatorio Gemini

El Observatorio Gemini se rige por un Director y tres consejos principales: el Consejo de Directores (*Board* en inglés), el Comité de Finanzas (GFC, *Gemini Finance Committee*) y el Consejo Científico Tecnológico (STAC, *Science and Technology Advisory Committee*). Los miembros argentinos en esos consejos son los Dres. María Victoria Alonso, por los dos primeros y Guillermo Bosch por el último. Dentro de los Estados Unidos hay dos agencias que regulan y controlan su funcionamiento. La agencia ejecutiva es el NSF (*National Science Foundation*) y la de gestión AURA (*Association of Universities for Research in Astronomy*). Entre los Consejos que están bajo la órbita de AURA, el más importante es *AURA Oversight Council for Gemini* (AOC-G). Este Consejo proporciona una supervisión gerencial para optimizar las capacidades científicas y técnicas de los telescopios.

En el Observatorio fue creado hace ya cuatro años el Comité de Usuarios o UCG (*Users Committee for Gemini*) que es el encargado de relevar los problemas de los usuarios u observadores y dar sugerencias para mejorar las condiciones de observación, reducción de datos, etc. En estos momentos la representante argentina en este comité es la Dra. Lilia Bassino. Cada país miembro tiene una Oficina Gemini Nacional, en nuestro caso la Oficina Gemini Argentina u OGA, encabezada por la Dra. Lydía Cidale.

El lema principal del Observatorio Gemini es: “Un Observatorio, dos telescopios” (*One Observatory, two telescopes*). Los dos telescopios reflectores Cassegrain de 8.1 metros de diámetro fueron instalados en el hemisferio norte (GN) en 1999 en Mauna Kea con oficinas en la ciudad de Hilo (Hawaii, EEUU) y en el hemisferio sur (GS) en 2000 en el Cerro Pachón con oficinas en la ciudad de La Serena (Chile).

1.1. El Plan de Transición: 2013 a 2015

Después de la salida del Reino Unido del consorcio de países miembros del Observatorio Gemini se confeccionó un Plan de Transición 2013–2015 para compensar financieramente el retiro de este importante miembro y no incrementar la contribución anual de los otros países. De esta manera, el Observatorio se encauzó en un plan de reducción de un 25 % de su presupuesto original. Esta reducción afectó principalmente al área de personal incluyendo además un manejo más económico del archivo de datos científicos, ahorros de gastos por energía (principalmente el costo de energía eléctrica en Hawaii es muy alto), ahorros generales en la parte de operaciones y de gastos en las oficinas, eliminación de un almacén externo en Hilo y reducción de licencias de uso de programas de computación.

El Observatorio Gemini ha recibido la contribución correspondiente a los años 2013 y 2014 de todos los países miembros. La contribución 2015 ha sido completada por Australia y Estados Unidos únicamente. Han sido recibidos pagos parciales de Brasil y Canadá y la contribución de nuestro país ha sido ordenada y se encuentra en la fila de pagos que debe efectuar el Banco Central. Corea ha sido incorporada al Observatorio Gemini a través de un acuerdo temporal o *Limited-term partnership* y Australia estaría concluyendo su participación en el corriente año.

A mediados del 2016 se dará por terminada la etapa de transición hacia un presupuesto menor. Australia realizaría contribuciones parciales como *limited-term partner* por el 2016 para finalizar proyectos astronómicos que tiene en ejecución y se retiraría del consorcio. Los países miembro del Observatorio Gemini a partir del 2016 son: Argentina, Brasil, Canadá, Chile y Estados Unidos.

2. El Observatorio Gemini hoy

Cada uno de los dos telescopios tiene 4 instrumentos instalados y un sistema de Óptica Adaptiva (OA). Gemini Norte tiene instalado los instrumentos: GMOS-N (*Gemini Multi-Object Spectrograph*), NIRI (*Near InfraRed Imager and Spectrometer*), NIFS (*Near-Infrared Integral Field Spectrometer*) y GNIRS (*Gemini NearIR Spectrograph*) y Altair (*ALTitude conjugate Adaptive optics for the InfraRed*) como sistema de OA. En el telescopio Gemini Sur están instalados los siguientes instrumentos: GMOS-S, GSAOI (*Gemini South Adaptive Optics Imager*), FLAMINGOS-2 y GPI (*Gemini Planet Imager*), siendo GeMS (*Gemini Multi-Conjugate Adaptive Optics System*) el sistema de OA.

La producción científica del Observatorio Gemini ha sido de 225 publicaciones en 2014, lo que significa un incremento de más de un 10 % relativo a las de 2013.

Es importante destacar que 53 de estas publicaciones (24 %) fueron realizadas con datos realizados con Óptica Adaptiva.

2.1. Pedidos de tiempo en Gemini

En el 2015 se han implementado varias formas de pedir tiempo de telescopio en el Observatorio Gemini.

2.1.1. Propuestas regulares

Se solicitan una vez por semestre y son evaluadas por los comités nacionales de asignación de tiempo (TAC, *Time Allocation Committee*) y por el comité internacional (ITAC). Constituyen un 70 % de los pedidos, existiendo una tasa de sobrepedido menor a 2.

2.1.2. Programas extensos

Desde el 2015, se han implementado los programas grandes y extensos o LLPs (*Large and Long Programs*), pensados para propuestas ambiciosas, extensas y a largo plazo. Se evalúan a través del *Large Program TAC*. Constituyen un 20 % de los pedidos de tiempo y la tasa de sobrepedido es mayor a 5. Este tipo de pedido fue el resultado de discusiones y algunos miembros no aceptaron entrar en este tipo de programa, como Brasil, Chile (sólo para GS) y la Universidad de Hawaii (sólo para GN).

2.1.3. Programas rápidos

Estas propuestas llamadas *Fast Turnaround* o FT fueron recientemente implementadas, pensadas para propuestas cortas, rápidas, con resultados inmediatos. Se solicitan una vez al mes, sin evaluación de TACs sino a través de una revisión de pares, siendo éstos los que han realizado los pedidos. Hoy se encuentran en fase experimental, representando el 10% de los pedidos realizados en Gemini Norte, por 6 meses. La tasa de sobrepedido es alrededor de 3 (tres). En la página <http://staff.gemini.edu/ft/> se pueden encontrar las últimas noticias sobre la evolución de este tipo de pedidos. En enero se recibieron 17 pedidos, en febrero 12, en marzo 7 y en abril 8. Se está evaluando la aceptación por parte de la comunidad astronómica, el tipo de pedido realizado y el suceso de los mismos. Una evaluación preliminar muestra una demanda general, poco realista, de buenas condiciones atmosféricas.

2.2. Instrumentos solicitados en 2015B

En el último semestre, 2015B, el porcentaje de solicitud de instrumentos en el telescopio Gemini Norte, fue de 36 % del tiempo para GMOS-N, 12 % para NIRI, 10 % para NIFS, 25 % GNIRS, 13 % GRACES (*Gemini Remote Access to CFHT ESPaDOnS Spectrograph*) y 4 % para DSSI. GRACES es una cooperación entre los observatorios Canada-France-Hawaii, Gemini y *NRC Herzberg Astronomy and Astrophysics*. En el telescopio Gemini Sur, 63 % del tiempo fue solicitado para GMOS-S, 5 % para GSAOI, 23 % para FLAMINGOS-2 y 9 % para GPI.

2.3. Modos de observación

También se han realizado innovaciones en el modo de observación, existiendo hoy:

2.3.1. Modo “Fila”

En inglés se conoce como *Queue Mode* y consiste en enviar las observaciones con las condiciones de observación específicas. Cuando las condiciones requeridas son satisfechas un observador realiza las mismas. Este tipo de observación hoy representa un 75 % de las observaciones y una variante de este modo es el *Eavesdropping* donde el usuario participa remotamente de las observaciones.

2.3.2. Modo “Clásico”

El astrónomo visita el observatorio y conduce sus observaciones, lo que permite poder tomar decisiones en tiempo real. Hoy constituyen un 25 % de las observaciones.

2.3.3. Modo “Prioridad Observador Visitante”

Se conoce este modo como *Priority Visitor Observing* y fue implementado en el semestre 2015A para los programas extensos (LLPs). Se pretende extender este modo de observación a propuestas regulares. En este modo, el observador visita el observatorio el tiempo que quiera y toma las observaciones cuando así lo decida.

2.3.4. “Bring one, get one”

Si el observador visita el observatorio y además lleva un estudiante, éste último puede ser subsidiado. El objetivo es ayudar a los estudiantes a ganar experiencia

observacional con Gemini. En la página del Observatorio Gemini se pueden consultar las instrucciones para visitantes que incluyen este programa de estudiantes y ver detalles allí.

2.4. El futuro del Observatorio Gemini

El estado de mejoras en los instrumentos disponibles y en nuevos instrumentos es el siguiente. El nuevo CCD del instrumento GMOS-N se estará instalando en el semestre 2015B. El modo MOS del instrumento Flamingos-2 MOS deberá ser puesto a disposición de la comunidad astronómica en breve. Se espera que el instrumento GHOST (*Gemini High-resolution Optical SpecTrograph*) esté disponible en el 2018. Además, se está estudiando la viabilidad del tercer instrumento de la cuarta generación, Gen4#3, y se ha realizado el llamado para propuestas. La idea general continúa siendo mantener el Observatorio Gemini competitivo con instrumentos que posibiliten los estudios científicos que la comunidad astronómica requiera. En este sentido debemos estar atentos para poder participar como país miembro en el estudio y confección de nuevos instrumentos.

En los próximos años se pretende estabilizar el consorcio, involucrar más a las diferentes comunidades con el Observatorio, mejorar la infraestructura, incorporar nuevos instrumentos, algunos como visitantes, y ofrecer modos de observación que se adapten mejor a los cambiantes objetivos científicos para telescopios de 8 a 10 m de diámetro. Pensando en ese futuro inmediato, se llevó a cabo una reunión en Toronto (Canadá) en junio del corriente año para discutir la ciencia que se está realizando con las facilidades del Observatorio Gemini, su legado científico y su futuro.

En el futuro, una nueva generación de instrumentos, nuevos modos de observación y la sinergia del Observatorio Gemini con otras facilidades, como el consorcio entre el Observatorio Keck y el TMT (*Thirty Meter Telescope*) con el telescopio Gemini Norte, y ALMA (*Atacama Large Millimeter Array*) y LSST (*Large Synoptic Survey Telescope*) con el telescopio Gemini Sur, deben tenerse en cuenta para continuar siendo competitivos como observatorio astronómico.

3. El nuevo Acuerdo Internacional para el período 2016 a 2021

El Acuerdo Internacional actual que rige el Observatorio Gemini se extiende hasta el 31 de diciembre del 2015. El nuevo Acuerdo Internacional ya ha sido extensamente revisado y en estos momentos se están ultimando algunos detalles

para comenzar el ciclo de firmas. Los países que firman este Acuerdo Internacional son: Argentina, Brasil, Canadá, Chile y Estados Unidos. En este nuevo acuerdo existen momentos de evaluación, llamados *Assessment Points* (AP) donde cualquier miembro puede elegir la continuación en el convenio más allá de la fecha final del mismo. La primera fecha de AP es en el 2018.

Para este nuevo acuerdo se discutieron diferentes modelos de contribuciones en las dos áreas más importantes del presupuesto, que son Operaciones y Mantenimiento (*Operations and Maintenance*, O&M) y Desarrollo Instrumental (*Instrumentation Development Fund*, IDF). Se estableció que la contribución para O&M tendría una tasa modesta de inflación de 3 % anual para Estados Unidos y 2 % para los otros miembros y que la contribución para IDF sería del 10 % de O&M. De esta manera, la contribución de nuestro país en 2015 fue de US\$ 1.119.429 (US\$ 856.174 corresponden a O&M y US\$ 263.255 a IDF). Debido a que la contribución por IDF ha representado más del 30 % de la de O&M para este año, en el 2016 se reduce al 10 % mencionado anteriormente. Así, la contribución 2016 de Argentina será de US\$ 856.174 para O&M y US\$ 85.618 para IDF, con un total de US\$ 941.792.

Agradecimientos

Los representantes argentinos en el Observatorio Gemini deseamos agradecer muy especialmente al Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación por el constante apoyo brindado en estos años que ha facilitado enormemente el trabajo científico y de gobernanza que hemos encarado. Agradecemos a las Universidades Nacionales de Córdoba, La Plata y San Juan, al CONICET, a los distintos Observatorios Astronómicos argentinos y Facultades e Institutos donde realizamos nuestras actividades astronómicas.

UCG: el Comité de Usuarios del Observatorio Gemini

Lilia P. Bassino^{1,2}

¹ Instituto de Astrofísica de La Plata (CONICET-UNLP), Argentina

² Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, Argentina

Resumen

Se presenta una breve descripción del Comité de Usuarios Internacional del Observatorio Gemini, cómo está constituido, por qué motivo fue creado, y cuáles son sus funciones y su cronograma de reuniones.

1. ¿Qué es el UCG?

UCG es la sigla que identifica al Comité de Usuarios Internacional del Observatorio Gemini (*Users' Committee for Gemini Observatory*). Señalamos que es “internacional” para diferenciarlo del Consejo Asesor de Usuarios (CAU) de la Oficina Gemini Argentina (MinCyT), que es un comité diferente, de índole nacional.

El UCG fue creado en julio de 2012, como parte de la estructura del Observatorio Gemini. Funciona como un instrumento de comunicación entre los usuarios y el Observatorio Gemini, y su objetivo es “*informar al Observatorio acerca de críticas y sugerencias referidas a todas las áreas de operaciones que afectan a los usuarios, en base a la propia experiencia de los integrantes del comité así como de toda la comunidad de usuarios Gemini. El Observatorio utilizará esta información para mejorar el servicio que se provee a los usuarios*” (<http://www.gemini.edu/science/#ucg>).

Este Comité depende directamente del Director del Observatorio Gemini, Dr. Markus Kissler-Patig. Sus integrantes son elegidos por el Observatorio, cada 3 años (renovable), en base a las recomendaciones de las Oficinas Nacionales, los usuarios, y el personal (*staff*) del Observatorio. La distribución de los integrantes es representativa de la comunidad internacional y de la experiencia colectiva de los usuarios. Actualmente está integrado por representantes de Canadá, Estados Unidos, Chile, Argentina y Brasil. La primera representante argentina fue la Dra. M. V. Alonso (de 2012 a 2014 inclusive), mientras quien suscribe es representante desde 2015.

2. Reuniones

Se planifica una reunión anual presencial del UCG, y teleconferencias y/o comunicaciones adicionales durante el resto del año. La reunión correspondiente a 2015 se realizó el 19/6/15, al finalizar el Workshop *Future and Science of Gemini Observatory*, en Toronto (Canadá). El coordinador del Grupo de Trabajo de Operaciones (OpsWG) participa de las reuniones “ex officio”, en calidad de observador. Los reportes resultantes de estas reuniones se dirigen al Director y a las Oficinas Nacionales. Por otra parte, tanto las recomendaciones del UCG como las respuestas del Observatorio Gemini son públicas y se archivan en la página web mencionada más arriba. Si los temas lo requieren, el UCG se comunica con otros comités como el OpsWG y el Comité Asesor de Ciencia y Tecnología (STAC).

3. Recomendaciones del UCG al Observatorio Gemini

A modo de ejemplo, se citan algunas de las recomendaciones realizadas por el UGC: intensificar la conexión del UGC con las Oficinas Nacionales; facilitar el acceso de todos los usuarios a las presentaciones de congresos sobre técnicas observacionales, reducción, etc. en varios formatos; difundir rápidamente los eventuales problemas instrumentales que puedan surgir, para que los usuarios decidan si son necesarios cambios en sus programas; plantear mejoras en las distintas etapas de realización de propuestas, obtención y reducción de datos, su almacenamiento; etc.

Dado que los representantes deben hacerse cargo de transmitir sugerencias, pedidos, quejas, etc. de los usuarios, es importante una comunicación fluida de los mismos con los respectivos usuarios de cada país involucrado, sumada a un contacto directo del Observatorio con los usuarios (e.g. mediante la realización de encuestas). Durante el corriente año, se han realizado dos reuniones de usuarios Gemini en Argentina, en el marco de las reuniones “15 Años de Ciencia con Gemini en Argentina” (junio 2015) y la 58a Reunión Anual de la Asociación Argentina de Astronomía (septiembre 2015).

Recientemente, se ha mejorado el GSA (*Gemini Science Archive*), simplificando el acceso por parte de los usuarios y la búsqueda de calibraciones.

4. Ayuda a los usuarios

Existe una Mesa de Ayuda (*Helpdesk*) para temas relacionados con las etapas preobservación (Fase I y Fase II) así como post-observación (procesamiento de datos), de las que son responsables las Oficinas Nacionales, y para temas de ayuda durante la ejecución de las observaciones (e.g. Científicos de Contacto) y asistencia para las solicitudes de usuarios por parte de expertos.

Otra vía de ayuda es el “Foro de Usuarios para Reducción de Datos Gemini” (<http://drforum.gemini.edu>) que está dirigido particularmente a la comunicación entre usuarios, con menor intervención de expertos. Se trata de un ámbito para compartir ideas, scripts, ejemplos prácticos, discusiones sobre procesos de reducción de datos y estrategias, etc.

La Oficina Gemini Argentina

Lydia S. Cidale^{1,2,3} y Sergio A. Cellone^{1,2}

¹ Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, Argentina

² Instituto de Astrofísica de La Plata (CONICET-UNLP), Argentina

³ Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación, Argentina

Resumen

La Oficina Gemini Argentina (OGA) es una dependencia de la Secretaría de Articulación Científico Tecnológica a través de la Subsecretaría de Coordinación Institucional del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación. Una de las funciones de esta oficina es articular los medios para que los usuarios del Observatorio Gemini puedan realizar sus propuestas de investigación de manera eficiente. Describimos brevemente la estructura de la OGA y sus funciones a nivel nacional e internacional. Brindamos, además, una reseña del impacto que ha tenido el proyecto Gemini en la comunidad argentina.

1. Introducción

El Proyecto Gemini es un acuerdo internacional en el que participa la República Argentina desde sus comienzos (1993), y cuyo compromiso se extiende hasta el año 2021¹ inclusive. El objetivo inicial del proyecto fue construir, instalar, poner en marcha y operar dos telescopios gemelos de 8.1 metros de diámetro. Uno emplazado en el hemisferio norte (Mauna Kea, Hawaii, EEUU), en operación desde el 2000, y el otro en el hemisferio sur (Cerro Pachón, Chile), en actividad desde el 2001. El diseño de los telescopios e instrumentos, así como la selección de los sitios de instalación de los mismos, se hizo con el objetivo de lograr imágenes del universo de muy alta calidad, de casi la totalidad de la esfera celeste, tanto en el rango óptico como en el infrarrojo.

Para lograr este propósito se conformó un consorcio internacional (Observatorio Gemini) integrado originalmente por los Estados Unidos de América, el Reino Unido, Canadá, Chile, Brasil, Australia y Argentina. En la primera etapa, Argentina participó con el 2.5 % del total aportado por los diferentes socios. El retiro del Reino Unido del consorcio (2012) permitió aumentar nuestra contribución a 3.24 % (unas 10 noches de observación por semestre) pero el Observatorio tuvo que proponer un plan de transición para afrontar la disminución del presupuesto². A partir del 2016, con la firma del nuevo convenio, Argentina participará con un 3.0 %.

¹ Considerando la renovación del nuevo convenio para el período 2016-2021, próximo a firmarse.

² El plan de transición sólo permite el uso de 4 instrumentos por telescopio más un puerto de

2. Estructura y funciones de la OGA

La Oficina Gemini Argentina (OGA) es una oficina de asesoramiento y soporte técnico cuyo objetivo es lograr que la comunidad argentina haga uso de los recursos de Gemini de manera eficiente. Actualmente es una dependencia de la Secretaría de Articulación Científico Tecnológica a través de la Subsecretaría de Coordinación Institucional del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación (MinCyT).

La oficina cuenta con la siguiente estructura:

- **Soporte Técnico:** a cargo de un coordinador y 3 asistentes con dedicación exclusiva.
- **Actividades de Gestión y Asesoramiento:** Argentina participa en las distintas comisiones del Observatorio con un representante en el Directorio, un representante en el Comité de Asesoramiento Científico y Tecnológico (STAC), un representante en el Comité Internacional de Usuarios, un representante en el Comité Internacional de Asignación de Tiempo (ITAC), y un representante en la Comisión Evaluadora de programas grandes y largos (LLP). Además, a nivel nacional se ha conformado el Consejo Asesor de Usuarios, integrado por representantes de varias instituciones argentinas.

Los nombres y cargos de cada uno de los respectivos representantes por Argentina están disponibles en la página *web* del MinCyT: <http://www.geminiargentina.mincyt.gob.ar/estructura.php>.

A continuación se mencionan algunas de las funciones que tiene la OGA, según se establece en el convenio firmado entre las diferentes oficinas Gemini de los países miembros del consorcio.

1. Ofrecer delegados para los diferentes comités nacionales e internacionales (Directorio, STAC, LLP, etc.)
2. Informar a los representantes del comité de Gobierno de Gemini y al Observatorio Gemini, los comentarios de los usuarios (solicitados y/o espontáneos) y los problemas de la comunidad de Gemini.
3. Ofrecer representación de Gemini en Reuniones de Astronomía de carácter nacional. Invitar al personal de Gemini a dichas reuniones.
4. Difundir las capacidades de Gemini dentro de su comunidad nacional. Realizar presentaciones o seminarios a potenciales usuarios para que conozcan la disponibilidad instrumental de Gemini.
5. Contribuir con la divulgación de la revista *Gemini Newsletter* y cualquier otro documento informal o publicitario.

acceso para la óptica adaptativa, sin descuidar las tareas de operación, renovación y mantenimiento de los instrumentos.

6. Fomentar la utilización de la Mesa de Ayuda de Gemini (*Helpdesk*) como la manera oficial de realizar consultas.
7. Proporcionar soporte durante el proceso de Fase I y Fase II (este último tanto a nivel nacional como internacional).
8. Promover la inclusión del reconocimiento a Gemini y referencias al Observatorio Gemini en las publicaciones.
9. Colaborar con los foros de usuarios y asesorar en la reducción de datos.
10. Llamar a propuestas y cumplir los plazos indicados por Gemini.
11. Garantizar que todas las personas que hayan enviado una propuesta reciban una devolución en un plazo acorde.
12. Revisar el funcionamiento de las herramientas y *softwares* elaborados por Gemini.

3. Uso de los recursos del Observatorio

Para poder adquirir datos con los instrumentos del Observatorio Gemini, existen dos llamados por año para la presentación de solicitudes de tiempo. El semestre A se extiende desde el 1 de febrero al 31 de julio, fijándose el 30 de septiembre, aproximadamente, como fecha de cierre de las presentaciones. El semestre B comienza el 1 de agosto y se prolonga hasta el 31 de enero, siendo la fecha aproximada de cierre para presentaciones, el 31 de marzo.

En la página *web* del MinCyT se encuentra disponible dicha información (<http://www.geminiargentina.mincyt.gob.ar/index.php>). Allí se puede consultar la fecha de cierre para la presentación de propuestas, horas ofrecidas, instrumentos disponibles para cada semestre y recomendaciones para el solicitante. Los detalles técnicos sobre cada instrumento y las restricciones de su uso están disponibles en la página *web* <http://www.gemini.edu>.

El envío electrónico de una propuesta se realiza después de completar un formulario de solicitud de tiempo de observación, en formato xml (*Extensible Markup Language*), que debe realizarse usando una interfase gráfica, denominada Fase I o PIT (*Phase I submission tool*) que provee el observatorio.

Existen diferentes modalidades para solicitar turnos:

- **Modo clásico:** el observador asiste al Observatorio para ejecutar su programa de observación.
- **Modo de servicio:** el programa es ejecutado por un operador siguiendo un cronograma determinado, que depende de las condiciones climáticas de las observaciones solicitadas y de la visibilidad de los objetos.
- **Modo visitante privilegiado:** Un observador visitante ejecuta un bloque de propuestas pero elige condiciones más adecuadas para ejecutar su propia

propuesta.

- **Tiempo a discreción del director:** Propuestas de alto impacto a ejecutarse inmediatamente, dado un evento de interés inesperado, son pedidas excepcionalmente y autorizadas por el director del Observatorio Gemini.
- **Programas grandes y largos:** (*Long and Large Programs*, LLP) destinados a grupos internacionales cuya propuesta necesite realizarse por períodos extensos (más de 100 h por semestre, a lo largo de varios semestres).
- **Modo rápido:** (*Fast turnaround programs*) propuestas mensuales que se evalúan y se ejecutan en el transcurso de unas pocas semanas. Estos programas están destinados a la realización de trabajos de alto impacto, finalización de tesis u observaciones de riesgo.

En caso de obtener tiempo de observación, comienza la Fase II, donde se diagraman las observaciones utilizando otra interfase (*Phase II Observation Tool - OT*).

4. Impacto de Gemini en Argentina

Los datos adquiridos con los recursos ofrecidos por el Observatorio Gemini, en estos 15 años que lleva en funcionamiento, han permitido a la comunidad argentina publicar 64 artículos con arbitraje en revistas internacionales y más de 90 publicaciones en congresos nacionales e internacionales. Además, se han concluido 11 tesis doctorales y otras 11 están en curso. Un listado detallado y actualizado de toda esta actividad puede encontrarse en: <http://www.geminiargentina.mincyt.gob.ar/publicaciones.php>.

La Figura 1 refleja la creciente evolución de la producción científica alcanzada con Gemini por nuestra comunidad. El bajo número de trabajos de los primeros años, refleja una etapa de aprendizaje y adaptación a una nueva tecnología, y el desaliento por la cancelación del servicio y consecuente pérdida de tiempo de observación por 5 semestres, resultado de la falta de pago. A partir del año 2012, y bajo la dependencia del MinCyT, se observa un aumento de la producción científica en respuesta a un creciente uso de las facilidades que brinda Gemini y a la regularidad de los pagos.

La Figura 2 (*izq.*) presenta una comparación de la producción de la comunidad Gemini con la de los telescopios de 10 metros del Observatorio Keck, que operan con anterioridad al 2000. Se nota el crecimiento de la producción de Gemini, tanto absoluto como relativo con respecto a Keck. A la derecha se muestra el factor de sobresolicitud³ de propuestas presentadas por toda la comunidad Gemini, tomando como ejemplo el semestre 2014B. Se observa que Argentina iguala o supera el

³Cociente entre el tiempo total solicitado y el tiempo disponible.

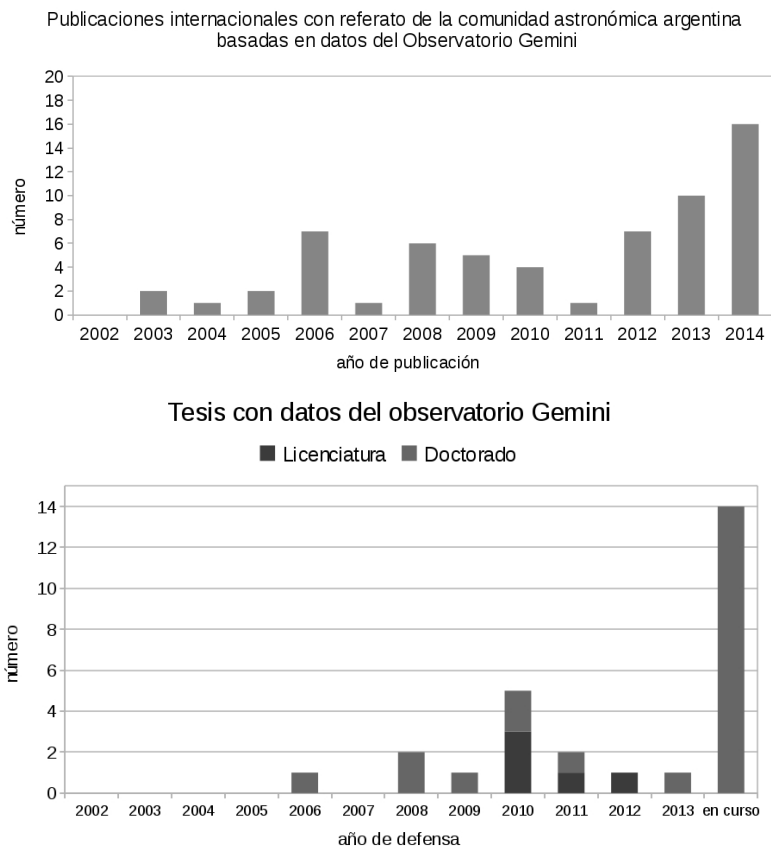


Figura 1: *Arriba*: publicaciones internacionales con referato producidas por investigadores argentinos. *Abajo*: número de tesis por año desarrolladas con datos obtenidos con instrumentos de Gemini.

número correspondiente al resto de los países.

En la Figura 3 se muestra el uso de los recursos por institución, donde se observa la participación de usuarios de todas las instituciones del país y su interés por la instrumentación que ofrece el Observatorio Gemini.

5. Conclusiones

Al participar del proyecto Gemini, Argentina se involucra y contribuye al desarrollo mundial del conocimiento científico-tecnológico, siendo reconocida como una nación latinoamericana que integra la vanguardia de la investigación en este campo. El resultado de toda la producción científica realizada con datos del Observatorio Gemini asciende a 1630 publicaciones con referato + 900 producidas por el staff,

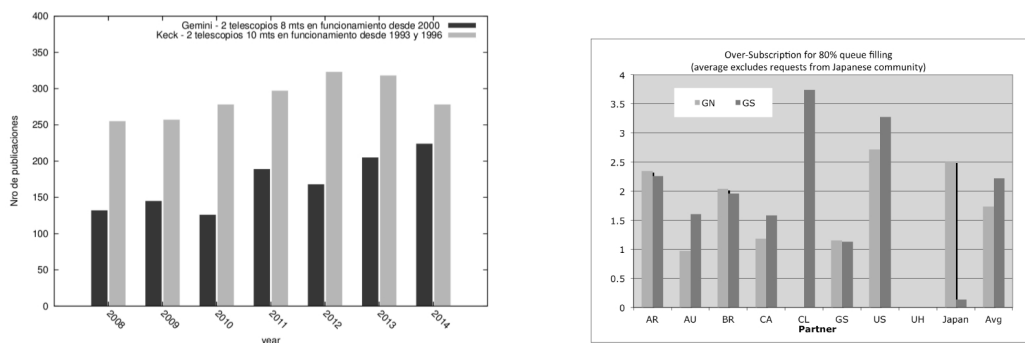


Figura 2: *Izquierda*: comparación entre la producción de la comunidad Gemini con el número de publicaciones realizadas por los telescopios del observatorio Keck, en operación con anterioridad al 2000. Se observa el crecimiento de la producción del Observatorio Gemini año tras año. *Derecha*: factor de sobresolicitud de propuestas por la comunidad Gemini en el semestre 2014B. Argentina muestra un importante interés.

Nro. de investigadores principales (PI) con tiempo adjudicado
semestres 2001B a 2014A (Gemini Norte + Sur)

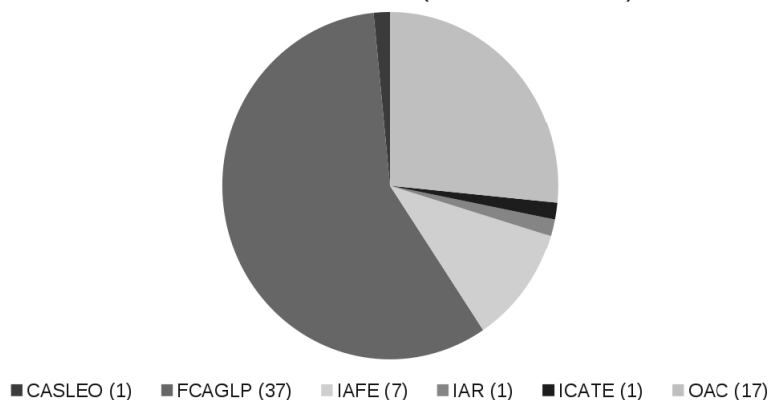


Figura 3: Participación de los usuarios por institución desde el 2001.

donde la República Argentina y el MinCyT figuran con más de 2600 citas.

Agradecimientos

La OGA agradece al Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación por todo el apoyo que nos ha brindado en todos estos años. Agradece, además, a los usuarios de Gemini e instituciones vinculadas con la astronomía argentina que día a día permiten la continuidad de este proyecto.

GeMS y GSAOI: capacidades observacionales, resultados científicos y perspectivas futuras

Eleazar R. Carrasco

GEMINI Observatory/AURA, Southern Operations Center, La Serena, Chile

Resumen

El Sistema de Óptica Adaptativa Multiconjugada de Gemini es el primer, y hasta ahora único, Sistema de Óptica Adaptativa Multiconjugada disponible en un telescopio de ocho metros en el mundo. El Capturador de Imágenes de Óptica Adaptativa de Gemini Sur es un instrumento que registra imágenes en el infrarrojo cercano, diseñado para ser utilizado con el Sistema Multiconjugado de Óptica Adaptativa. Juntos pueden observar objetos astronómicos con una calidad de imagen uniforme y cercana al límite de difracción óptico del telescopio, dentro de un campo de visión de $85'' \times 85''$ en cielo. Después de dos años de trabajo y más de noventa noches de caracterización en el cielo, a fines del año 2012 ambos instrumentos comenzaron a producir los primeros resultados científicos. En este trabajo se presentan, en forma bien resumida, las principales características de estos dos instrumentos, el rendimiento general del sistema en base a los resultados obtenidos a partir de la caracterización de estos, se ponen en relevancia algunos resultados científicos obtenidos recientemente, y se discuten algunas mejoras futuras.

1. Óptica Adaptativa con Gemini

El Observatorio Gemini ha desarrollado un agresivo plan para la utilización de la óptica adaptativa (AO) desde que ambos telescopios comenzaron a operar en el año 2000. Es así que hoy en día, la mayoría de los instrumentos que están disponibles para la comunidad en ambos telescopios, tienen la capacidad de utilizar los módulos AO para corregir los efectos producidos por la turbulencia atmosférica. En la Figura 1 se muestran en forma esquemática los diferentes módulos AO que los telescopios Gemini han utilizado y utilizan desde que comenzaron a operar. Como se puede ver en la Figura 1, el programa AO de Gemini ha seguido dos caminos. Uno es el que utiliza módulos AO con alta corrección de Strehl y campos pequeños de visión. Un ejemplo de este tipo de módulos es el buscador de planetas de Gemini (GPI), recientemente caracterizado. En el otro camino, predomina básicamente el tamaño del campo de visión por sobre la alta corrección de Strehl. Ejemplos de este tipo de módulos AO son ALTAIR (*ALTitude conjugate Adaptive optics for the Infra Red*) instalado en Gemini Norte y el recientemente caracterizado Sistema de Óptica Adaptativa Multiconjugada (MCAO - *Multi-Conjugate Adaptive Optics*) en

Gemini Sur. Mayor información sobre el program de AO del Observatorio Gemini se puede encontrar en <http://www.gemini.edu/sciops/instruments/gems/?q=node/10740>.

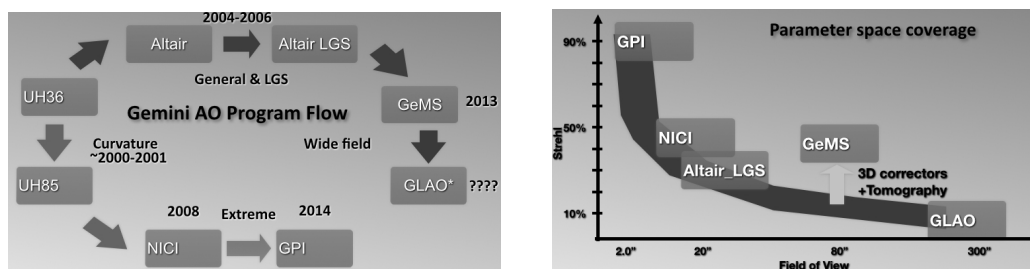


Figura 1: *Izquierda:* módulos de óptica adaptativa utilizados por el Observatorio Gemini desde sus inicios hasta hoy en día. *Derecha:* correcciones de Strehl en función del área de cobertura en el cielo para cada módulo AO.

2. El Sistema de Óptica Adaptativa Multiconjugada de Gemini

El Sistema de Óptica Adaptativa Multiconjugada de Gemini (GeMS - *Gemini Multi-Conjugate Adaptive Optics System*) es el primer sistema MCAO instalado en un telescopio de ocho metros que se ofrece a la comunidad astronómica en el mundo. Este sistema utiliza cinco estrellas de guiado láser (LGS), distribuidas en una constelación de $1'$ de lado que se usa para medir y compensar por la distorsión atmosférica. Este tiene la capacidad de producir imágenes cercanas al límite de difracción óptica del telescopio en el infrarrojo cercano, con una calidad uniforme dentro de un campo de visión mayor a $1'$ en el cielo. GeMS está formado por 3 subsistemas principales: *i)* el láser de 50 Watts que se divide en 5 haces diferentes, de 10 Watts cada uno, por una serie de divisores de haz, para formar la constelación; *ii)* el sistema óptico de transferencia del láser; y *iii)* la unidad AO llamada CANOPUS, que corrige las distorsiones usando dos espejos deformables y conjugados a 0 y 9 kilómetros de altitud, y una serie de sensores de frente de onda que corrigen el guiado utilizando hasta 3 estrellas naturales. La Figura 2 muestra en forma esquemática los 3 subsistemas montados en el telescopio de Gemini Sur. GeMS puede ser utilizado con varios de los instrumentos disponibles en el telescopio. Es posible observar con el Capturador de Imágenes y Espectrógrafo Multiobjeto de campo de visión grande (Flaminos-2) y con el Capturador de Imágenes de Óptica Adaptativa de Gemini Sur (ver sección 3), ambos en el infrarrojo cercano, y potencialmente con el Espectrógrafo

Multiobjeto de Gemini (GMOS - *Gemini Multi-Object Spectrograph*) en el óptico (entre $0.85 \mu\text{m}$ y $1 \mu\text{m}$).

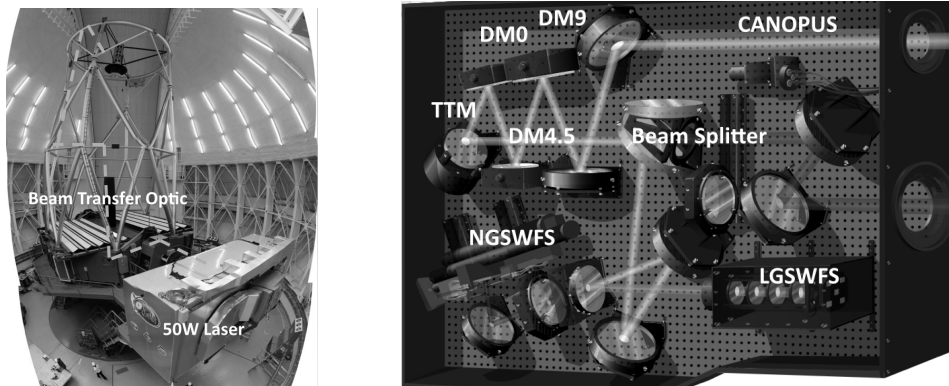


Figura 2: Subsistemas principales que conforman GeMS. *Izquierda*: vista del telescopio Gemini Sur con el láser de 50 Watts y el sistema de transferencia óptica. *Derecha*: esquema de la unidad de AO CANOPUS.

El sistema es altamente complejo. Requiere una excelente sincronización entre los diferentes subsistemas ya que más de 20 lazos deben ser cerrados para que las correcciones puedan ser pasadas a las imágenes que se registran usando los diferentes instrumentos. Mayor información sobre el diseño e integración del sistema, una introducción a MCAO y a GeMS y sus principales características se pueden encontrar en el trabajo de Rigaut et al. (2014) y en <http://www.gemini.edu/sciops/instruments/gems/>.

3. Capturador de Imágenes de Óptica Adaptativa de Gemini Sur

El Capturador de Imágenes de Óptica Adaptativa de Gemini Sur (GSAOI - *Gemini South Adaptive Optics Imager*) es una cámara AO que permite capturar imágenes en el infrarrojo cercano y ha sido diseñado para ser utilizado exclusivamente con GeMS. Este instrumento está localizado a la salida de CANOPUS (distancia focal $f/32$) y puede generar imágenes cercanas al límite de difracción óptico del telescopio en un intervalo de longitudes de onda que van desde $0.9 \mu\text{m}$ hasta $2.5 \mu\text{m}$, dentro de un campo de visión de $85'' \times 85''$ y con un tamaño de muestreo de $0''.02$ por píxel. Este instrumento posee un conjunto de 6 filtros de banda ancha y 16 filtros de banda angosta que permiten observar objetos dentro del intervalo de longitudes de onda mencionado arriba. Las imágenes de GSAOI se

registran en cuatro detectores HAWAII-2RG (H2RG) de Rockwell, los cuales tienen un tamaño de 2048×2048 píxeles ($18 \mu\text{m}$) cada uno. Los detectores están montados en un mosaico de 2×2 y proveen una imagen única en el plano focal de 4080×4080 píxeles. Cada detector tiene una Ventana de Guiado programable (ODGW - *On-Detector Guide Window*) que se puede usar para corregir los efectos de flexión entre GeMS y GSAOI. La corriente oscura de los detectores es baja ($0.01 \text{ e}^-/\text{píxel}/\text{segundo}$) y estable, por lo que no es necesario corregir por *dark*. Los detectores muestran una gran cantidad de “píxeles calientes” y algunos “píxeles malos” que deben ser removidos usando una máscara. Las imágenes *dome flat* muestran ciertas estructuras. Estas estructuras son totalmente removidas después de aplicarse la corrección por *flat*. Más detalles sobre GSAOI (descripción detallada del instrumento, respuestas de los filtros, características de los detectores, etc.), se pueden encontrar en los trabajos de McGregor et al. (2004), Carrasco et al. (2012), y en <http://www.gemini.edu/sciops/instruments/gsaoi/>.

4. Rendimiento del sistema

La caracterización técnica del láser y el sistema MCAO se realizaron entre enero del 2011 y mayo del 2012. Durante el mismo período, se obtuvieron datos para mostrar el rendimiento y las capacidades del sistema en general. Ya entre enero del 2012 y febrero del 2013, con todos los subsistemas integrados, se comenzó a observar regularmente con GeMS y GSAOI. La caracterización de GSAOI se completó en enero del 2013 para dar paso a las observaciones científicas. Uno de los puntos altos durante el período de caracterización fue demostrar que GeMS pudiese generar imágenes uniformes y cercanas al límite de difracción óptica del telescopio. Las primeras imágenes generadas con GeMS y GSAOI muestran que la función de propagación puntual (PSF) es uniforme con una variación de entre 3% a 5% dentro del campo de visión de GSAOI. Este resultado se obtuvo a partir de las observaciones del cúmulo globular NGC 288, imagen que se muestra a la izquierda de la Figura 3. La calidad de las imágenes (FWHM y Strehl) para diferentes condiciones observacionales se determinó en base a observaciones sistemáticas de diferentes objetos realizadas entre diciembre del 2012 y mayo del 2013, utilizando más de 200 imágenes con 3 estrellas naturales de guiado y con tiempos de exposición mayores a 10 segundos. El resultado de estas observaciones se puede apreciar a la derecha de la Figura 3.

Otros resultados muestran que la calibración fotométrica se puede determinar con una exactitud de hasta un 5%. El rendimiento total del sistema, calculado a partir de calibraciones fotométricas, es mejor de lo estimado inicialmente en los filtros *H* y *K*, e igual en el filtro *J*. La presentación completa de los resultados obtenidos

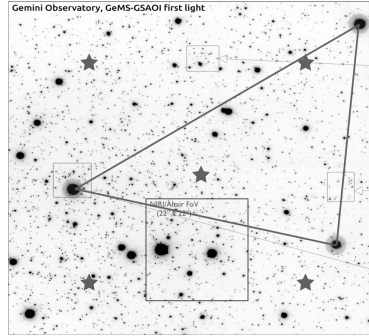


Table 1. Delivered average Strehl ratios for different seeing conditions (seeing @ 550nm)

Natural Seeing @550nm	Strehl ratio (J)	Strehl ratio (H)	Strehl ratio (K)	Gemini IQ constrain (zenith)
<0.45"	10%	15%	30%	20%-ile
0.45" - 0.80"	5%	10%	15%	70%-ile
0.80" - 1.00"	2%	5%	10%	85%-ile

Table 2. Delivered FWHM for different seeing conditions (seeing @ 550nm)

Natural Seeing @550nm	FWHM (J)	FWHM (H)	FWHM (K)	Gemini IQ constrain (zenith)
<0.45"	0.08"	0.07"	0.06"	20%-ile
0.45" - 0.80"	0.13"	0.10"	0.09"	70%-ile
0.80" - 1.00"	0.15"	0.13"	0.12"	85%-ile

Figura 3: Imagen combinada de NGC 288, con una resolución media de $0''.080 \pm 0''.002$ (arriba). Valores medios de la corrección por Strehl (*centro*) y de resolución (*abajo*) para diferentes condiciones observacionales en calidad de imagen natural.

a partir de la caracterización de GeMS y GSAOI en su conjunto, y de GSAOI en particular, se pueden encontrar en los trabajos de Neichel et al. (2014a,b) y Carrasco et al. (2012) respectivamente.

5. Ciencia con GeMS y GSAOI

Algunos de los trabajos derivados de las observaciones científicas obtenidas con GeMS y GSAOI van desde el análisis fotométrico de grupos abiertos jóvenes (e.g. Davidge et al. 2013), pasando por el estudio de la estructura y propiedades físicas del cúmulo globular Liller 1 (Saracino et al. 2015), hasta las observaciones de cúmulos de galaxias enmarcadas en el proyecto *HST Frontier Field* (Schirmer et al. 2015). Todos estos resultados tienen algo en común: la alta calidad de los datos y una resolución sin precedentes. Es de esperarse que más resultados científicos de alto impacto salgan a la luz en el futuro cercano.

6. Perspectivas futuras

Las limitaciones en el rendimiento de GeMS son varias. Respecto al láser, su inestabilidad y baja calidad del haz, la dependencia del retorno de fotones desde la atmósfera (más baja entre diciembre y marzo), y una potencia menor a lo esperado (actualmente de un 30% a 32%) han afectado directamente la calidad final de las imágenes. Las magnitudes límites de las estrellas naturales de guiado son otra limitante, ya que estas tienen que ser más brillantes que $R = 15.5$ mag, reduciendo drásticamente el área a observar en el cielo.

Los efectos generados por estas limitantes podrán ser subsanados parcialmente a partir del año 2016 cuando un nuevo sistema de guiado sea instalado en CANOPUS. Este proyecto, denominado NGS2, va a permitir utilizar estrellas naturales de guiado hasta $R = 17.5$ mag, pudiendo así aumentar el área a observar en el cielo. La segunda mejora que se pretende implementar en un futuro cercano, es la adquisición de un nuevo láser, más compacto y estable, que permitirá obtener imágenes de mejor calidad y operar GeMS en forma más segura y fluida.

Agradecimientos

Mis agradecimientos al Comité Organizador por la invitación y la excelente acogida y organización del evento. GeMS y GSAOI no hubieran sido posibles sin el trabajo abnegado de los ingenieros, técnicos, científicos y administrativos del Observatorio Gemini. Los más sinceros agradecimientos por haber hecho realidad este sistema único en el mundo.

Referencias

- Carrasco, E. R., Edwards, M. L., McGregor, P. J., et al. 2012, Proc. SPIE, 8447, 8447N
- Davidge, T. J., Carrasco, E. R., Winge, C., et al. 2013, PASP, 125, 1181
- McGregor, P., Hart, J., Stevanovic, D., et al. 2004, Proc. SPIE, 5492, 1033
- Neichel, B., Lu, J. R., Rigaut, F., et al. 2014a, MNRAS, 445, 500
- Neichel, B., Rigaut, F., Vidal, F., et al. 2014b, MNRAS, 440, 1002
- Rigaut, F., Neichel, B., Boccas, M., et al. 2014, MNRAS, 437, 2361
- Saracino, S., Dalessandro, E., Ferraro, F. R., et al. 2015, ApJ, 806, 152
- Schirmer, M., Carrasco, E. R., Pessev, P., et al. 2015, ApJS, 217, 33

El Espectrógrafo Infrarrojo Flamingos–2

Rubén Díaz^{1,2}

¹ GEMINI Observatory/AURA, Southern Operations Center, La Serena, Chile

² Instituto de Ciencias Astronómicas, de la Tierra y del Espacio (CONICET), Argentina

Resumen

Flamingos–2 (F2) es un espectrógrafo multifunción criogénico que opera en el rango espectral $0.9 - 2.5 \mu\text{m}$, diseñado para proveer capacidad de imagen en un campo de $6'$ con 7 filtros, espectroscopía de ranura larga de $4.5'$, y espectroscopía multiobjeto (~ 80 objetos en un campo de $2' \times 6'$). Se resume la performance actual del instrumento para el modo imagen en las bandas Y , H , J , K_s y para el modo ranura larga en resoluciones espectrales $R \sim 1000$ y $R \sim 3000$. Finalmente se presentan los planes para la puesta en servicio (*commissioning*) del modo multiobjeto y el uso con el sistema de óptica adaptable multiconjugada (GeMS).

1. Antecedentes

Flamingos–2 (F2) es un espectrógrafo multifunción criogénico que opera en el rango espectral $0.9 - 2.5 \mu\text{m}$, diseñado para proveer capacidad de imagen en un campo de $\sim 6'$ con 7 filtros, espectroscopía de ranura larga de $4.5'$, y espectroscopía multiobjeto (~ 80 objetos en un campo de $2' \times 6'$, Figura 1). La resolución espectral nominal puede ser de $R \sim 1000$ ó $R \sim 3000$, dependiendo del dispersor (*grism*) elegido, con varias opciones de anchos de ranura entre $0.18''$ y $1.44''$. F2 fue diseñado y construido por la Universidad de Florida (Eikenberry et al. 2008). La Tabla 1 resume las características del instrumento. Iniciamos el comisionado científico del instrumento a fines de 2011 (Gómez et al. 2012). Durante el tercer turno de comisionado científico del instrumento, este sufrió la rotura de la primera lente del sistema colimador-cámara durante una prueba del cambio de máscaras. En este proceso el compartimiento criogénico delantero del instrumento debe pasar de los 100 K a la temperatura ambiente en unas pocas horas. Como consecuencia de esta falla, y mientras se procuraba una nueva lente, los Grupos de Ingeniería y Desarrollo de Gemini trabajaron durante un año en la mejora de los acoples termomecánicos entre los elementos ópticos y la estructura de los compartimientos criogénicos a fin de que la óptica soporte mejor los numerosos ciclos térmicos a que estará sometida durante la observación de espectroscopía multiobjeto infrarroja. En 2013 el instrumento comenzó a operar en el modo regular de fila en Gemini Sur, aunque su performance óptica definitiva no se había alcanzado aún (véase Díaz et al. 2013). Finalmente, en 2014 se alcanzó la performance nominal en los modos

imagen directa y ranura larga, y en la sección que sigue describimos la performance actual del instrumento. En la última sección resumimos los planes para la puesta en marcha del modo multiobjeto y el modo complementario al sistema de óptica adaptable multiconjugada (GeMS).

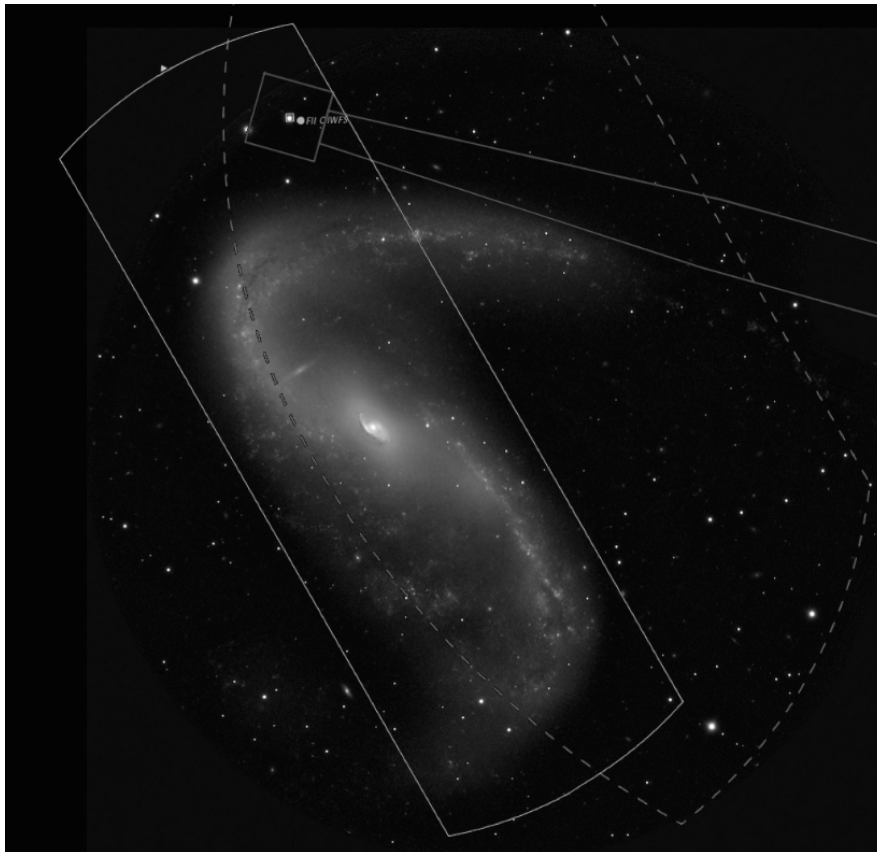


Figura 1: Imagen de la galaxia activa NGC 2442, compuesta a partir de observaciones con F2 en bandas J , H y K_s . La línea llena demarca el campo de una máscara de espectroscopía multiobjeto ($2' \times 6'$) y la línea de trazos marca el gran campo disponible para selección de una estrella de guiado con el sensor del frente de onda (OIWFS), delineado en gris oscuro.

2. Performance presente

Los valores aproximados de transmisión, incluyendo telescopio, atmósfera, y eficiencia cuántica del detector Hawaii-2, son $J = 0.20 \pm 0.03$, $H = 0.34 \pm 0.03$, $K_s = 0.39 \pm 0.03$. Los puntos de cero fotométricos, es decir los valores en flujo de

Tabla 1: Características de F2

Parámetro	Valor
Rango espectral	0.9 – 2.5 μm
Campo	6.1' (circular), ó 2' (AO/GeMS)
Escala	0.18'' pixel ⁻¹ ó 0.09'' pixel ⁻¹ (AO/GeMS)
Calidad de imagen	$\sim 0.35''$ (80% EED) (IQ20, sin OA)
PSF interna	25 μm (50% EED), 43 μm (80% EED)
Diámetro de pupila	102 mm
Resolución (2 pix)	$R \sim 1000$ ó $R \sim 3000$
Rangos opcionales	0.9 – 1.8 μm , 1.25 – 2.5 μm , o J, H, K_s
Campos espectroscópicos	4.4' (RL) ó 6.1' \times 2' (MOS)
Cantidad de máscaras	9, por cada ciclo térmico
Máx. # objetos p/máscara	120 (seeing IQ20)
Detector	Hawaii-2 (2048 \times 2048 pixeles de 18 μm)
Temperatura de operación	~ 100 K (máscaras), 80 K (detector)
Corriente de oscuridad	$\sim 0.5 \text{ e}^- \text{ s}^{-1} \text{ pixel}^{-1}$ en $T = 80$ K
Linearidad	mejor que 0.5% entre 4000 y 21000 ADU
Saturación	~ 35.000 ADU, ó $\sim 145.000 \text{ e}^-$ (gan. 4.4 $\text{e}^- \text{ ADU}^{-1}$)

1 e-/sec registrados en el detector, son $J \approx 25.2$, $H \approx 25.6$, $K_s \approx 25.0$. La Figura 2 muestra la calidad de imagen alcanzada; en condiciones de IQ20 el FWHM es $< 0.4''$ en todo el campo de 6' de diámetro. Las magnitudes límites para espectroscopía pueden ser vistas como las magnitudes de fuentes puntuales para las cuales se alcanza relación S/N ~ 3 en el espectro continuo, en una hora de exposición total efectiva sobre el objeto: dispersor JH (0.9 – 1.9 μm), $H \sim 18.7$ mag y $J \sim 18.4$ mag; dispersor HK (1.5 – 2.4 μm), $H \sim 18.7$ mag y $K_s \sim 17.6$ mag. Para alcanzar estas magnitudes límites se requieren condiciones fotométricas (CC50) y de buen seeing (IQ70). La Tabla 2 realiza una comparación de sensibilidad con otros dos instrumentos similares. La Figura 3 muestra una sección de espectro de ranura larga. El uso de líneas telúricas de emisión como referencia permite medir velocidades radiales con precisiones mayores a 5 km/s. Para una comparación con otros espectrógrafos véase Gaspar et al. (2012). Para los modos espectroscópicos se estudió exhaustivamente la flexión instrumental y la flexión relativa entre las máscaras o ranuras, el plano focal del telescopio, y el sensor de frente de onda propio del instrumento (OIWFS). Considerando los tiempos de exposición típicos en el infrarrojo cercano y la estabilidad del espectrógrafo, las flexiones no afectan la precisión en la linearización o en la determinación de velocidades radiales (Díaz et al. 2013).

Tabla 2: Comparación con otros instrumentos en modo imagen. $S/N \sim 5$, exposición total 1 hora, condiciones IQ70 y CC50.

Banda	F2 (GS)	NIRI (GN)	MOIRCS (Subaru)
<i>Y</i>	22.2	–	24.6
<i>J</i>	23.5	23.5	24.0
<i>H</i>	22.7	22.5	23.2
<i>K_s</i>	22.8	22.6	22.8

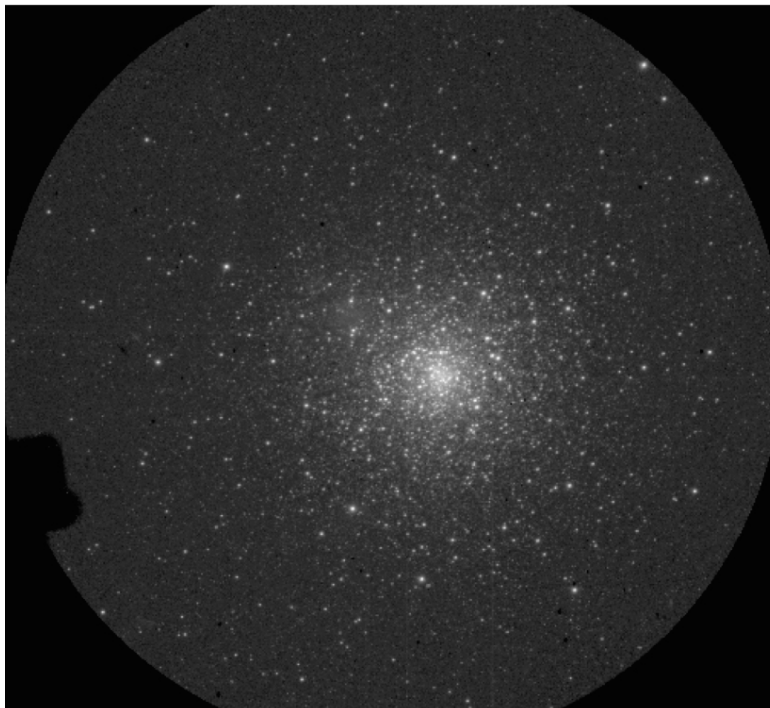


Figura 2: Imagen sin procesar del cúmulo estelar NGC 1851 (cielo sustraído), obtenida en condiciones de IQ20. $\text{FWHM} = 2.1 \pm 0.2$ pixeles = $0.38''$, $e = 0.08 \pm 0.03$ en todo el campo de $6'$.

F2 ya es el segundo instrumento más solicitado de Gemini Sur. Los programas de investigación que solicitan su uso cubren un amplio rango de temas entre los que se puede mencionar la caracterización de asteroides cercanos a la Tierra (NEO) a través de observaciones en movimiento no sidéreo, estudio de tránsitos exoplanetarios, fenómenos de alta energía a través del modo “blanco de oportunidad” (ToO), fotometría y espectroscopía de objetos estelares muy fríos o enrojecidos, fuentes extragalácticas tales como núcleos activos, blazares, lentes gravitacionales y galaxias con alto corrimiento al rojo. Entre las primeras publicaciones se encuentran el

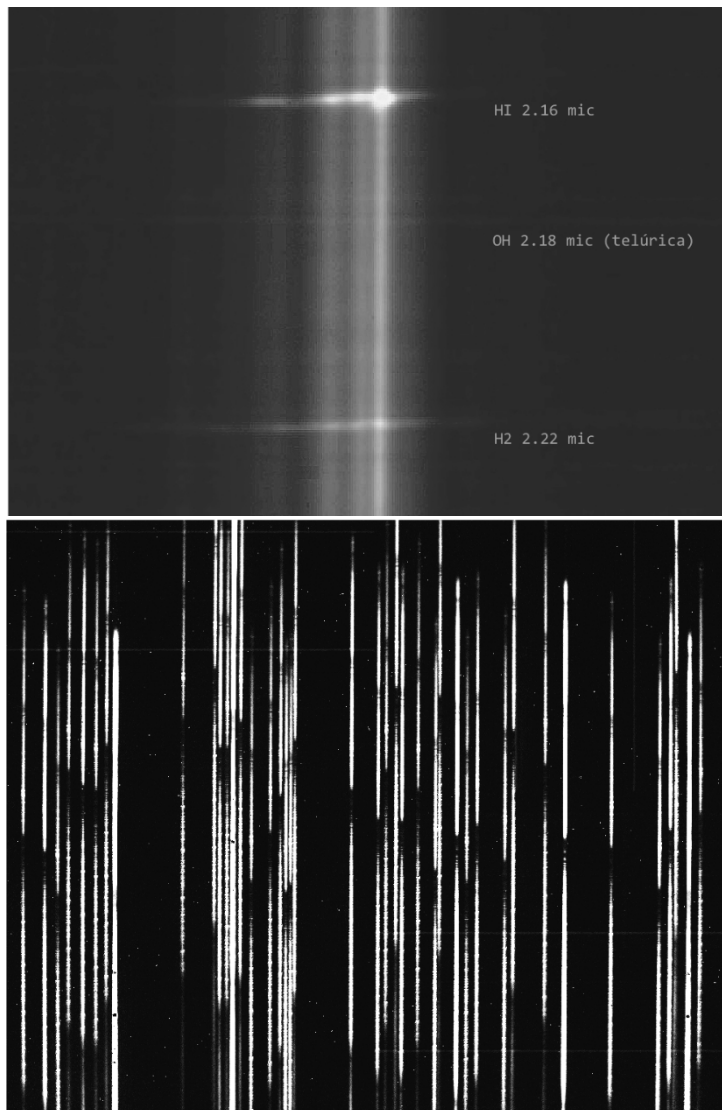


Figura 3: *Arriba*: espectro individual en la banda K , sección en la zona de $B\gamma$ y los 2 minutos de arco centrales de la ranura. *Abajo*: espectro multiobjeto del cúmulo estelar 47 Tuc, sin procesar, región central de la máscara en el rango JH .

estudio detallado de un núcleo galáctico oscurecido (Gunthardt et al. 2015), y el descubrimiento de 42 nuevas estrellas enanas marrones en un gran relevamiento realizado en 2013–2014 (Gagne et al. 2015).

3. Perspectivas

La siguiente etapa de mejoras en el instrumento incluye la puesta en servicio del modo espectroscopía multiobjeto durante 2016. En períodos previos de comisionado se realizaron pruebas preliminares (Fig. 3). Recientemente el progreso en el comisionado se vio demorado por una falla mecánica en el sensor de frente de onda (OIWFS), que se planea resolver a principios de 2016. La reparación requiere que F2 sea retirado del telescopio y llevado a la temperatura ambiente, dado que el OIWFS opera dentro del compartimiento criogénico de máscaras. El software de preparación de máscaras (GMPPS) está en etapa de prueba y la repetibilidad mecánica de la rueda de máscaras ha sido verificada exitosamente. Durante 2016 se realizarán las primeras pruebas de observación conjunta con el sistema de óptica adaptable GeMS. Este último modo de operación proveerá espectroscopía multiobjeto con resolución espacial del orden de los $0.2''$ en un campo de $2'$, lo cual representa una configuración sin precedentes en la instrumentación astronómica. Ya se han encarado los trabajos preliminares incluyendo el diseño del sistema de calibración espectroscópica, ya que la unidad de calibración del telescopio (GCAL) no puede ser usada simultáneamente con el sistema GeMS. A largo plazo, entre las posibles mejoras destaca la introducción de un modo espectroscópico de mayor resolución espectral ($R \sim 6000$) y una cámara más avanzada con un muestreo espacial de $0.045''$, optimizado para las mejores condiciones provistas por el sistema de óptica adaptable en Gemini Sur.

Referencias

- Díaz, R., Gómez, P., Schirmer, M., et al. 2013, BAAA, 56, 457
- Eikenberry, S., Elston, R., Raines, S.N., et al. 2008, Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy II. Proceedings of the SPIE, Volume 7014, article id. 70140V
- Gagne, J., Faherty, J., Cruz, K., et al. 2015, ApJSS, 219, 33
- Gaspar, G., Díaz, R., Gunthardt, G., et al. 2012, BAAA, 55, 297
- Gómez, P., Díaz, R.J., Pessev, P., et al. 2012, American Astronomical Society, AAS Meeting 219, 413.07
- Gunthardt, G., Agüero, M., Camperi, J., et al. 2015, AJ, 150, 139

El Programa de Instrumentación de Gemini

Rubén Díaz^{1,2}

¹ GEMINI Observatory/AURA, Southern Operations Center, La Serena, Chile

² Instituto de Ciencias Astronómicas, de la Tierra y del Espacio (CONICET), Argentina

Resumen

En este trabajo se resume el estado técnico de los instrumentos que operan en Gemini Sur y Norte, y se mencionan algunas de las acciones tomadas para mejorar y mantener científicamente competitivo el conjunto instrumental. Se presentan las características básicas de los próximos instrumentos a ser puestos en operación en 2018 y 2022, y el programa de financiación de proyectos de escala pequeña e intermedia para realizar mejoras instrumentales con participación de la comunidad astronómica.

1. Introducción

Los telescopios Gemini operan en base a un modelo de 4+1 instrumentos cada uno, es decir, se mantienen operativos 4 instrumentos y una unidad de óptica adaptable por telescopio. El conjunto instrumental brinda la posibilidad de observar en el rango óptico e infrarrojo, a través de técnicas de imagen directa, coronografía, espectroscopía 1D (Echelle) hasta 3D (IFU). Los rangos de resolución espectral son variados y alcanzan $R \sim 20.000$, en tanto que la resolución espacial —usualmente limitada por la turbulencia atmosférica— en algunos casos se mejora sustancialmente hasta alcanzar los $0.06''$ en un campo de $90''$ con el sistema de óptica adaptable multiconjugada (GeMS), sistema que no tiene competidores similares en ningún otro observatorio del mundo. Las opciones instrumentales ofrecidas al astrónomo difieren un poco entre los dos sitios (Mauna Kea y Cerro Pachón), pero ambos telescopios ofrecen instrumentos de uso general en los rangos ópticos e infrarrojo cercano (GMOS-N / GMOS-S y GNIRS / F2). También se dispone de instrumentos visitantes, que usualmente son de uso específico, pero que amplían las opciones del usuario. Una característica importante es la robustez del conjunto instrumental, que permite el cambio de un instrumento a otro en alrededor de dos minutos (el tiempo típico de pasar de la observación de un objeto a otro en el cielo), y la respuesta casi inmediata a requerimientos de observación urgentes por medio del sistema de blancos de oportunidad (ToO). El conjunto de instrumentos y la unidad de adquisición y guiado (A&G) están montados sobre un rotador Cassegrain, que a su vez sostiene la estructura de soporte de instrumentos (ISS, Fig. 1). La ISS tiene 5 puertos, uno de los cuales está permanentemente ocupado por la

unidad de calibración (GCAL) y un segundo puerto está usualmente ocupado por la unidad de óptica adaptable (AO). El espejo terciario del telescopio reorienta el haz hacia uno de los cuatro puertos laterales o lo deja pasar hacia el puerto inferior (usualmente dedicado a instrumentos que observan en el infrarrojo térmico o realizan polarimetría). También se pueden usar fibras ópticas para alimentar instrumentos localizados en el pilar del telescopio (como fue bHROS y se planea para GHOST) o en un edificio adyacente (como en el caso de GRACES).

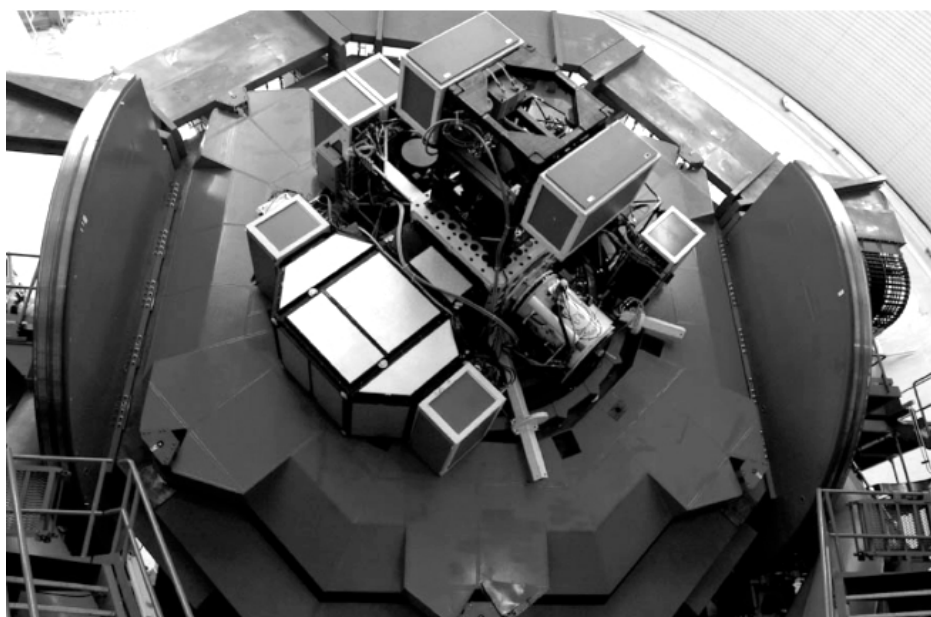


Figura 1: Estructura de soporte de instrumentos (ISS) en la base del telescopio de Gemini Norte.

Para observaciones limitadas por la turbulencia atmosférica (*seeing*), las aberraciones introducidas por variaciones en el vector de gravedad, cambios de temperatura e impacto del viento —en primera aproximación, dirección del frente de onda (*tip/tilt*), foco y astigmatismo del sistema óptico del telescopio— se corrigen usando sensores de frente de onda ubicados en la unidad de adquisición y guiado (PWFS) o en el instrumento mismo (OIWFS). A esto se suma la aplicación de un modelo estático que depende de la posición del telescopio, para correcciones de orden mayor. Para corregir parcialmente el efecto de la turbulencia atmosférica, se usan sistemas de óptica adaptable que, por medio de un láser, generan estrellas artificiales de referencia (ALTAIR en GC y GeMS en GS) que permiten alcanzar una calidad de imagen cercana a la del límite de difracción del telescopio en longitudes de onda del infrarrojo cercano ($1 - 2.5 \mu\text{m}$). Algunos instrumentos tienen su propio sistema de óptica adaptable de alta performance con un campo

muy pequeño y dedicados a la búsqueda de planetas alrededor de estrellas cercanas (p.ej. el coronógrafo NICI o el espectrógrafo de campo integral GPI).

2. Instrumentos en operación

Tabla 1: Capacidades ofrecidas por los instrumentos de Gemini en 2015-2016.

	GMOS-S	F2	GPI	GSAOI	GMOS-N	GNIRS	NIFS	NIRI
Visible	✓				✓			
IR		✓	✓	✓		✓	✓	✓
Imagen	✓	✓		✓	✓	~		✓
R. larga	✓	✓			✓	✓		~
IFU*	✓		✓		✓		✓	
MOS*	✓	✓			✓			
Fallas (h)	26.9 [†]	4.3	15.1 [†]	0.0	5.7	11.0	0.85	4.8
Demanda [‡]	55 %	22 %	13 %	10 %	38 %	21 %	12 %	11 %

(†) Pérdidas mayormente asociadas a la puesta en marcha de nuevas facilidades (todos los datos corresponden a los semestres 14B-15A).

(‡) Fracción aproximada de horas solicitadas en todas las propuestas recibidas en los semestres 15A-15B, por telescopio. GN no suma 100 % debido a la contribución de los instrumentos visitantes GRACES y DSSI.

(*) Unidad de campo integral (*Integral Field Unit*).

(*) Espectroscopía multiobjeto (*Multi Object Spectroscopy*).

La Tabla 1 resume las capacidades que ofrecen los instrumentos disponibles en Gemini en este momento. Cada telescopio tiene un instrumento óptico multipropósito (GMOS-S y GMOS-N), mientras que el resto opera en el rango infrarrojo. Las Figuras 2 y 3 resumen las escalas de imagen, rangos y resoluciones espectrales cubiertos por los instrumentos actualmente en operación. Los instrumentos ópticos GMOS y el infrarrojo F2 son los que proveen mayor cobertura en campo (aproximadamente, 30 minutos cuadrados cada uno), en tanto que el resto de los instrumentos tienen campos de visión un orden de magnitud menores.

La capacidad de espectroscopía multiobjeto es actualmente provista por los GMOS, en tanto que se planea ofrecer este modo de operación en el infrarrojo por medio del F2 en 2016. Se ofrece la posibilidad de realizar espectroscopía de campo integral por vía de unidades de campo integral (IFU) en campos de $5'' \times 3.5''$ o bien de $5'' \times 7''$ en el óptico, y de $3'' \times 3''$ en el infrarrojo. En este último caso, NIFS puede ser complementado con la unidad de óptica adaptable ALTAIR para realizar espectroscopía 3D con resoluciones espaciales cercanas a los $0.1''$.

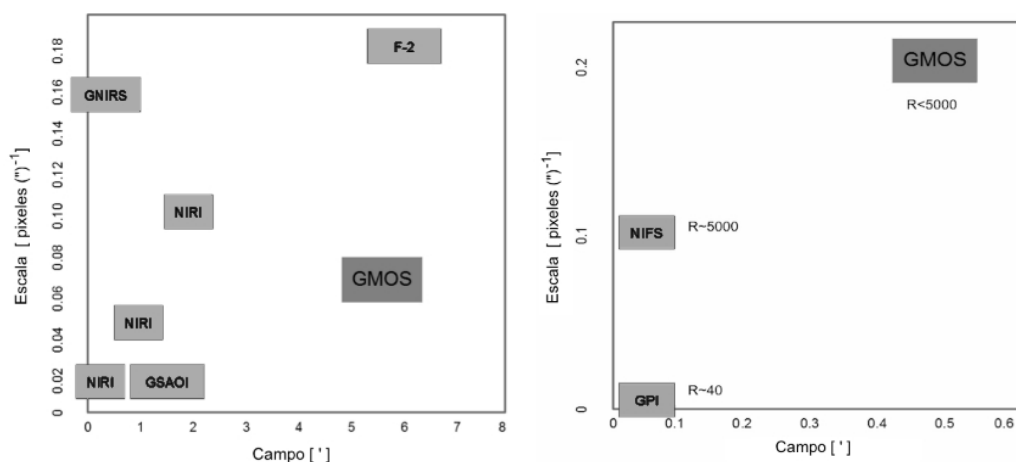


Figura 2: *Izquierda*: escala y campo de los instrumentos que producen imágenes en Gemini. El gris claro indica instrumentos infrarrojos, y el gris oscuro corresponde a los instrumentos que operan en el rango visible. *Derecha*: escala y campo de las unidades de espectroscopía de campo integral de Gemini.

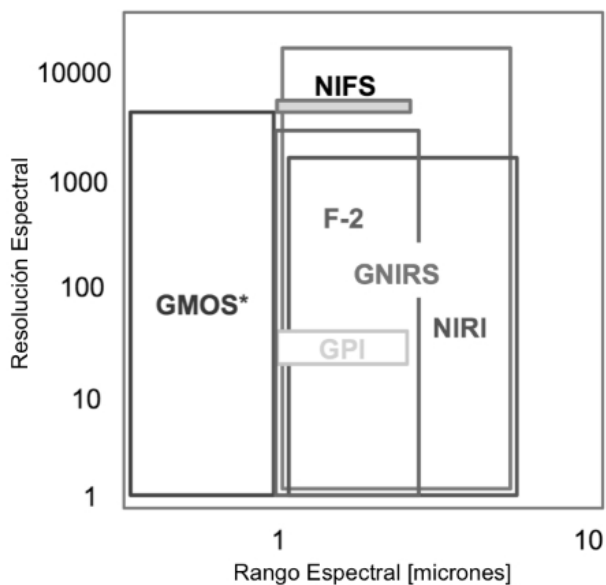


Figura 3: Esquema que indica la resolución espectral y el rango espectral de los instrumentos de Gemini con capacidad espectroscópica.

La mayor resolución espectral de un instrumento fijo en Gemini Norte es provista por GNIRS (hasta $R \sim 18000$), en el rango 0.9 a $5.4 \mu\text{m}$. El instrumento visitante GRACES consiste en una unidad de adquisición y guiado, instalada en GMOS-N,

y un sistema de fibras ópticas que conduce la luz por 200 m hasta el espectrógrafo de alta resolución ESPADONS instalado en el observatorio CFHT, brindando una resolución espectral de 40000. En cuanto a Gemini Sur, en 2016 estará disponible el espectrógrafo visitante Phoenix de resolución 50000 a 80000, en el rango $1 - 5 \mu\text{m}$.

La mayor calidad de imagen es la alcanzada por la cámara infrarroja GSAOI, que en conjunto con el sistema de óptica adaptable GeMS provee resoluciones espaciales mejores que $0.08''$. El *strehl* —la fracción del flujo dentro del diámetro de difracción para una fuente puntual— alcanza un 20-25% en las bandas *H* y *K*, que en un campo tan grande como el corregido por GeMS (hasta $80''$ de diámetro) no tiene precedentes ni competidores cercanos en la astronomía actual.

Los instrumentos con óptica adaptable propia dedicados a la búsqueda de planetas han tenido un lugar importante en Gemini Sur, anteriormente con el coronógrafo NICI, y actualmente con el *Gemini Planet Imager* (GPI). El GPI, que combina óptica adaptable extrema, coronografía, y espectroscopía de campo integral de resolución 30 a 80 en el rango $1 - 2.4 \mu\text{m}$, está produciendo por primera vez en la historia imágenes directas y espectros de planetas similares a Júpiter en órbita alrededor de estrellas hasta varios cientos de años luz de distancia.

Adicionalmente, el programa de instrumentos visitantes ofrece la oportunidad de contar con instrumentos instalados temporalmente en Gemini. El primer turno del instrumento debe contar con la previa aprobación de un programa científico por parte del comité de asignación de tiempo (TAC) del país correspondiente. Posteriores visitas pueden aprobarse a cambio de que el instrumento se ofrezca a toda la comunidad Gemini. De esta manera se han hecho disponibles instrumentos que, si bien suelen ser muy específicos, aportan nuevas oportunidades científicas a los astrónomos de la comunidad Gemini. Entre los instrumentos que se ofrecen actualmente están los arriba mencionados Phoenix y GRACES, más TEXES, un espectrógrafo de alta resolución en el rango del infrarrojo térmico ($5 - 25 \mu\text{m}$), y DSSI, una cámara *speckle* de alta frecuencia y gran resolución espacial ($\sim 0.02''$).

3. Mejoras y desarrollo de instrumentos

Entre los principales proyectos del área de desarrollo e instrumentación de Gemini, se destacan actualmente: i) las mejoras al sistema de adquisición y guiado (A&G), para poder sensar el frente de onda y guiar el telescopio usando estrellas más débiles, extendiendo así el área de cielo observable y mejorando la operación en condiciones de mayor nubosidad; ii) el reemplazo de la computadora de control de ALTAIR (RTC), a fin de poder aplicar algoritmos más complejos en tiempo real y mejorar la performance del sistema de óptica adaptable de GN; iii) puesta en

marcha del tercer espejo deformable del sistema GeMS (DM0), incrementando la performance del sistema de óptica adaptable de GS; iv) reemplazo de los detectores ópticos (CCDs), ya aplicado en GMOS-S y programado para GMOS-N en 2016; v) reemplazo del láser de alta potencia de GeMS (LGSF) por uno más avanzado, que opere en forma más regular, disminuyendo los costos de mantenimiento del sistema y a su vez mejorando la performance; vi) reemplazo del sistema de sensor de frente de onda por estrellas naturales (NGS2), complemento obligado del sistema de estrellas láser artificiales de GeMS, reduciendo costos de mantenimiento y aumentando su sensibilidad. Con estas dos últimas mejoras el sistema de óptica adaptable GeMS aumentará su cobertura a mayores regiones del cielo, a la vez que se mantendrá en el liderazgo mundial como sistema de OA de gran campo.

A fin de mantener la competitividad científica del conjunto instrumental e incentivar la participación de la comunidad astronómica en el programa de instrumentación, se ha lanzado en 2015 la convocatoria de pequeños proyectos (*Instrument Upgrade Small Projects*) con un fondo de 200K dólares anuales, una oportunidad importante para astrónomos con intereses instrumentales que quieran involucrarse en la instrumentación de Gemini. En 2016 se sumará un llamado a propuestas para mejoras de escala intermedia en los instrumentos, con un fondo de 500K dólares cada dos años. Para mayores detalles se puede consultar la página <http://www.gemini.edu/sciops/future-instrumentation>.

El próximo instrumento de Gemini es el GHOST, un espectrógrafo de alta resolución espectral (50000 – 75000) operando en el rango óptico extendido (3600 – 9500 Å). Tendrá la posibilidad de observar dos objetos celestes al mismo tiempo (por ejemplo el objeto de interés y una referencia en el mismo campo), y en el modo de mayor resolución alcanzará una precisión de 10 m/s en la medición de velocidades radiales. Se planea que esté disponible para el semestre 2018B.

Finalmente, se ha completado el estudio de factibilidad para el diseño del siguiente instrumento (Gen4#3) y, en base a sus resultados, Gemini está preparando el llamado a concurso para la construcción de este instrumento¹. Se espera que este instrumento sea un espectrógrafo de amplia cobertura espectral simultánea (óptico + infrarrojo cercano hasta $\sim 2 \mu\text{m}$), resolución espectral ~ 5000 , con capacidad de obtener imágenes en varias bandas al mismo tiempo, y con especial énfasis en la rapidez de configuración y eficiencia cuántica. El rol principal del instrumento Gen4#3 será explotar las sinergias científicas de los telescopios Gemini con los grandes proyectos astronómicos de la próxima década.

¹www.gemini.edu/sciops/future-instrumentation-amp-current-development/gen4%25233homepage

The Gemini Planet Imager

Hibon, P.¹, Rantakyro, F.¹, Cardwell, A.¹ and the GPI Gemini team.

¹ GEMINI Observatory/AURA, Southern Operations Center, La Serena, Chile

Abstract

The Gemini Planet Imager (GPI) is an extreme adaptive-optics integral-field polarimeter/spectrometer/imager, which will provide diffraction-limited data between 0.9 and 2.4 microns. The system will provide contrast ratios of 10^6 on companions at separations of 0.2-1 arcsecond in a 1-2 hour observation. The science instrument will provide spectroscopy or dual-beam polarimetry of any object in the field of view. In this paper, I summarize the main capabilities of this instrument, describe the overall system performance and the pipeline. I will also highlight some scientific results produced with this facility instrument.

1 The GPI instrument

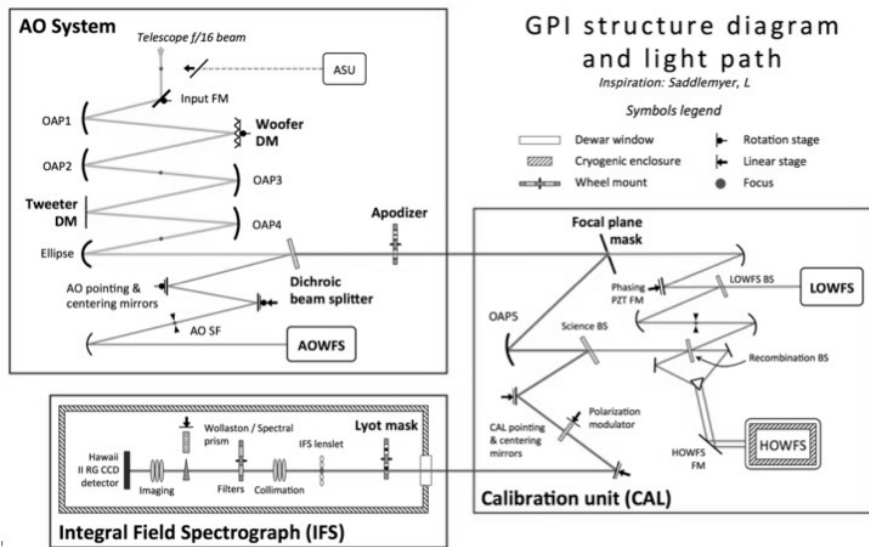


Figure 1: GPI structure diagram and light path.

The GPI (PI: Bruce Macintosh) arrives at Cerro Pachon in August 2013. GPI First Light happened in November 2013 and GPI commissioning ended in September 2014. Since the second semester of 2014, the instrument is available in queue

mode at Gemini South Observatory. Interested users are suggested to visit <http://www.gemini.edu/sciops/instruments/gpi/>.

GPI consists of 4 major components (see Figure 1).

- The extreme adaptive optics system provides high quality wavefronts, optimized in a region of interest around the star called the “dark hole” region. It is responsible for fast measurement of the instantaneous wave front, and for providing wave front control via two deformable mirrors.
- The calibration unit consists of two wavefront sensors. The HOWFS (High Order Wavefront Sensor) is an interferometric infrared wavefront sensor measuring and offloading slowly varying wavefront errors un-sensed by the AO system over the science exposures. It is a high-accuracy infrared wave front sensor tightly integrated with the coronagraph. It provides precise and accurate measurements of the time-averaged wave front at the science wavelength and coronagraph focal-plane, to suppress persistent speckles caused by quasi-static wave front errors in the image. The second sensor is the LOWFS (Low Order Wavefront Sensor) that is a low order Shack-Hartmann that provides pointing and focus sensing to keep the target star centered on the coronagraph.
- The coronagraph uses a combination of apodized masks and focal-plane stops to control diffraction and pinned speckles. This key element, the apodized pupil Lyot coronagraph, suppresses the starlight, and is tightly integrated in the 3 previous subsystems.
- Finally the science light is fed to an integral field spectrograph taking both images and spectra of the target. The field of view (FOV) is 2.8 arcseconds on a side, with 14 milliarcsecond sampling.

1.1 Instrument performance

The nominal weather conditions for GPI are IQ70 and CC50, which correspond to a cloud-free night with an average seeing up to 0.75". Moreover, GPI will optimally work under a zenith distance of 40 degrees. There is a possibility to go to a zenith distance of 50° but with lower performance.

Table 1: Limiting magnitude range. The *H*-band limit is only valid in Coronagraphic mode. In the Direct mode there is no LOWFS and thus no constraint imposed by the LOWFS.

	Max. brightness [mag]	Min. brightness [mag]
<i>I</i> -band (AOWFS)	1.0	9.0
<i>H</i> -band (LOWFS)*	1.0	9.0

GPI limiting magnitudes are determined by several components: the AO WFS (*I*-band), the LOWFS (*H*-band), and the IFS (selected filter). In addition, the observing conditions add another layer of limits. Thus the brightness science object is limited in *I*-band from the AOWFS and in *H*-band from the LOWFS (not a constraint in direct mode as then no coronagraphic mask is used and no LOWFS is possible).

2 The GPI pipeline

The GPI pipeline (Maire et al. 2010; Perrin et al. 2014) is based on IDL. A large variety of recipes is available to reduce the data. During the night operations, we use only two of them:

- Quicklook Automatic Datacube Extraction
- Quicklook Automatic Polarimetry Extraction.

The pipeline processes the data along the following steps:

1. subtraction of the dark background
2. correction of the bad pixels
3. assembly of a 3D datacube from the 2D images using the wavelength calibration.

In Figure 2, we can see an example of a raw image (on the left) and a reduced image (on the right).

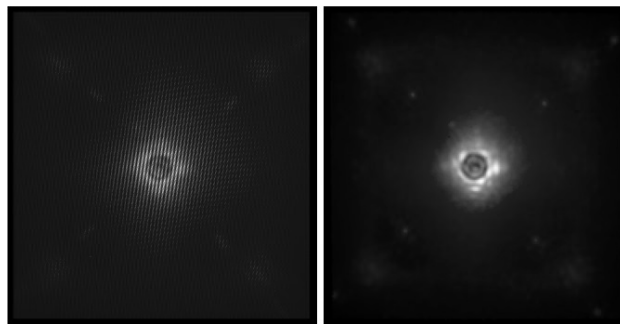


Figure 2: Example of data. *Left*: a slice of a raw image. *Right*: a slice of a reduced image.

One of the most useful windows from the pipeline is the GPItv graphical data viewer. This data viewer tool customized for GPI, includes display of spectral and polarimetric datacubes and interactive tools for high contrast image analysis such as measuring contrast and performing spectral differencing of cubes. GPItv provides

GPI observers with both a simple means for quick look data analysis in real time at the telescope, plus a set of tools for viewing and manipulating GPI data during post-observing scientific analyses. A detailed user guide for this viewer is available at: <http://docs.planetimager.org/pipeline/gpity/index.html>. In particular, it is worth mentioning the GPIity capabilities to produce a quick estimation of the contrast on a datacube.

A quick contrast assessment can be obtained for images of occulted stars by using intensities of the satellite images created by the pupil grid (see Figure 3). Pixel intensity of sat image is proportional to the intensity of the star observed without occultation. First step is to detect properly the satellite spot positions in the image. Contrast assessment can be performed on monochromatic images or on slices of a datacube. Consequently, this function can not be used directly for GPI raw images.

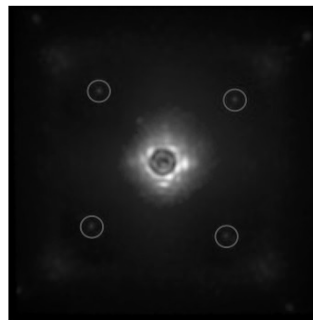


Figure 3: Reduced slice of a spectral coronagraph datacube. The satellite spots are visible in the red circles.

3 GPI performance

3.1 Contrast

During the First Light run (November 2013), we determined the contrast performance for each IFS spectral band. Figure 4 shows these results as a function of bandpass for Beta Pic, a bright $V = 3.83$ mag star. Exposure times were 90 s for J , and 60 s for $K1$ and $K2$ bands. The sequences were acquired on different nights, so the comparison might not be 100% accurate due to varying observing conditions and instrument optimizations. Overall, to 1 magnitude, GPI performance seems fairly uniform as a function of wavelength. Note that the $K2$ -band has a sharply declining throughput beyond 2.2 microns. On dimmer stars or at large angles where photons and sky background noise dominate, $K2$ contrast will be significantly worse.

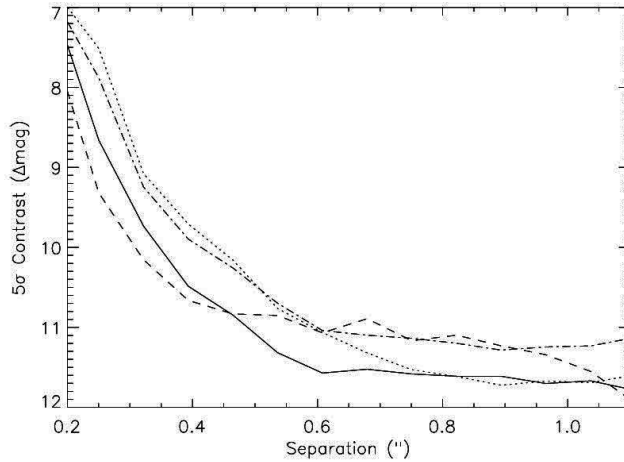


Figure 4: Contrast as a function of bandpass. The solid line represents the single slice 60 s raw contrast at H -band, while the dashed, dotted and dot-dashed lines are the J , $K1$ and $K2$ bands respectively.

3.2 Possible GPI data anomalies

During the several GPI commissioning and campaign runs, we have been able to collect different examples of artifacts that may occasionally occur in GPI data. These rare artefacts have different origins (they can be due to the AO system, the coronagraph, the telescope, the IFS, the detector, the pipeline, for example). An extensive gallery is available at <http://docs.planetimager.org/pipeline/ifs/gallery.html> with, when available, the remedy to the oddity.

4 Science with GPI

Our understanding of the internal structure, atmospheres, and evolution of planets was originally developed through models that were tuned to explain the detailed properties of the planets in our own Solar System. Surveys of exoplanetary systems have led to the realization that there exists a diversity of worlds with very different properties and environments from those in our Solar System. Our understanding of these new worlds therefore remains primitive. Understanding the structure, atmospheres, and evolution of a diverse set of exoplanets is an important step. High-contrast, high-angular-resolution direct imaging provides the critical approach to studying the detailed properties of exoplanets. Images and spectra of directly imaged planets provide some of the most powerful diagnostic information about

the structure, composition, and physics of planetary atmospheres, which in turn can provide constraints on the origin and evolution of these systems. The direct imaging technique is also naturally applicable to the nearest and brightest, and thus best-characterized, solar systems. High contrast imaging is also ideally suited to studying the diversity and properties of debris disks around the nearest stars; these disks serve as both fossil records of planet formation, and signposts of extant planets through their dynamical influences.

Since its First Light, GPI has already been able to produce very exciting scientific results: Macintosh et al. (2015); Millar-Blanchaer et al. (2015); Rajan et al. (2015); Wang et al. (2015); Galicher et al. (2014); Ingraham et al. (2014); Rodigas et al. (2014).

Acknowledgements

The Gemini Observatory is operated by the Association of Universities for Research in Astronomy, Inc., under a cooperative agreement with the NSF on behalf of the Gemini partnership: the National Science Foundation (United States), the National Research Council (Canada), CONICYT (Chile), the Australian Research Council (Australia), Ministerio da Ciencia, Tecnologia e Inovacao (Brazil), and Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (Argentina). PH acknowledges the support of the entire GPI team, non-limited to the GPI Gemini team. PH also thanks the 2015 ACGA organizers for the invitation to the congress.

References

- Galicher, R., Rameau, J., Bonnefoy, M., et al. 2014, *A&A*, 565, L4
- Ingraham, P., Marley, M. S., Saumon, D., et al. 2014, *ApJ*, 794, L15
- Macintosh, B., Graham, J. R., Barman, T., et al. 2015, *Science*, 350, 64
- Maire, J., Perrin, M. D., Doyon, R., et al. 2010, in *SPIE Conference Series*, Vol. 7735, *SPIE Conference Series*, 31
- Millar-Blanchaer, M. A., Graham, J. R., Pueyo, L., et al. 2015, *ApJ*, 811, 18
- Perrin, M. D., Maire, J., Ingraham, P., et al. 2014, in *SPIE Conference Series*, Vol. 9147, *SPIE Conference Series*, 3
- Rajan, A., Barman, T. S., Soummer, R., et al. 2015, *ApJ*, 809, L33
- Rodigas, T. J., Follette, K. B., Weinberger, A., Close, L., & Hines, D. C. 2014, *ApJ*, 791, L37
- Wang, J. J., Graham, J. R., Pueyo, L., et al. 2015, *ApJ*, 811, L19

Espectroscopía de alta resolución con el nuevo instrumento GRACES

Eder Martioli¹

¹ Laboratorio Nacional de Astrofísica - LNA/MCTI, Brasil

Resumen

El instrumento GRACES (*Gemini Remote Access to ESPaDOnS Spectrograph*) es el nuevo espectrómetro de alta resolución instalado en Gemini Norte que estará disponible a partir de 2015B para toda la comunidad del Gemini. En este trabajo hablo de las características de este nuevo instrumento. Describo brevemente detalles técnicos y las características de cada uno de los dos modos de observación disponibles. El observatorio CFHT, al que pertenece el espectrógrafo ESPaDOnS, tiene un proyecto llamado OPERA de un *pipeline* para reducir automáticamente los datos de ESPaDOnS. OPERA es un software *open source* que también tiene la capacidad de reducir los datos de GRACES. Voy a describir las rutinas de reducción y demostraré la capacidad del instrumento y del *pipeline* con resultados obtenidos de observaciones tomadas en la prueba del instrumento.

1. El instrumento GRACES

El proyecto GRACES (*Gemini Remote Access to CFHT ESPaDOnS Spectrograph* - Chene et al. 2014) se compone de una adaptación del espectrómetro de alta resolución ESPaDOnS (e.g. Donati 2003) del observatorio Canada-France-Hawaii Telescope (CFHT) para que el mismo pueda ser alimentado con la luz recogida por el telescopio Gemini y por lo tanto permite observaciones de Gemini con este instrumento. La Figura 1 muestra los dos observatorios en la cima de la montaña Mauna Kea en Hawai. La adaptación requerida en ESPaDOnS se implementó a través de un nuevo módulo de inyección de la luz en el espectrógrafo, con un nuevo *slicer* (ver Fig. 2). Este módulo se alimenta de dos fibras ópticas de cerca de 270 metros de largo que recogen la luz en el plano focal del telescopio Gemini. Las fibras están montadas en un casete del módulo de adquisición que se ajusta al instrumento GMOS, en sustitución de la unidad de campo integral (IFU) existente en el presente instrumento.



Figura 1: Observatorios Gemini y CFHT en la cima de la montaña Mauna Kea en Hawái.

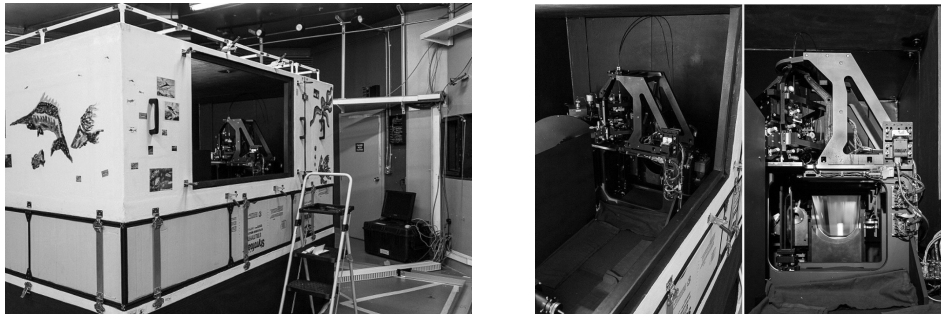


Figura 2: *Izquierda*: foto del espectrómetro ESPaDOnS en el tercer piso del edificio del observatorio CFHT ya con su nuevo módulo de inyección para GRACES. *Derecha*: dos vistas del nuevo módulo de inyección instalado en el espectrómetro ESPaDOnS para el instrumento GRACES.

2. Los datos de GRACES

Los datos generados por el instrumento GRACES son prácticamente los mismos que los de ESPaDOnS, i.e. imágenes obtenidas con el detector CCD deep-depletion de E2V (Olapa), guardado en una sola extensión FITS tamaño $4\text{ k} \times 2\text{ k}$. Los tipos de imágenes de calibración obtenidas con GRACES también son básicamente los mismos, i.e., imágenes de una lámpara halógena (FLAT), imágenes con tiempo de integración nulo (BIAS), e imágenes de una lámpara de Th-Ar para calibración en longitud de onda (COMP o ARC). La Figura 3 muestra ejemplos de estos datos. Téngase en cuenta que el modo polarimétrico de ESPaDOnS no es posible con GRACES, porque el módulo de análisis para la polarimetría se monta en el foco Cassegrain del telescopio CFHT.

El instrumento GRACES tiene dos modos de observación disponibles:

1. Star-Only: se utiliza sólo una fibra con 4 slices.
2. Star+Sky: se utilizan dos fibras (una para objeto y otra para el cielo), con 2

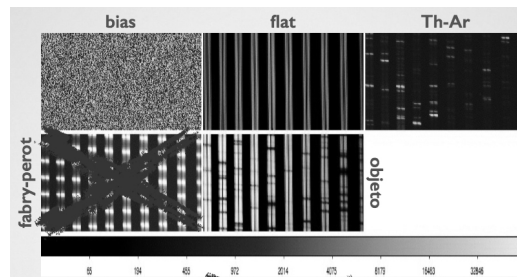


Figura 3: Muestras de los formatos posibles de datos de calibración y de ciencia con el instrumento ESPaDOnS. Notar que la calibración utilizando un Fabry-Perot, existente en CFHT, no está disponible para GRACES.

slices.

La Figura 4 muestra la diferencia, en cuanto al perfil instrumental, entre los modos de observación disponibles para ESPaDOnS y GRACES. La Tabla 1 muestra un resumen que compara las características instrumentales para los dos modos de observación que están disponibles en ambos instrumentos.

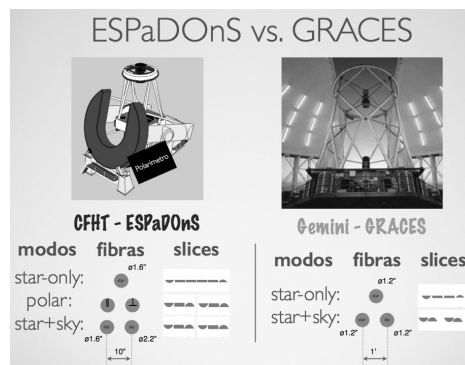


Figura 4: Comparación entre los modos de observación de ESPaDOnS y GRACES.

3. El proyecto OPERA y la reducción de los datos de GRACES

El OPERA es un proyecto desarrollado por CFHT de un software open-source para procesar los datos del instrumento ESPaDOnS. El software y la documentación están disponibles en: <http://sourceforge.net/projects/opera-pipeline/>. Una descripción conceptual del proyecto se encuentra en Martioli et al. (2012). El OPERA es un *pipeline* que utiliza datos de calibraciones (FLAT, BIAS, COMP)

Tabla 1: Resumen que compara las características instrumentales entre los dos modos de observación que están disponibles en ESPaDOnS y GRACES.

Configuración instrumental	ESPaDOnS		GRACES	
modo de observación	star	star+sky	star	star+sky
razón focal	f/8	f/8	f/16	f/16
número de slices	6	3	4	2
número de fibras	1	2	1	2
diámetro de la fibra (μm)	100	100	165	165
longitud de la fibra (m)	36	36	270	270
resolución espectral	80000	67000	55000	33000
diámetro de la abertura (arcsec)	1.6	1.6	1.2	1.2

para eliminar todos los efectos instrumentales en los datos observados de la fuente (OBJECT). La reducción completa de los datos se realiza automáticamente sin intervención del usuario, lo que produce un espectro final de flujo de energía calibrado en longitud de onda. El flujo viene en 3 versiones: crudo (en unidades de e^- /elementos espectrales), normalizado por una envoltura continua y calibrado en unidades arbitrarias. La reducción de los datos de GRACES con OPERA se produce básicamente en dos pasos: calibración y reducción. Abajo se describen, en forma resumida, las etapas realizadas por OPERA para procesar los datos, en cada uno de los pasos antes mencionados (ver Fig. 5):

1. Calibración
 - Master combining
 - Gain and Noise
 - Geometry
 - Instrument Profile
 - Aperture
 - Wavelength calibration
2. Reducción
 - Optimal Extraction
 - Telluric Wavelength Correction
 - Heliocentric Correction
 - Flat-fielding
 - Normalization by continuum
 - Flux calibration

4. Resultados preliminares

La primera luz del instrumento GRACES ocurrió el 6 de mayo 2014, cuando se realizó una primera serie de observaciones y pruebas del instrumento. La Figura 6

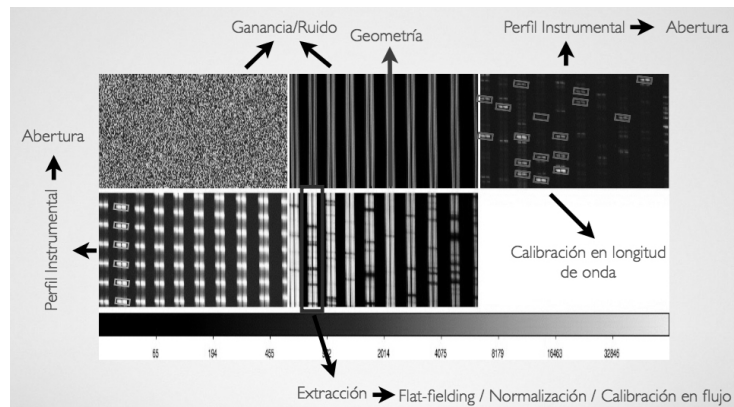


Figura 5: Dibujo ilustrativo que muestra las etapas de reducción realizadas por OPERA.

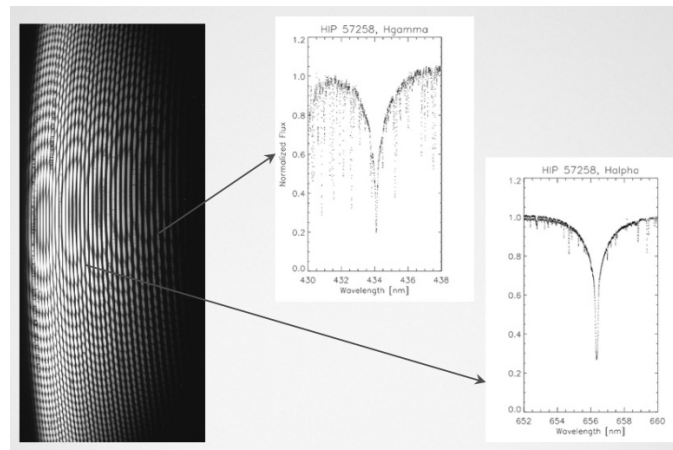


Figura 6: Imagen del espectro de la estrella HIP 57258, la primera luz de GRACES obtenida el 6 de mayo de 2014. Las dos ventanas a la derecha muestran los espectros reducidos de las regiones en torno a las líneas de hidrógeno.

muestra la imagen del espectro de la estrella HIP 57258, obtenida en la primera luz. La figura también muestra dos ventanas a la derecha con los espectros reducidos de las regiones en torno a las líneas de hidrógeno. El instrumento muestra un gran desempeño y está muy cerca de los resultados esperados durante la fase conceptual. La resolución espectral obtenida para el modo star-only alcanzó a 67.000 y para el modo star+sky alrededor de 41.000. La Figura 7 muestra los resultados de la sensibilidad instrumental obtenida con GRACES. Estos resultados nos muestran que el instrumento GRACES logra obtener señal/ruido entre 5 y 10 a 1 hora de observación de una fuente con magnitud V entre 19 y 20. La figura muestra también una comparación entre GRACES y el espectrógrafo HIRES instalado en

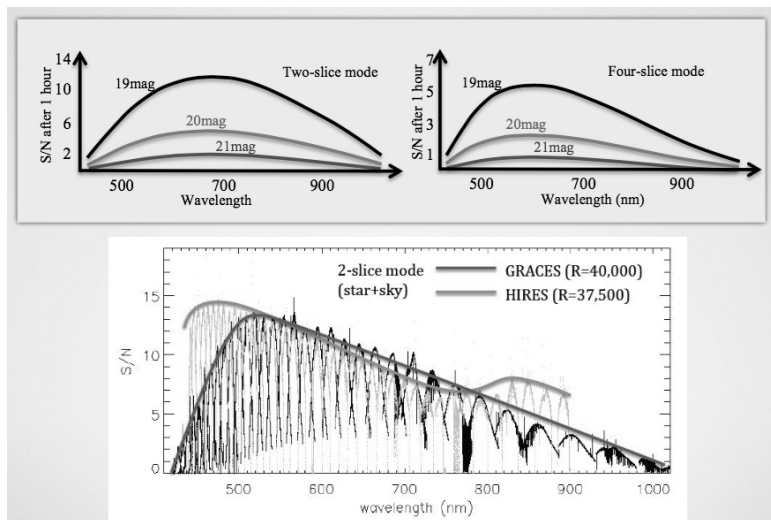


Figura 7: Sensibilidad instrumental medida para cada modo de observación de GRACES. El panel inferior muestra una comparación de la relación señal/ruido en todo el espectro entre GRACES y el espectrógrafo HIRES instalado en Observatorio Keck de 10 m con una resolución espectral similar.

el Observatorio Keck de 10 m con una resolución espectral similar.

Agradecimientos

Es con mucha satisfacción que doy las gracias a mis compañeros de la Oficina Gemini de Argentina, los que organizaron esta conferencia y que me invitaran a participar de este evento. Me gustaría también dar las gracias al personal del Observatorio Gemini y en especial al personal del observatorio CFHT, y a todos quienes dedicaron su tiempo para que el proyecto GRACES pudiera concluir con éxito.

Referencias

- Donati, J.-F., 2003, Solar Polarization, ASP Conf. Proc., Vol. 307, p. 41. Ed. J. Trujillo-Bueno & J. Sánchez Almeida
- Martoli, E. et al., 2012, Software and Cyberinfrastructure for Astronomy II. Proceedings of the SPIE, Volume 8451, article id. 84512B, 21 pp.
- Chene, A-N. et al., 2014, Proceedings of the SPIE, Vol. 9151, id. 915147 16 pp.

Cinemática del gas ionizado y perfiles de luminosidad de las galaxias “porotos verdes”

María P. Agüero¹, Rubén J. Díaz^{2,3}, Mischa Schirmer³

¹ Observatorio Astronómico, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina

² Instituto de Astronomía Teórica y Experimental (CONICET-UNC), Argentina

³ GEMINI Observatory/AURA, Southern Operations Center, La Serena, Chile

Resumen

Las galaxias “Porotos Verdes” son un nuevo subtipo de galaxias activas de tipo 2 a redshift intermedio cuya peculiaridad radica en su excesiva emisión de [OIII] respecto a su emisión en el MIR. En este trabajo hemos determinado los tamaños típicos para estos objetos y el FWHM de sus NLRs. También hemos podido detectar signos de rotación en varias de estas galaxias con una masa típica de $10^{11} M_{\odot}$.

1. Introducción

Observando el campo de un cúmulo de galaxias en imágenes del Sloan Digital Sky Survey (SDSS), una galaxia con un particular color verde llamó la atención de Schirmer et al. (2013). Es el objeto catalogado como SDSS J224024-092748 (de aquí en más J2240). En un primer momento se supuso que dicho objeto pertenecía al grupo de las galaxias verdes llamadas “Arvejas Verdes” (*Green Peas* en inglés, GPs). Las galaxias GPs (Cardamone et al. 2009) se caracterizan por un color verde intenso (gran emisión en el filtro g' del SDSS), el cual se debe a su alta tasa de formación estelar ($SFR \sim 10 M_{\odot}/\text{yr}$) en combinación con un corrimiento al rojo ($z \sim 0.11 - 0.36$) tal que la intensa emisión de la línea del [OIII] en 5007\AA se observe en el filtro g' (*green*) de SDSS. Estos objetos son muy compactos; tanto es así, que no son resueltos en las imágenes del SDSS con una masa típica de $M \sim 10^{8.5} - 10^{10} M_{\odot}$. A pesar de su color verdoso, J2240 es una galaxia bien resuelta en las imágenes. Además, J2240 está ubicada en el extremo más verdoso del diagrama color-color. Estas peculiaridades llevaron a sus descubridores a realizar observaciones espectroscópicas exhaustivas de este objeto. El perfil de línea del [OIII]5007 muestra una estructura compleja evidenciando varias estructuras emisoras y un flujo excesivamente alto. Los flujos de las líneas de emisión posicionan a J2240 en la región de galaxias activas en los diagramas de diagnóstico, y ha sido clasificada como una galaxia Seyfert 2. En conclusión, J2240 se diferencia de las galaxias GPs en su tamaño y en su exceso de emisión del [OIII].

¿Habrán más objetos similares a J2240? Schirmer et al. (2013) realizaron una búsqueda de objetos similares a J2240 en las imágenes del SDSS. Para ello seleccionaron objetos cuyo color ($g' - r'$) fuera mayor que el de las galaxias GP conocidas y que sean objetos resueltos en las imágenes, excluyendo así las GPs. Los autores obtuvieron 29 galaxias que cumplieran con las condiciones mencionadas, lo cual resulta en objetos muy extraños en el universo local (4.4 Gpc^{-3} en $z \sim 0.3$). Los flujos medidos de [OIII]5007 posicionan a estas galaxias entre las más energéticas conocidas. Sin embargo, su emisión MIR no condice con aquella observada en [OIII], siendo de 0.02 a 0.2 veces la luminosidad infrarroja esperada. Tampoco se observa emisión en rayos X o en radio, como se esperaría de un objeto tan energético en [OIII]. ¿Cómo puede explicarse esta peculiaridad? La explicación más razonable que proponen Schirmer et al. (2013) es aquella en la cual la emisión observada en [OIII]5007 sería un eco luminoso de un episodio violento de su núcleo activo que ya se ha extinguido, por lo cual no se observa su contraparte en rayos X o en radio. A este grupo de galaxias peculiares se las ha llamado “Porotos Verdes” (*Green Beans* en inglés, GBs).

2. Resultados

En este trabajo realizaremos un análisis de los espectros GMOS tomados para 13 de estos objetos. Estas observaciones se obtuvieron por Schirmer et al. (2013) durante el segundo semestre de 2012 como un programa *Poor Weather*. Se utilizó la red R440 con una dispersión de $\sim 1.06 \text{ \AA/pixel}$. El rango espectral de los mismos va de 3700 \AA a 6700 \AA en reposo y el *seeing* promedio de dichas observaciones fue cercano al segundo de arco. El objetivo de este trabajo es caracterizar a esta nueva especie de galaxias, las GBs. En los espectros se observan numerosas líneas de emisión tanto las de recombinación del hidrógeno y del helio como algunas prohibidas tales como las líneas del [OI], [OIII], [NII], [NIII], [SII], [ArIV], [FeV]. En la mayoría de los espectros el efecto de *fringing* no permite la medición de las líneas en el extremo rojo del espectro. Debido a esto, sólo para dos galaxias fue posible medir la línea $H\alpha$. En todos los casos la línea más intensa es [OIII]5007, a excepción de una de las dos GBs en la que se observa $H\alpha$, siendo esta última la más brillante del espectro. En la mayoría de los espectros se observan líneas muy ensanchadas, con FWHM de la línea del [OIII]5007 que van entre 450 y 1200 km/s (Figura 1). Si bien las líneas presentan un gran ensanchamiento, estos valores están muy por debajo de lo esperado para galaxias activas de Tipo 1. Si bien las altas luminosidades de [OIII]5007 hacen sospechar la presencia de un núcleo activo, las velocidades observadas pueden ser explicadas tanto por eyección de masa en regiones de intensa formación estelar, como suponiendo la presencia

de un núcleo activo de Tipo 2. A partir del diagrama de diagnóstico propuesto por Lamareille (2010) que utiliza los cocientes de las líneas $[\text{OII}]3726+3729/\text{H}\beta$ versus $[\text{OIII}]5007/\text{H}\beta$, hemos podido confirmar la clasificación de galaxia activa tipo 2 al igual que la galaxia prototipo J2240.

Además de un gran ensanchamiento de las líneas de emisión, también se observa una gran extensión radial de la emisión, especialmente de la línea $[\text{OIII}]5007$ (Figura 1). A partir de los perfiles radiales de esta línea, se obtuvieron los radios que incluyen la mitad de la radiación emitida en esa línea espectral (*Half Light Radius*), los cuales van desde 3.5 a 6.5 kpc (~ 6 kpc para la Vía Láctea). La línea de $[\text{OIII}]5007$ se extiende radialmente entre un 50% y un 80% más que la línea de recombinación de H. En general, el continuo es más extendido que la emisión de H pero menos que la emisión de $[\text{OIII}]5007$. A partir de los perfiles radiales de continuo hemos intentado estudiar la morfología de estos objetos, lo cual nos daría indicios de su naturaleza. Para ello hemos obtenido los perfiles radiales en tres regiones espectrales diferentes. La denominada región “Azul” cercana a los 4000\AA , la “Verde” próxima a los 5300\AA y la “Roja” en las inmediaciones de los 6300\AA . Sin embargo, a causa del *seeing* y la gran distancia a estas galaxias, no fue posible discriminar entre una distribución de luz del tipo disco o más esférica. Luego, se confeccionaron perfiles de color a fin de estudiar la presencia y distribución del polvo en estos objetos (Figura 2). De las 13 GBs estudiadas, 3 presentan perfiles de color planos, 3 presentan perfiles simétricos con centros enrojados y el resto presentan perfiles con gradiente de un lado del núcleo al otro (indicios de polvo en discos galácticos). Este último grupo se caracteriza por tener perfiles más escarpados, evidenciando mezcla de poblaciones estelares o la presencia de bandas de polvo.

Si bien las galaxias Sy2 son galaxias espirales, en el caso de las GBs se sospecha la posibilidad de una fusión de galaxias, en cuyo caso se pueden esperar tipos morfológicos más tempranos o bien discos muy perturbados. Algunas de las GBs (6 objetos) muestran signos de rotación en su línea de $[\text{OIII}]5007$, probando la naturaleza de galaxia espiral de estos objetos (Figura 3). Suponiendo que la emisión de esta línea proviene de la región de líneas angostas del núcleo activo, es importante resaltar que el gas ionizado en el cuerpo de la galaxia sigue la rotación de la misma, descartando que la emisión del núcleo sea colimada y perpendicular al disco. Suponiendo que la diferencia de velocidades observada en los últimos radios medidos se deba a movimientos keplerianos, las masas interiores inferidas son de $10^{11} M_{\odot}$, consistentes con el escenario de galaxias espirales masivas.

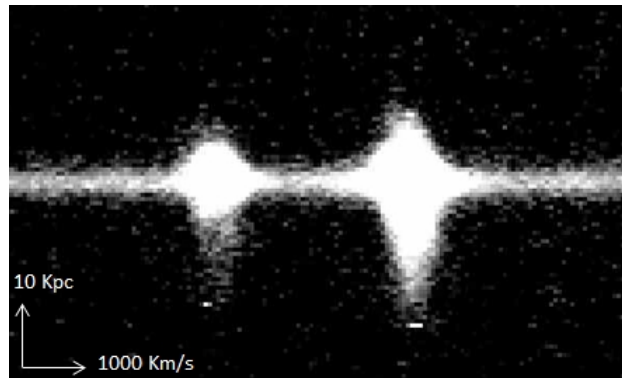


Figura 1: Líneas del [OIII] en 4959 Å y 5007 Å.

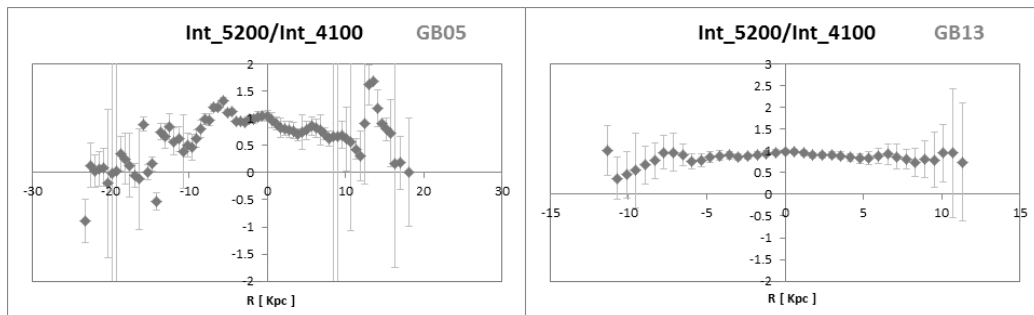


Figura 2: Perfiles radiales de color.

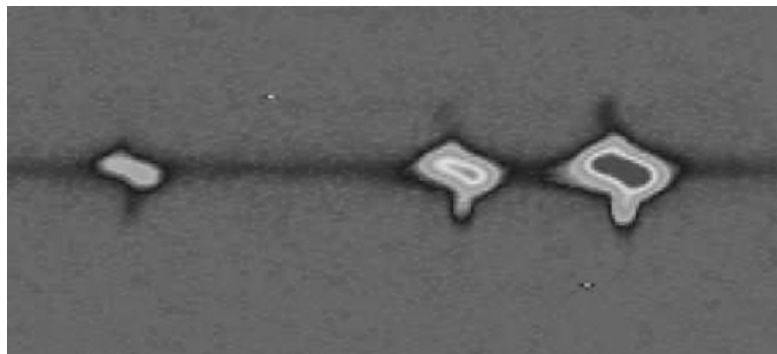


Figura 3: Líneas de $H\beta$ y [OIII] en 4959 Å y 5007 Å con evidencia de rotación.

Referencias

Cardamone, C., Schawinski, K., Sarzi, M., Bamford, S. et al. 2009, MNRAS, 399, 1191.

Lamareille, F. 2010, A&A, 509, 53.

Schirmer, M., Diaz, R., Holhjem, K., Levenson, N. et al. 2013, ApJ, 763, 60.

Estudios de cúmulos de galaxias utilizando datos Gemini

M. Victoria Alonso^{1,2}, Diego García Lambas^{1,2}, Hernán Muriel^{1,2}, Carlos Valotto^{1,2}, José Luis Nilo Castellón³

¹ Observatorio Astronómico de Córdoba, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina

² Instituto de Astronomía Teórica y Experimental (CONICET-UNC), Argentina

³ Departamento de Física y Astronomía, Universidad de La Serena, Chile

Resumen

Se describen dos proyectos de cúmulos de galaxias que están en desarrollo. Por un lado, el estudio de cúmulos de galaxias de baja luminosidad en rayos X de 19 sistemas con *redshifts* comprendidos entre 0.18 a 0.70. Este proyecto formó parte del trabajo doctoral del Dr. J. L. Nilo Castellón y se presentan los principales resultados. Por otro lado, la participación en el proyecto GOGREEN, uno de los *Large and Long Programs* del Observatorio Gemini. Para este proyecto, *Gemini Observations of Galaxies in Rich Early Environments*, se proponen observaciones de 21 cúmulos ricos de galaxias en un rango de *redshifts* de 1 a 1.5, utilizando el instrumento GMOS. Se pretende la confirmación espectroscópica de más de 1000 miembros en cada sistema para la obtención de masas estelares, y poder entender cómo el medioambiente afecta la evolución de las galaxias.

1. Breve motivación

El modelo jerárquico de formación de estructuras predice que los progenitores de los cúmulos de galaxias más masivos son sistemas relativamente pequeños ensamblados a altos *redshifts* (De Lucia et al. 2010). Los cúmulos ricos ofrecen una alternativa interesante para medir efectos de ambiente en la evolución de galaxias porque cubren una gran variedad de densidades. Son muy bien conocidos los efectos de segregación de galaxias, donde las más tempranas residen en regiones más densas del Universo, como los cúmulos, y las más tardías se localizan en zonas de más baja densidad (Dressler 1980).

El estudio de sistemas de galaxias en una variedad de masas a diferentes *redshifts* puede proveer propiedades físicas muy importantes para entender la evolución de galaxias y sistemas. En este sentido, los cúmulos más masivos pueden tener efectos evolutivos diferentes de los menos masivos. Poggianti et al. (2009) encontraron en sus simulaciones numéricas una evolución morfológica desde $z = 1$ no solamente en cúmulos masivos. De esta manera, los mecanismos ambientales actuarían prefe-

rentemente en sistemas menos masivos. Estos interrogantes motivan los estudios que se han encarado recientemente.

2. Cúmulos de galaxias con baja emisión en rayos X

El trabajo de la tesis doctoral de J. L. Nilo Castellón se basó en el estudio de 19 cúmulos de galaxias de baja luminosidad en rayos X ($L_X \sim 0.5 - 45 \times 10^{43} \text{ erg s}^{-1}$), con radios angulares de *core* menores a 60 segundos de arco en el intervalo de *redshifts* $0.15 < z < 0.7$. Ocho de estos cúmulos fueron observados con los telescopios Gemini durante el período de verificación del instrumento GMOS (*Gemini Multi-Object Spectrograph*) en el 2003, y con tiempo argentino en el 2010 y 2011. Los principales objetivos, la selección de la muestra y las observaciones fotométricas y espectroscópicas, fueron definidos en Nilo Castellón et al. (2015).

La secuencia de galaxias rojas (RCS) en cúmulos definida a través de los diagramas color–magnitud en el rango óptico (Gladders et al. 1998; De Lucia et al. 2004, entre otros) ha sido utilizada, entre otras, para probar distintos modelos de formación de galaxias. Cambios en la inclinación y punto cero de la RCS pueden indicar efectos de evolución en los cúmulos de galaxias. En estos diagramas, además de observarse la secuencia de galaxias rojas dominada por una población de estrellas más viejas (Blanton & Moustakas 2009), se encuentran las galaxias azules, formadoras de estrellas, y una población de galaxias intermedias, la población verde. Estas dos poblaciones principales están relacionadas a la bimodalidad observada en la distribución de colores (Baldry et al. 2004).

Con los datos Gemini de estos cúmulos de galaxias (Nilo Castellón et al. 2014) se ha observado que la RCS a bajos *redshifts* está bien definida mostrando que estos sistemas han alcanzado un estado de relajación con una pequeña fracción de miembros más azules en las regiones más centrales. En contraste, a más altos *redshifts*, la RCS es menos importante, menos definida, y en algunos casos existen evidencias adicionales de una morfología más compleja, pudiendo estar relacionada con la fusión de sistemas. Estos resultados observados en cúmulos de galaxias de masa intermedia son similares a las propiedades de cúmulos más masivos. En este sentido, la fracción de galaxias azules aumenta con el *redshift* y la de galaxias elípticas se mantiene casi constante.

Con estos datos también se han obtenido masas a través de lentes débiles (González et al. 2015). Cuatro de estos cúmulos tienen datos espectroscópicos y la dispersión de velocidades obtenida por este método es similar a la distribución de galaxias miembro. Estas masas obtenidas además ajustan la relación masa–luminosidad en rayos X tanto observacional como de modelos.

3. Participación argentina en el relevamiento GOGREEN

El relevamiento GOGREEN (*Gemini Observations of Galaxies in Rich Early Environments*) es uno de los programas extensos (*Large and Long Program*) del Observatorio Gemini que está siendo desarrollado. El Investigador Principal del proyecto es el Dr. Michael Balogh (Universidad de Waterloo) y hemos sido invitados a participar en el mismo.

El principal objetivo del programa es un relevamiento de regiones densas de galaxias en un rango de *redshifts* entre 1.0 y 1.5. Se pretende realizar espectroscopía multiobjeto en 21 cúmulos de galaxias utilizando el instrumento GMOS en el modo MOS. Estos cúmulos fueron seleccionados de los relevamientos SpARCS (*Spitzer Adaptation of the Red-sequence Cluster Survey*) y GCLASS (*Gemini CLuster Astrophysics Spectroscopic Survey*, Muzzin et al. 2012). La evolución de cúmulos de galaxias en diferentes ambientes es muy importante, principalmente cuando la edad del Universo era de un tercio de la actual. Estos cúmulos a altos *redshifts* serían los progenitores de los cúmulos que observamos hoy, a $z \approx 0$. Este relevamiento va a dejar, además nuevos blancos observacionales para otros relevamientos futuros como ser: eRosita, la nueva generación de relevamientos en rayos X, y Euclid, la próxima misión espacial para estudiar la energía oscura.

El estatus del relevamiento GOGREEN a marzo del 2015 es de 439.3 horas asignadas y de 47.3 horas ejecutadas. Todas las imágenes en la banda z' profundas de los campos del hemisferio sur han sido tomadas, y 9 máscaras para espectroscopía han sido observadas. Los datos observados ya se encuentran reducidos y, para ello, se ha confeccionado una *pipeline* de reducción. Uno de los objetivos principales es medir el *redshift* de objetos muy débiles, se pretenden espectros con una señal/ruido de aproximadamente 3 para objetos más brillantes y para galaxias con magnitud en la banda z' más débiles que 23.5 mag se necesitarán varias máscaras. Para poder alcanzar estos objetivos se han pensado programas de reducción rápida para poder evaluar los espectros que se van tomando, y agregar tiempo de exposición si así fuera necesario. Contar con unos 1000 miembros confirmados de los cúmulos de galaxias observados permitirá determinar masas estelares a altos *redshifts* sin precedentes.

Estos estudios permiten trabajar con datos Gemini de excelente calidad en temas actuales y de vanguardia en el campo de investigación de los cúmulos de galaxias.

Referencias

- Baldry, I. K., Glazebrook, K., Brinkmann, J., et al. 2004, *ApJ*, 600, 681
- De Lucia, G., Poggianti, B. M., Aragón-Salamanca, A. et al. 2004, *ApJ*, 610, L77
- De Lucia, G., Boylan-Kolchin, M., Benson, A. J., Fontanot, F., & Monaco, P. 2010, *MNRAS*, 406, 1533
- Dressler, A. 1980, *ApJ*, 236, 351
- Gladders, M. D., Lopez-Cruz, O., Yee, H. K. C., & Kodama, T. 1998, *ApJ*, 501, 571
- González, E. J., Foëx, G., Nilo Castellón, J. L., et al. 2015, *MNRAS*, 452, 2225
- Muzzin, A., Wilson, G., Yee, H. K. C., et al. 2012, *ApJ*, 746, 188
- Nilo Castellón, J. L., Alonso, M. V., García Lambas, D., et al. 2014, *MNRAS*, 437, 2607
- Nilo Castellón, J. L., Alonso, M. V., García Lambas, D., et al. 2015, *MNRAS*, enviado
- Poggianti, B. M., Fasano, G., Bettoni, D., et al. 2009, *ApJ*, 697, L137

Observaciones en el óptico e infrarrojo de una muestra de estrellas candidatas a B[e] galácticas

M. L. Arias^{1,2}, L. S. Cidale^{1,2}, M. Kraus^{3,4}, A. Torres^{1,2}, A. Granada⁵

¹ Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, Argentina

² Instituto de Astrofísica de La Plata (CONICET-UNLP), Argentina

³ Astronomický ústav, Akademie věd České Republiky, Ondřejov, Czech Republic

⁴ Tartu Observatory 61602, Tõravere, Tartumaa, Estonia

⁵ Geneva Observatory, University of Geneva, Switzerland

Resumen

En este trabajo presentamos observaciones espectroscópicas, en las bandas *K* y *L* del infrarrojo (IR) y en el rango óptico, de una muestra de candidatas a estrellas B[e] galácticas. En base al análisis de sus espectros y usando criterios de clasificación en el IR, buscamos describir el material circunestelar y discutir una posible clasificación de estos objetos.

1. Introducción

Las estrellas con fenómeno B[e] son un grupo de estrellas masivas que se caracteriza por presentar líneas prohibidas en emisión, originadas en una envoltura circunestelar gaseosa, y fuertes excesos de radiación infrarroja producida por polvo circunestelar. Esta fenomenología puede presentarse en objetos con estados evolutivos muy diferentes, pero cuyas envolturas extendidas muestran condiciones físicas similares. Los objetos con fenómeno B[e] forman un grupo heterogéneo dentro del que podemos encontrar objetos de pre secuencia principal (Herbig AeB[e]), estrellas evolucionadas (supergigantes B[e] o nebulosas planetarias compactas) y estrellas simbióticas.

Las envolturas extendidas de gas y polvo de las estrellas con fenómeno B[e], *borran* en mayor o menor grado las características espectrales fotosféricas, haciendo, en muchos casos, difícil o imposible conocer la naturaleza del objeto central. Sin embargo, en la región infrarroja entre 1-4 μm , las estrellas B[e] presentan características que permiten estudiar el material circunestelar y, en algunos casos, hacen posible clasificarlas o distinguir las de otras clases de objetos con estados evolutivos similares. Entre las características destacadas en la región del IR podemos mencionar:

- a. Líneas de H en emisión: $\text{P}\gamma$, $\text{Br}\alpha$ y $\text{Br}\gamma$, que revelan características del viento.

- b. Líneas de bandas moleculares en emisión, tales como ^{12}CO , ^{13}CO , SiO, CS, H_2 , que se forman en distintas regiones de los discos circunestelares. Modelando estas líneas se obtienen parámetros físicos y dinámicos de la región donde se forman (Kraus et al. 2000). Además, la abundancia relativa de ^{12}CO respecto de ^{13}CO revela información acerca del estado evolutivo del objeto (Kraus 2009).
- c. Líneas características de objetos fríos, correspondientes a bandas moleculares en absorción o metales neutros, que permiten detectar una compañera tardía.
- d. Colores ($J - K$) vs. ($H - K$) que permiten distinguir las B[e] supergigantes de las LBV (*luminous blue variables*) (Oksala et al. 2013).

En base a estas características, y complementando con el análisis espectral del rango óptico, intentamos definir el estado evolutivo y las propiedades de los discos de una muestra de 5 objetos tempranos que han sido propuestos como estrellas B[e] solo en base a su gran exceso de flujo IR. Sin embargo, la mayoría de estos objetos no han sido estudiados en detalle y su naturaleza aún no es clara. En el presente trabajo mostraremos los resultados obtenidos para tres de ellos: AS 119, MWC 728 e IRAS 02155+6410.

2. Observaciones

Las observaciones infrarrojas fueron obtenidas con GEMINI/GNIRS en 2010 y 2012 (program ID: GN-2010B-SV-157 y GN-2012B-Q-101), en modo de ranura simple, con una resolución de $\simeq 6000$ y en los rangos comprendidos entre $2.15 \mu\text{m}$ a $2.35 \mu\text{m}$ (banda K) y $3.5 \mu\text{m}$ a $4.10 \mu\text{m}$ (banda L). Las observaciones en el rango óptico fueron realizadas con el telescopio de 2.15 m del Complejo Astronómico El Leoncito (CASLEO), en baja resolución con el espectrógrafo Boller & Chivens, y en alta resolución con REOSC, durante 2001 y 2012 respectivamente. También se realizaron observaciones en el rango óptico en los años 2012 y 2014, usando el espectrógrafo Coudé montado en el telescopio Perek en el Observatorio de Ondřejov, República Checa.

3. Resultados

AS 119 (IRAS 06070-0938, $K=7.65$ mag): AS 119 es reportada como un objeto con gran exceso IR y clasificada como B[e], pero con estado evolutivo aún no definido. Miroshnichenko (2007) sugiere, en base al análisis de espectros ópticos y del cercano IR, que esta estrella podría ser una binaria en una fase de transferencia rápida de masa. Nuestra determinación de sus parámetros fundamentales usando la

clasificación BCD en un espectro óptico de baja resolución, dan como resultado: $T_{\text{eff}} = 20000 \text{ K}$ y $\log(g) = 4.0$, con un tipo espectral B3V. En la banda *K* se observa la línea de $\text{Br}\gamma$ en emisión. Además, se observan indicios de la presencia de líneas moleculares de CO en absorción alrededor de $2.3 \mu\text{m}$. En la banda *L* las líneas $\text{Br}\alpha$, $\text{P}\gamma$ y varias líneas de la serie de Humphries están en emisión (Fig. 1). Las líneas de H son en general débiles y anchas, siendo $\text{Br}\gamma$ la más intensa. Notamos, además, la presencia de líneas de la molécula de SiO en la región de $4 \mu\text{m}$. En base al análisis de sus cocientes de flujos de líneas de H en emisión ($\log(\text{Hu}14/\text{Br}\alpha) = -1.1$ y $\log(\text{Hu}14/\text{P}\gamma) = -0.8$), hemos podido ubicar esta estrella en el diagrama de Lenorzer et al. (2002), y su posición indicaría que tiene una envoltura de gas ionizado ópticamente delgada. La presencia de líneas moleculares confirmaría la existencia de una compañera tardía.

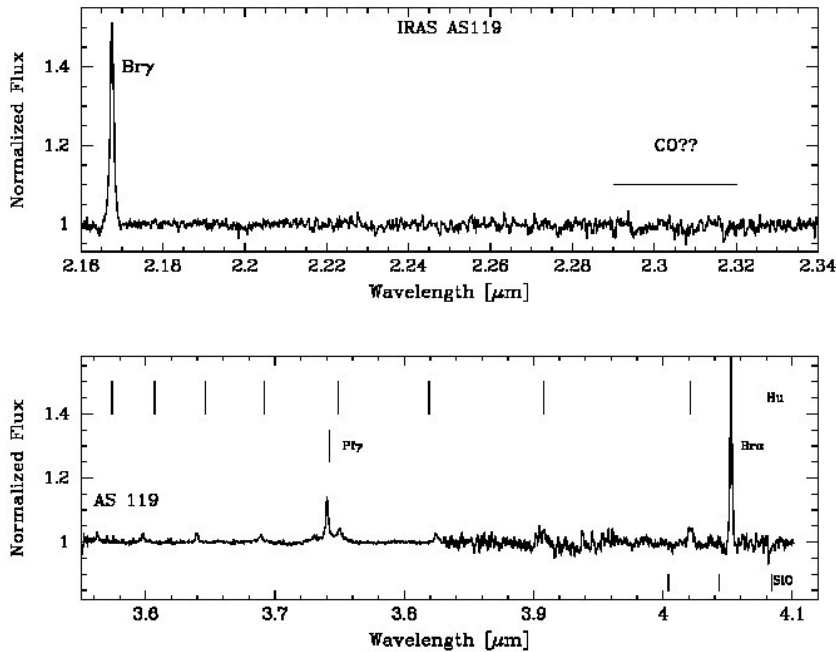


Figura 1: Espectro en la banda *K* (arriba) y *L* (abajo) de AS 119

IRAS 02155+6410 (2MASS J02192281+6424412, $K = 9.45 \text{ mag}$): Este objeto presenta un fuerte exceso en el IR cercano y medio, con una distribución espectral de energía similar a la de las estrellas B[e]. Su contraparte óptica es una estrella de tipo A3 (Miroshnichenko 2007). Nuestro espectro en la banda *K* muestra a la línea $\text{Br}\gamma$ en absorción y no se detecta presencia de líneas moleculares de CO. En la banda *L* no se observan líneas de H, sugiriendo que están rellenas por emisión.

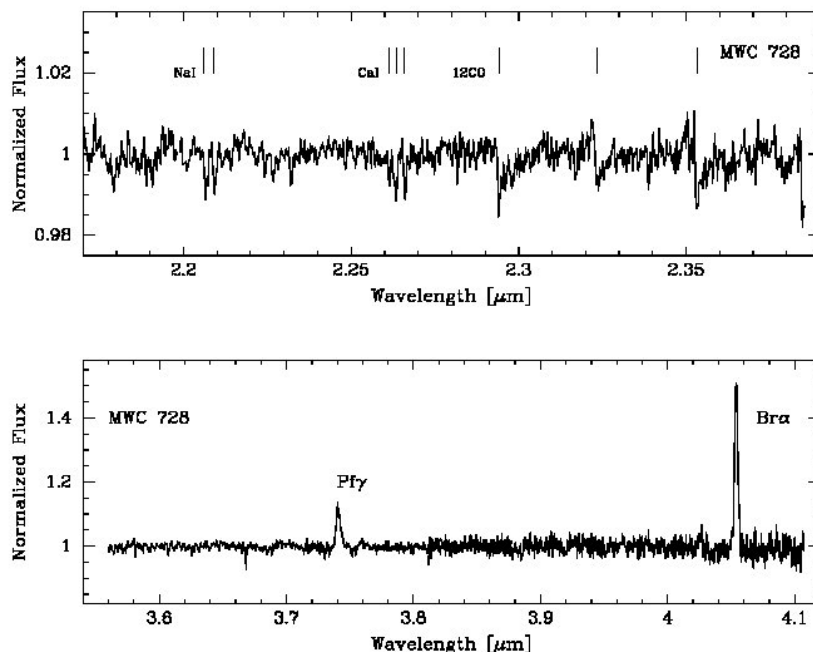


Figura 2: Espectro en la banda K (*arriba*) y L (*abajo*) de MWC 728

No es una estrella B[e]. Sus colores IR la ubicarían en la región de las LBV en el diagrama $(J - H)$ vs. $(H - K)$ (Oksala et al. 2013). Este resultado, en conjunto con sus características espectrales, sugiere que podría ser una LBV en su fase activa.

MWC 728 (IRAS 03421+2935, $K = 6.92$ mag): En la banda K observamos la línea $\text{Br}\gamma$ en emisión y líneas moleculares de ^{12}CO y ^{13}CO en absorción en la región de $2.3 \mu\text{m}$. Esta última molécula indicaría la naturaleza evolucionada de la estrella (Kraus 2009). Se identificaron líneas de CaI y NaI (Fig. 2), lo cual confirmaría la presencia de una compañera tardía. En la banda L observamos las líneas $\text{Pf}\gamma$ y $\text{Br}\alpha$ en emisión.

Referencias

- Kraus, M. 2009, A&A, 494, 253
- Kraus, M., Krügel, E., Thum, C. & Geballe, T. R. 2000, A&A, 362, 158
- Lenorzer, A., de Koter, A., & Waters, L. B. F. M. 2002, A&A 386, L5
- Miroshnichenko, A. S. 2007, ApJ, 667, 497
- Oksala, M. E., Kraus, M., Cidale S. et al. 2013, A&A, 558 A17

Acerca del núcleo galáctico de NGC 253

J. A. Camperi¹, G. I. Günthardt¹, M. P. Agüero^{1,2}, R. J. Díaz^{3,4}, P. L. Gomez⁴,
G. Bosch⁵, M. Schirmer⁶

¹ Observatorio Astronómico, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina

³ Instituto de Ciencias Astronómicas, de la Tierra y del Espacio (CONICET), Argentina

⁴ GEMINI Observatory/AURA, Southern Operations Center, La Serena, Chile

⁵ Instituto de Astrofísica de La Plata (CONICET-UNLP), Argentina

⁶ Universität Bonn, Alemania

Resumen

NGC 253 es la mejor candidata para estudiar la relación entre el fenómeno *starburst* y la actividad AGN. Sin embargo, debido a la presencia de polvo interestelar ha sido incierto hasta ahora cuál es su verdadero centro dinámico. La espectroscopía en el cercano infrarrojo podría ayudar a determinar la auténtica naturaleza del núcleo. Mediante el empleo del espectrógrafo multifunción Flamingos-2 y de la cámara T-ReCS del telescopio Gemini Sur, hemos conseguido espectros en las bandas NIR del infrarrojo e imágenes MIR de la estructura central. En este trabajo presentamos evidencia de que la fuente más brillante en el infrarrojo cercano (NIR) y en el infrarrojo medio (MIR), tiene varios rasgos característicos de un genuino núcleo galáctico.

1. Introducción

NGC 253, situada a una distancia de 3.90 ± 0.37 Mpc (donde $1'' \sim 17$ pc), es un ejemplo típico de una galaxia *starburst* ubicada en el Grupo de Escultor ($\alpha \sim 00^{\text{h}} 47^{\text{m}}$, $\delta \sim -25^{\circ} 17'$). Se cree que la naturaleza *starburst* de esta galaxia está originada por la presencia de una barra de 6 kpc que alimenta de gas a su núcleo. Múltiples fuentes discretas se detectaron en varias longitudes de onda, incluyendo aproximadamente 60 radiofuentes compactas. Dentro de ellas se encuentra el pico de emisión radial de NGC 253 en 2 cm, TH2 (Turner & Ho 1985), considerado el centro cinemático de la galaxia. Sin embargo, estudios minuciosos del entorno nuclear han fallado en identificar una fuente discreta asociada con TH2 que pueda ser señalado como el núcleo de la galaxia. Por otra parte, Muller-Sánchez et al. (2010) encontraron un centro cinemático estelar (SKC) localizado entre la más poderosa radiofuente (TH2) y el pico IR, a $2.6''$ NE de dicho pico IR.

En la investigación en curso estudiamos las propiedades de los objetos IR más brillantes en la región circunuclear de NGC 253, incluyendo los alrededores del candidato a núcleo TH2 y, especialmente, el objeto de interés del presente trabajo:

el SSC (*Super Star Cluster*) TH7 coincidente con el pico de emisión en el infrarrojo cercano (NIR) y el infrarrojo medio (MIR), por lo que lo hemos denominado IRC (*Infrared Core*). Con este propósito, hemos empleado el instrumento de Gemini Sur, Flamingos-2, que nos permitió conseguir imágenes NIR y espectros NIR de ranura larga en la banda *Ks* a lo largo del eje mayor de NGC 253. Adicionalmente, analizamos imágenes MIR tomadas con el instrumento T-Recs de Gemini Sur.

En esta presentación nos focalizaremos en algunos resultados espectroscópicos.

2. Observaciones

Las observaciones NIR fueron realizadas con Flamingos-2 (de aquí en más F2) en el telescopio Gemini Sur de 8.1 m, el 24 de junio de 2013. Los espectros se obtuvieron usando el dispersor (*grism*) R3000 con un filtro *Ks*, cubriendo un rango de 1.95 a 2.35 μm . El tiempo efectivo de exposición total sobre la fuente fue de 2400 segundos. Los espectros de cielo fueron tomados a 7' del cuerpo principal de la galaxia. La ranura de 3 pixeles proporcionó una resolución máxima de $R \sim 1600$ a aproximadamente 2.15 μm , disminuyendo a $R \sim 800$ en los extremos del rango espectral. El estudio reportado aquí se centró en los 2' centrales de la ranura. Todos los datos espectroscópicos fueron inicialmente reducidos con la *pipeline* de F2, y la reducción fue completada con técnicas estándar de IRAF.

3. Resultados

Hemos elegido resumir varios resultados logrados por medio de las siguientes figuras seleccionadas. El cuerpo de información del que ellas forman parte permite deducir que IRC presenta rasgos remarcables. A saber, es la fuente más potente en el infrarrojo (NIR y MIR). También es la fuente más potente en rayos X blandos. El centro de rotación derivado de la emisión de H2 está ubicado a 0.18'' SW de la posición de IRC. Esto es, dentro de una incerteza posicional menor a 0.2'', puede ser asociado con IRC en vez de con TH2 y el SKC, que están localizados a 3.5'' y 2.8'' respectivamente. El residuo principal de la curva de rotación de H2 puede ajustarse por una curva senoidal que queda centrada a 0.13'' SW de la posición de IRC.

Todos estos resultados en conjunto contribuyen a la consideración de IRC como un sólido candidato a núcleo de NGC 253.

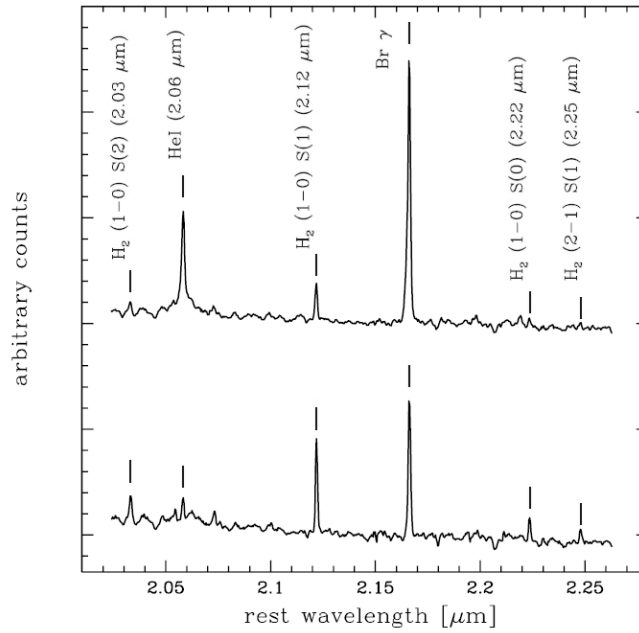


Figura 1: Espectro NIR de la región nuclear (IRC) y de una región ubicada $7.1''$ al NE de IRC.

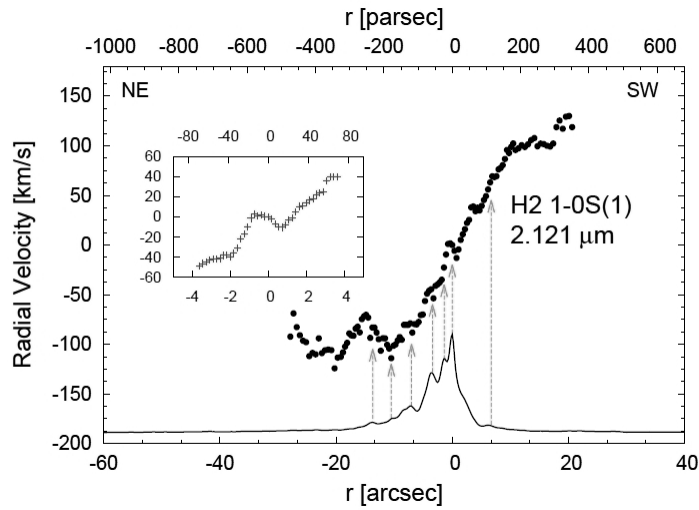


Figura 2: Distribución de velocidades radiales de H_2 a lo largo del eje mayor. En línea llena se muestra el perfil del continuo vecino a la línea de H_2 . Las flechas señalan las posiciones de regiones conspicuas identificadas (Camperi et al. 2014). Recuadro: *zoom* de la distribución de la velocidad radial de la región nuclear.

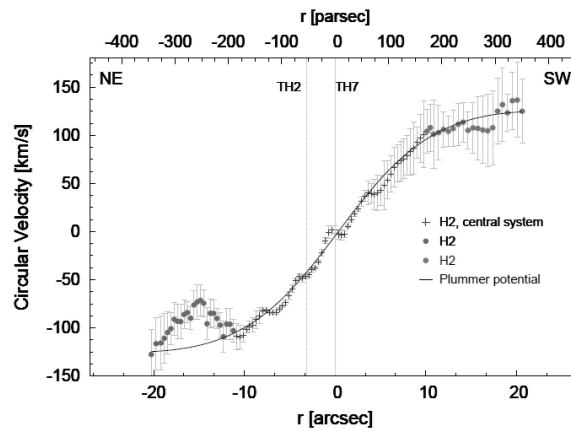


Figura 3: Curva de rotación de H2 a lo largo del eje mayor, junto con el ajuste de una curva de un potencial de Plummer.

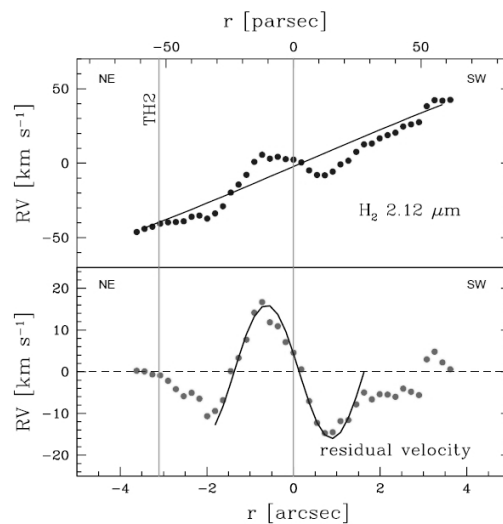


Figura 4: *Arriba*: curva de rotación de la región nuclear y ajuste de un potencial global Plummer. *Abajo*: velocidad residual (curva menos Plummer). Se ajustó una función senoidal.

Referencias

- Camperi, J. A., Günthardt, G. I., Agüero, M. P., Díaz, R. J., & Schirmer, M. 2015, BAAA, 57, 28
- Muller-Sánchez, F., N., González-Martín, O., Fernández-Ontiveros, J. A., Acosta-Pulido, J. A., & Prieto, M. A. 2010, ApJ, 716, 1166
- Turner, J. L., & Ho, P. T. P. 1985, ApJ, 299, L77

Discos circunestelares de estrellas masivas: una visión a través de Gemini

Lydia S. Cidale^{1,2,3}

¹ Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, Argentina

² Instituto de Astrofísica de La Plata (CONICET-UNLP), Argentina

³ Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación, Argentina

Resumen

Aproximadamente un 20% de las estrellas B son peculiares. Estos objetos eyectan enormes cantidades de materia, que se acumula a su alrededor formando estructuras tipo disco, o anillo en rotación o expansión. La estructura física y química de estos discos puede deducirse empleando diferentes trazadores espectrales, y técnicas de alta resolución espacial. Aquí describimos los aportes que ha brindado Gemini a nuestro actual conocimiento sobre las propiedades de los discos circunestelares de estrellas B[e].

1. Introducción

Las estrellas con fenómeno B[e] constituyen un grupo heterogéneo formado por objetos de tipo espectral B en diferentes estados evolutivos (Lamers et al. 1998). Las características comunes a todos estos objetos son:

- I. un espectro óptico con líneas en emisión de H, y de transiciones prohibidas y permitidas de átomos neutros e ionizados, y
- II. fuertes excesos IR originados por la emisión térmica de un disco de polvo.

Entre estos objetos encontramos:

- a. estrellas Herbig Ae/B[e]: objetos de pre secuencia principal con masas entre $1 M_{\odot}$ y $5 M_{\odot}$;
- b. nebulosas planetarias compactas: objetos evolucionados de post secuencia principal y poco masivos;
- c. supergigantes B[e]: objetos evolucionados y muy masivos;
- d. binarias simbióticas B[e]: sistemas binarios formados por una gigante roja y una enana blanca; y
- e. un grupo híbrido que muestra simultáneamente características de objetos jóvenes y evolucionados. Miroshnichenko (2007) propuso denominar a este último grupo “objetos FS CMa”, tomando el nombre de la estrella prototipo.

Nuestro interés se centra, particularmente, en las supergigantes B[e] (SgB[e]). Estas estrellas muestran un espectro híbrido donde se evidencian:

- a. líneas de resonancia UV de elementos altamente ionizados (C IV, N V, O VI) y alta velocidad en expansión (300 – 500 km/s);
- b. líneas de metales una vez ionizados con velocidades de unos 30 km/s;
- c. moléculas como TiO, CO (Zickgraf et al. 1985, 1986) y SiO (Kraus et al. 2014);
- d. polvo caliente con entornos ricos en oxígeno (silicatos cristalinos) o carbono (PAHs, Kastner et al. 2010).

2. Motivación y metodología

Se procura modelar la dinámica del gas ionizado y molecular, y comprender la evolución de los discos circunestelares y la formación de polvo en las SgB[e].

En la región espectral del IR cercano ($\sim 2.3 \mu\text{m}$), encontramos la emisión de las cabezas de bandas de CO. El modelado de la molécula de CO (transiciones roto-vibracionales $v = 2 - 0$ y $v = 3 - 1$) permite delinear la parte externa del disco gaseoso (Kraus 2009) y determinar la dinámica, la temperatura y la densidad del mismo. Además, en esta misma región espectral pueden detectarse las bandas de ^{13}CO , siendo el cociente $^{12}\text{CO}/^{13}\text{CO}$ un indicador de la etapa evolutiva que transita el objeto (Kraus 2009; Liermann et al. 2010).

Para modelar el CO empleamos datos espectroscópicos de media y alta resolución utilizando instrumentos de Gemini Norte (GNIRS) y Gemini Sur (PHOENIX). A estos datos les sumamos observaciones obtenidas con instrumentos del *Very Large Telescope* (VLT/SINFONI y VLT/CRIRES, ESO) y resultados obtenidos con interferometría óptica de larga base (VLTI/MIDI). El ajuste del espectro de CO se realiza extrayendo el continuo y utilizando el modelo de un disco de CO en equilibrio termodinámico local. Para tal fin, empleamos el código desarrollado por Kraus et al. (2000).

3. Resultados generales

De un relevamiento de observaciones espectroscópicas en la banda *K*, realizado con VLT/SINFONI, estudiamos las propiedades de algunas estrellas SgB[e], estrellas Variables Luminosas Azules (LBVs) y estrellas hipergigantes amarillas (Oksala et al. 2013). Encontramos que algunas SgB[e] presentan emisión de CO mientras que las hipergigantes amarillas presentan las bandas de CO en absorción. Por otra parte, los objetos que muestran CO en emisión también presentan un alto contenido de ^{13}CO , confirmando el estado evolucionado de los mismos. Es interesante resaltar

que el espectro IR de varias estrellas SgB[e] sin emisión de CO se asemeja al de las LBVs calientes que transitan la fase tranquila (*quiescent*). A su vez, ambos grupos se ubican en la misma región del diagrama H-R. A fin de clasificar y diferenciar claramente a las SgB[e] de las LBVs, proponemos usar un diagrama IR color-color ($J - H$) y ($H - K$), como se muestra en la Figura 1.

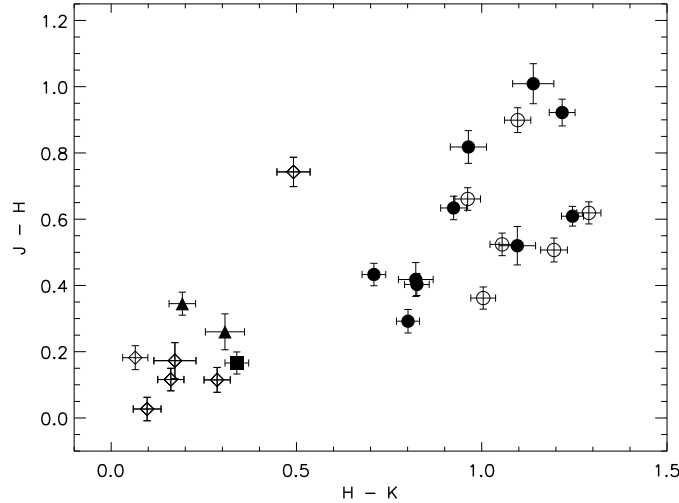


Figura 1: Diagrama color-color ($J - H$) y ($H - K$) extraído de Oksala et al. (2013). Las SgB[e] (círculos) se ubican a la derecha del diagrama y las LBVs (rombos), a la izquierda. Símbolos abiertos indican estrellas sin CO. En el diagrama también se indica la ubicación de las supergigantes amarillas (triángulos) y de una estrella Oe (cuadrado).

3.1. Aportes de Gemini al conocimiento de las SgB[e]

Los trabajos realizados por el grupo “Modelos de Estrellas Peculiares” (IALP, FCAG) han sido focalizados en la búsqueda de nuevas estrellas SgB[e] y al estudio de objetos individuales. Dada la alta luminosidad de las SgB[e], estos objetos son visibles en otras galaxias del Grupo Local. Actualmente se conocen 25 objetos en las Nubes de Magallanes (15 en la LMC y 11 en la SMC) y alrededor de 15 candidatos en la Vía Láctea, debido a las incertezas en las distancias (y luminosidades) producida por la absorción de gas+polvo. Para ampliar la muestra de objetos conocidos, nuestro grupo exploró algunos objetos con líneas de emisión en M 31. Estos objetos fueron seleccionados del catálogo de Massey et al. (2007). La búsqueda se realizó con GNIRS en la banda K , con una resolución $R = 5900$. Empleando el criterio de la relación $^{12}\text{CO}/^{13}\text{CO}$ y el diagrama IR color-color de la Figura 1, confirmamos que dos de las cuatro estrellas observadas son SgB[e] (ver Fig. 2,

izquierda). El hecho de encontrar los primeros miembros de esta población en M 31 abre nuevas puertas para estudiar la evolución estelar, dado que Andrómeda presenta una metalicidad que duplica a la de nuestra Galaxia. Como consecuencia, los vientos que generan las estrellas son más intensos y los tiempos de evolución estelar serían más cortos.

Encontramos que en las estrellas LBVs que presentan discos de CO, éstos son muy variables. La Figura 2 (derecha) muestra el descubrimiento del disco de CO en LHA 120-S65 (Oksala et al. 2013) con VLT/SINFONI, 9 meses después de la observación realizada con Gemini/PHOENIX (R= 50000) que, al igual que el reporte de McGregor et al. (1989), indica la falta de CO. Este objeto no mostró variaciones espectrales ni fotométricas en el rango óptico por más de 30 años (Kraus et al. 2010). También reportamos la disipación de un disco de CO en una estrella de nuestra Galaxia (como ocurrió en MWC84, Liermann et al. 2014).

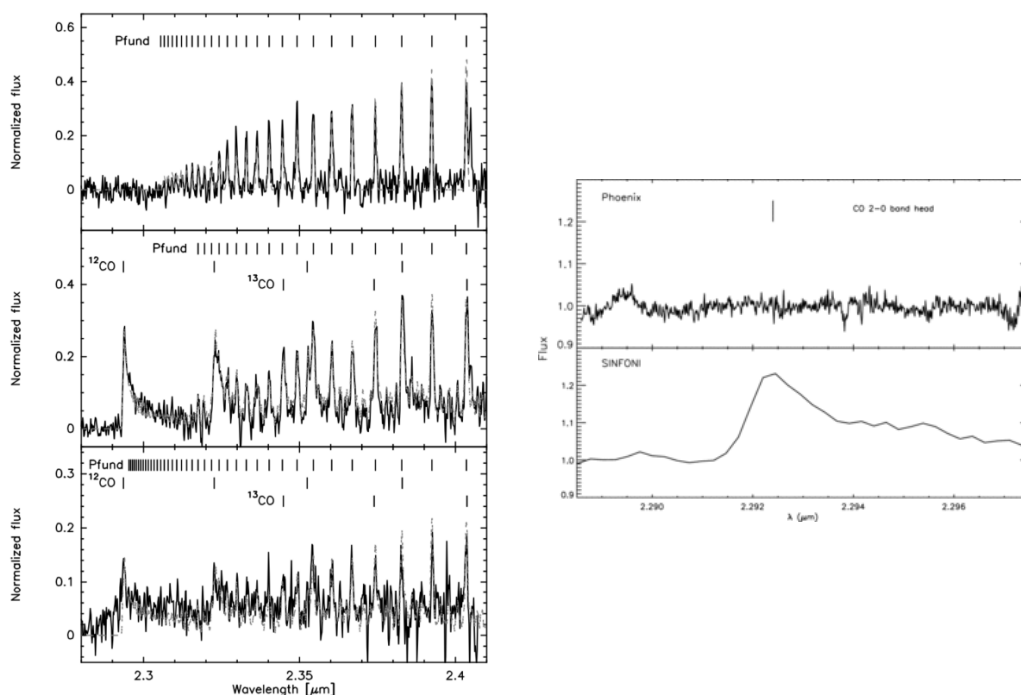


Figura 2: *Izquierda*: ajustes de espectros IR de objetos de M 31; la LBV J00404307+410859 (*arriba*), la SgB[e] J00441709+4119273 (*centro*), y la SgB[e] J00452257+4150346 (*abajo*) (figura extraída de Kraus et al. 2014). *Derecha*: observación de las bandas de CO de LHA120-S65 en LMC, con Gemini/PHOENIX (*arriba*) y VLT/SINFONI (*abajo*) (figuras extraídas de Oksala et al. 2012).

Del modelado de discos de CO de objetos individuales, hemos podido encontrar que algunos de estos discos se encuentran en rotación kepleriana, como es el

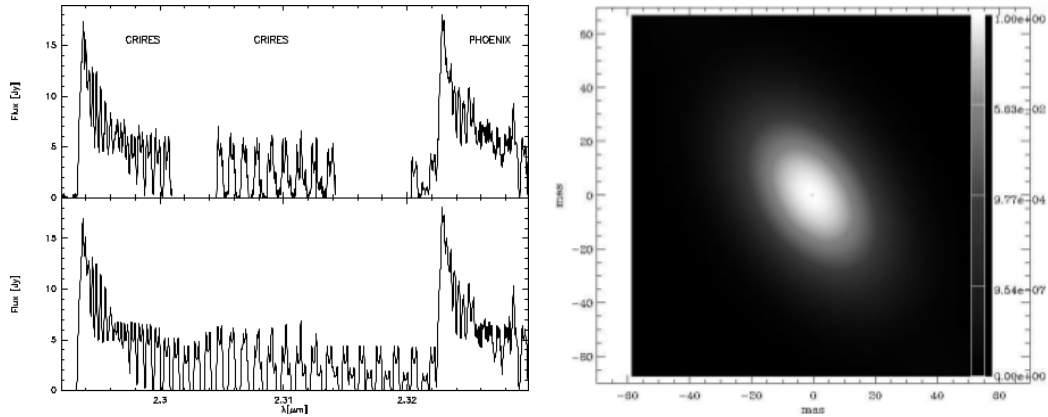


Figura 3: CPD-52 9243. *Izquierda:* Observación de las bandas de CO (*arriba*) y el mejor ajuste teórico (*abajo*). *Derecha:* Modelo geométrico de un disco de polvo considerando la distribución de una gaussiana elíptica. Figuras extraídas de Cidale et al. (2012).

caso de CPD-52 9243 (Cidale et al. 2012). En particular, la espectroscopía IR en combinación con VLT (Sección 2) nos ha permitido estimar la temperatura del disco (2400 K) y su densidad de columna de átomos ($4 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$). Con VLTI encontramos, además, que este anillo de CO está rodeado por un anillo de polvo ubicado a una distancia de $28.4 \pm 7.8 \text{ UA}$ de la estrella. En la Figura 3 (*izq.*) se muestra el espectro de CO tomado con PHOENIX y CRIRES, y el modelado de CO. En la Figura 3 (*der.*) se observa la imagen de VLTI del anillo de polvo con un ángulo de inclinación de 46.1° .

4. Conclusiones

Las supergigantes B[e] son estrellas de gran masa y luminosidad que se caracterizan por presentar discos o anillos ecuatoriales, formados por átomos, moléculas y polvo. Además, expulsan materia en forma constante por las regiones polares (a modo de *jets*). Este fenómeno transcurre durante una fase muy corta dentro de la evolución de una estrella, y se considera que estas estrellas podrían ser precursores de las supernovas de tipo II.

Hemos modelado los discos de CO encontrando que los mismos se encuentran en rotación kepleriana y están ubicados a unas pocas UA de las estrellas supergigantes B[e]. La medición de la razón $^{12}\text{CO}/^{13}\text{CO}$ nos ha permitido detectar otras supergigantes tanto en nuestra Galaxia como en M 31. En dos LBVs hemos encontrado aumentos o disminuciones en la emisión de CO, evidenciando la formación

y disipación del disco. A futuro, planeamos buscar otras moléculas en emisión (H_2O , OH, CS, etc.) y analizar los mecanismos que intervienen en los procesos de eyección de materia. Nos proponemos estudiar el entorno de las estrellas utilizando espectroscopía 3D (IFU) e imágenes de alta resolución.

Agradecimientos

Este trabajo contó con el apoyo de los subsidios de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (Préstamo BID PICT 2011/0885), de CONICET (PIP 0177), y del Programa de Incentivos, UNLP (G11/137).

Referencias

- Cidale, L. S., Borges Fernandes, M., Andruchow, I., et al. 2012, *A&A*, 548, A72
- Kastner, J. H., Buchanan, C., Sahai, R., Forrest, W. J., & Sargent, B. A. 2010, *AJ*, 139, 1993
- Kraus, M. 2009, *A&A*, 494, 253
- Kraus, M., Borges Fernandes, M., & de Araújo, F. X. 2010, *A&A*, 517, A30
- Kraus, M., Cidale, L. S., Arias, M. L., Oksala, M. E., & Borges Fernandes, M. 2014, *ApJ*, 780, L10
- Kraus, M., Krügel, E., Thum, C., & Geballe, T. R. 2000, *A&A*, 362, 158
- Lamers, H. J. G. L. M., Zickgraf, F.-J., de Winter, D., Houziaux, L., & Zorec, J. 1998, *A&A*, 340, 117
- Liermann, A., Kraus, M., Schnurr, O., & Fernandes, M. B. 2010, *MNRAS*, 408, L6
- Liermann, A., Schnurr, O., Kraus, M., et al. 2014, *MNRAS*, 443, 947
- Massey, P., McNeill, R. T., Olsen, K. A. G., et al. 2007, *AJ*, 134, 2474
- McGregor, P. J., Hyland, A. R., & McGinn, M. T. 1989, *A&A*, 223, 237
- Miroshnichenko, A. S. 2007, *ApJ*, 667, 497
- Oksala, M. E., Kraus, M., Arias, M. L., et al. 2012, *MNRAS*, 426, L56
- Oksala, M. E., Kraus, M., Cidale, L. S., Muratore, M. F., & Borges Fernandes, M. 2013, *A&A*, 558, A17
- Zickgraf, F.-J., Wolf, B., Leitherer, C., Appenzeller, I., & Stahl, O. 1986, *A&A*, 163, 119
- Zickgraf, F.-J., Wolf, B., Stahl, O., Leitherer, C., & Klare, G. 1985, *A&A*, 143, 421

El enigmático sistema de cúmulos globulares de la galaxia lenticular NGC 6861

Carlos G. Escudero^{1,2}, Favio R. Faifer^{1,2}, Lilia P. Bassino^{1,2}, Juan P. Calderón^{1,2},
Juan P. Caso^{1,2}

¹ Instituto de Astrofísica de La Plata (CONICET-UNLP), Argentina

² Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, Argentina

Resumen

Mediante el empleo de imágenes Gemini/GMOS de tres campos, utilizando los filtros g' , r' , i' , realizamos el estudio fotométrico del sistema de cúmulos globulares (CGs) de la galaxia lenticular NGC 6861. La determinación del perfil de brillo superficial de la galaxia muestra isofotas no concéntricas. Por otro lado, a partir de los diagramas color-color y color-magnitud de los candidatos a CGs, se realizó un análisis de la distribución de color integrado, así como de la distribución espacial del sistema. De ellos, se detecta la existencia de al menos dos subpoblaciones de CGs (“azules” y “rojos”), infiriendo, además, la presencia de una tercera subpoblación con colores intermedios. Estos resultados indicarían que NGC 6861 posiblemente ha sufrido en el pasado al menos un evento de interacción y/o fusión.

1. Introducción

La galaxia lenticular (S0) NGC 6861, ubicada en el grupo Telescopium ($d \sim 28.1$ Mpc; Tonry et al. 2001), se encuentra prácticamente inexplorada en lo que respecta al estudio de su sistema de CGs. Debido a que los mismos proporcionan importantes pistas sobre las primeras etapas de la formación de galaxias de tipo temprano, nos proponemos aquí caracterizar al sistema de CGs de NGC 6861 y obtener evidencias acerca de su historia evolutiva.

2. Perfil de brillo superficial

Obtuvimos el perfil de brillo superficial μ_g de NGC 6861 empleando la tarea ELLIPSE de IRAF, la cual ajusta isofotas elípticas a la galaxia. Enmascarando los objetos más brillantes presentes en los campos, modelamos la luz de la misma, permitiendo la libre variación del centrado, la elipticidad y el ángulo de posición de las isofotas hasta $R_{\text{gal}} < 2$ arcmin.

Los resultados se muestran en la Figura 1. Se observa en la misma que la elipticidad varía de 0.46 a 0.2 dentro de 100 arcsec, mientras que el ángulo de posición presenta una diferencia de $\sim 44^\circ$ entre la zona interna y el radio mencionado anteriormente.

Estos cambios en los parámetros isofotales, también son detectados en los términos de Fourier (A_3 , B_3 , A_4 , B_4), los cuales miden las desviaciones de las isofotas respecto de una elipse perfecta. De acuerdo al signo presentado por el coeficiente B_4 (Jedrzejewski 1987), las galaxias de tipo temprano pueden clasificarse en “disco” ($B_4 > 0$) o “caja” ($B_4 < 0$). En el caso de NGC 6861, dentro de 1 arcmin, B_4 indica isofotas “disco”, mientras que a radios mayores, el parámetro B_4 cambia su signo presentando isofotas tipo “caja”. Es interesante mencionar que este último tipo de isofotas usualmente suelen ser indicativas de fusiones recientes (Kormendy & Bender 1996).

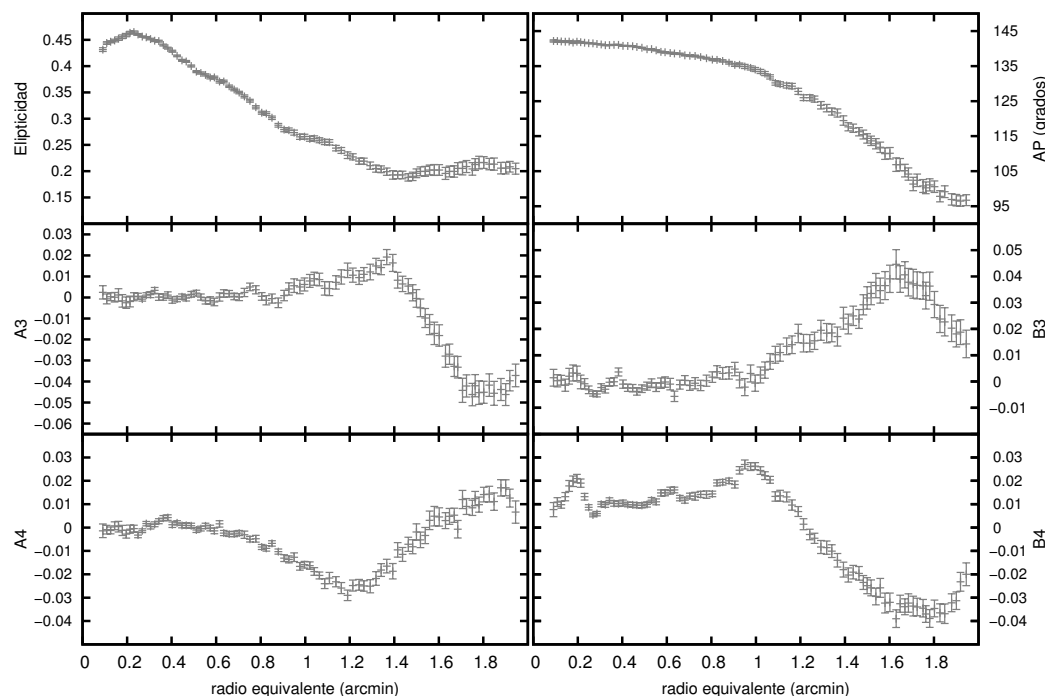


Figura 1: Parámetros isofotales para el filtro g' en función del radio galactocéntrico equivalente (\sqrt{ab}). De izquierda a derecha y de arriba hacia abajo, los gráficos muestran la elipticidad y el ángulo de posición (AP) de las isofotas, así como los coeficientes de Fourier A_3 , B_3 , A_4 , B_4 , respectivamente.

3. Distribución espacial y acimutal de los CGs

Mediante los diagramas color-color y color-magnitud construidos a partir de los objetos no resueltos detectados en los campos GMOS (ver Escudero et al. 2015), realizamos la selección de candidatos a CGs de NGC 6861.

Para cuantificar las diferentes subpoblaciones presentes en el sistema de CGs de NGC 6861, empleamos los *software* GMM (Muratov & Gnedin 2010) y RMIX¹. Los resultados obtenidos de ambos algoritmos, indican que una distribución trimodal ofrece un mejor ajuste a los datos. Luego, para separar las diferentes subpoblaciones de CGs (“azules”, “intermedios” y “rojos”), consideramos cortes en color $(g' - i')_0$.

La Figura 2 (*izq.*) muestra la distribución espacial proyectada para las tres subpoblaciones. En ella se aprecia que los CGs rojos e intermedios, presentan una elongación y concentración mayor hacia la galaxia que los azules.

Por su parte, en la Figura 2 (*der.*) se presentan los histogramas de la distribución acimutal para la muestra completa de CGs, así como para cada subpoblación. Utilizando la expresión de McLaughlin, Harris & Hanes (1994), pudimos obtener la elipticidad y el ángulo de posición para los mismos (Tabla 1). Se observa que las subpoblaciones roja e intermedia exhiben fuertes signos de elongación, similares a los de las isofotas de la galaxia

Tabla 1: Valores de elipticidad (e) y ángulo de posición (AP) para las tres subpoblaciones y para la muestra total de candidatos a CGs.

Parámetro	Azules	Intermedios	Rojos	Todos
AP	...	$145^\circ \pm 13^\circ$	$146.8^\circ \pm 5^\circ$	$137^\circ \pm 6^\circ$
e	...	0.54 ± 0.1	0.64 ± 0.04	0.52 ± 0.05

4. Conclusiones

Mediante el análisis de imágenes Gemini/GMOS, estudiamos el perfil de brillo de la galaxia S0 NGC 6861, así como su sistema de CGs. La presencia de isofotas no concéntricas mostradas por la galaxia, y la posible existencia de una subpoblación de CGs con colores intermedios (aparte de las típicas subpoblaciones azul y roja) en el sistema, indicarían que dicha galaxia habría sufrido algún tipo de evento de fusión y/o interacción en el pasado.

¹RMIX se encuentra disponible públicamente en <http://ms.mcmaster.ca/peter/mix/mix.html>

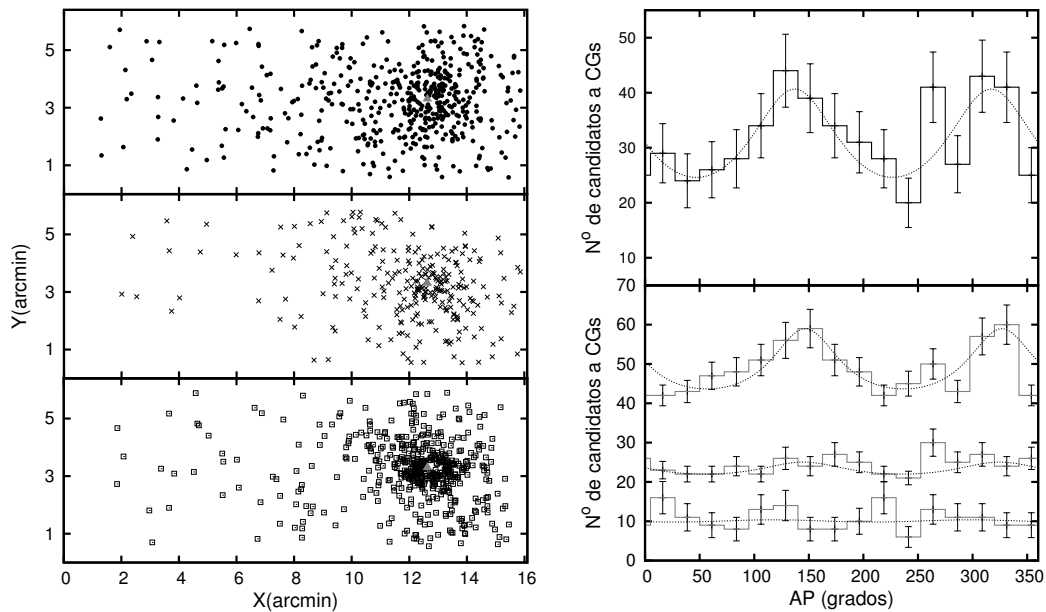


Figura 2: *Izquierda*: distribución espacial proyectada de los candidatos a CGs. De arriba hacia abajo, se observan las subpoblaciones azul, intermedia y roja, respectivamente. El triángulo gris indica la posición de la galaxia. La orientación de la imagen es, norte hacia arriba y este hacia la izquierda. *Derecha*: distribución acimutal para la muestra completa de candidatos a CGs (panel superior), y para las subpoblaciones roja, intermedia y azul, respectivamente (panel inferior). Para evitar la superposición, las curvas correspondientes a los candidatos rojos e intermedios fueron desplazadas verticalmente.

Referencias

- Escudero, C., Faifer, F., Bassino, L., Calderón, J., Caso, J., 2015, MNRAS, 449, 612
 Jedrzejewski, R., 1987, MNRAS, 226, 747
 Kormendy, J., Bender, R., 1996, ApJ, 464, 119
 McLaughlin, D., Harris, W., Hanes, D., 1994, ApJ, 422, 486
 Muratov, A., Gnedin, O., 2010, ApJ, 718, 1266
 Tonry, J., Dressler, A., Blakeslee, J., Ajhar, E., Fletcher, A., Luppino, G., Metzger, M., Moore, C., 2001, ApJ, 546, 681

Análisis del sistema de cúmulos globulares y la enana ultracompacta de NGC 4546

**Carlos G. Escudero^{1,2}, Mark A. Norris³, Favio R. Faifer^{1,2}, Sheila J. Kannappan⁴,
Juan C. Forte^{5,6}**

¹ Instituto de Astrofísica de La Plata (CONICET-UNLP), Argentina

² Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, Argentina

³ Max Planck Institut für Astronomie, Heidelberg, Alemania

⁴ Departamento de Física y Astronomía, UNC-Chapel Hill, EE.UU.

⁵ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina

⁶ Planetario “Galileo Galilei”, Secretaría de Cultura, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

Resumen

Presentamos la primera caracterización fotométrica y espectroscópica del sistema de cúmulos globulares (CGs) de la galaxia lenticular (S0) NGC 4546, así como también de una enana ultracompacta (UCD) asociada a dicha galaxia. El estudio de la distribución de colores del sistema, en conjunto con estimaciones de edades y metalicidades obtenidas mediante el análisis espectral de trece CGs, revelan la presencia de, al menos, tres subpoblaciones diferentes de cúmulos en NGC 4546. Por otro lado, un análisis detallado de la UCD utilizando modelos de síntesis de población estelar (SSP) e índices de Lick, sugiere que la misma podría ser el núcleo remanente de una galaxia enana nucleada, desmembrada debido a fuerzas tidales con NGC 4546.

1. Introducción

Como es sabido, los CGs se encuentran entre los sistemas estelares más antiguos ($> 10 \times 10^9$ años) en el Universo, pudiendo utilizarse como trazadores de las etapas de formación y evolución de las galaxias a las que pertenecen. Por otro lado, desde su descubrimiento, las UCDs han demostrado ser objetos enigmáticos, debido a que, según sus parámetros estructurales, podrían definirse en algunos casos como CGs masivos, o como núcleos remanentes de galaxias enanas destruidas debido a perturbaciones con objetos de mayor masa. En este contexto, el objetivo de este trabajo es el de obtener evidencias sobre una posible vinculación entre la mencionada UCD y el sistema de CGs de NGC 4546.

2. Fotometría y distribución de colores

A la distancia adoptada para NGC 4546, $(m - M) = 31.27 \pm 0.36$ (NED), los CGs pertenecientes a la galaxia se espera que no se encuentren resueltos en nuestras imágenes. La detección y clasificación de los candidatos (puntos negros en panel izquierdo de Figura 1) fue realizada basándose en los lineamientos de Faifer et al. (2011). La separación entre CGs “normales” y supermasivos o candidatos a UCD, se realizó adoptando el corte en magnitud $M_V > -11$ (Mieske et al. 2006). En el panel derecho de la Figura 1, se muestra el histograma de colores $(g' - z')_0$ para todos los candidatos a CGs. En la misma se aprecia una distribución de colores trimodal, la cual puede interpretarse como un indicativo de la presencia de, al menos, tres subpoblaciones de CGs.

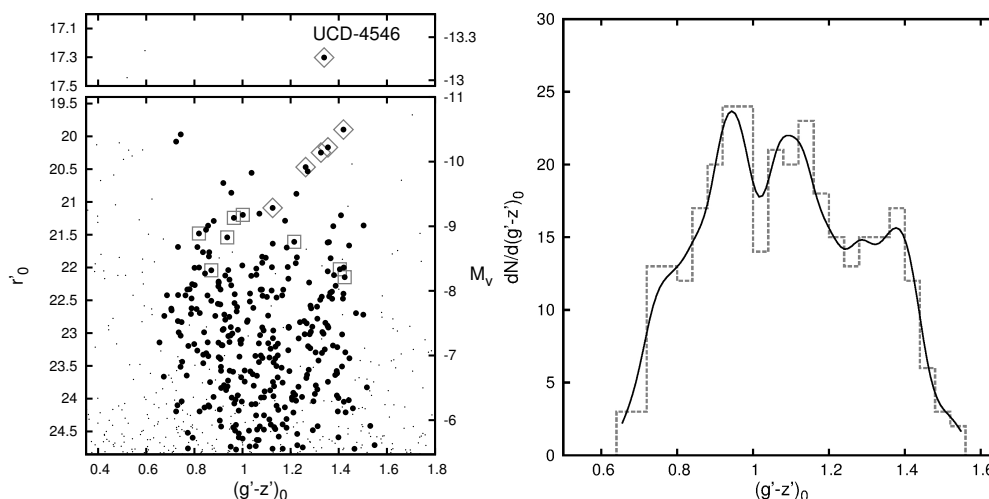


Figura 1: *Izquierda*: diagrama color-magnitud de los candidatos a CGs de NGC 4546 (puntos negros). *Derecha*: histograma de colores $(g' - z')_0$ para la muestra de CGs. La línea continua representa la distribución suavizada mediante un *kernel* Gaussiano de dispersión $\sigma = 0.03$ mag.

3. Espectroscopía

Como mencionamos anteriormente, hemos confirmado y analizado 14 espectros correspondientes a CGs y a la mencionada UCD, presentes en el sistema de NGC 4546. Inicialmente, utilizamos el código de ajuste pPXF (Cappellari & Emsellem 2004) y los modelos SSP de Maraston & Strömbäck (2011), para medir la cinemática de estos objetos. Posteriormente, determinamos valores de edades, metalicidades

$[Z/H]$ y abundancias $[\alpha/Fe]$, empleando un proceso de minimización de χ^2 a los índices de Lick medidos en nuestros espectros. Debido a la baja relación S/N en algunos de los espectros (cuadrados vacíos en Fig. 1 y Fig. 2), no fuimos capaces de obtener índices de Lick fiables para 8 CGs. Por lo tanto, en los diagramas de diagnóstico (paneles inferiores en Fig. 2), solamente hemos incluido aquellos objetos con $S/N > 20$ (rombos vacíos y llenos en Fig. 1 y Fig. 2, respectivamente).

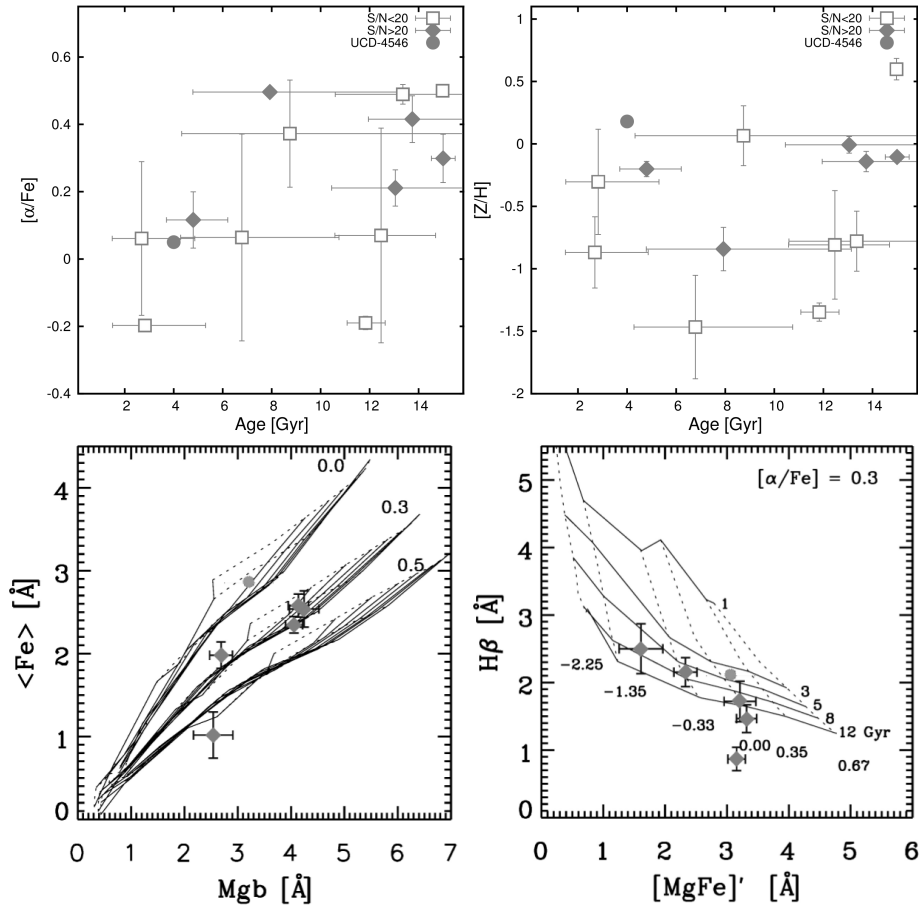


Figura 2: *Paneles superiores:* diagramas de $[\alpha/Fe]$ vs. edad y $[Z/H]$ vs edad para los trece CGs confirmados (cuadrados vacíos: $S/N < 20$ y rombos llenos: $S/N > 20$ por Å) y la UCD (círculo lleno) pertenecientes al sistema de NGC 4546. *Paneles inferiores:* diagramas de diagnóstico, sobre los cuales se superponen los modelos de Thomas et al. (2003, 2004) con metalicidades $[Z/H] = -2.25, -1.35, -0.33, 0.0, +0.35, +0.67$, edades de $(3 - 12) \times 10^9$ años, y abundancias $[\alpha/Fe] = 0.0, 0.3, 0.5$ (panel izquierdo), y el valor fijo $[\alpha/Fe] = 0.3$ (panel derecho).

Los CGs estudiados poseen metalicidades que van desde -1.5 a $+0.5$, y aquellos

con mayor S/N muestran $[\alpha/Fe]$ consistentes con el valor 0.3 (similar a los de la Vía Láctea), con la excepción de uno de ellos y la UCD. Esta última, presenta los siguientes valores pesados por luminosidad: edad = $3.99^{+0.93}_{-0.75} \times 10^9$ años, $[Z/H] = 0.18 \pm 0.06$ dex y $[\alpha/Fe] = 0.05 \pm 0.05$ dex.

4. Conclusiones preliminares

El estudio fotométrico muestra una distribución de colores trimodal para los candidatos a CGs de NGC 4546. Esta característica, también observada en otras galaxias (Escudero et al. 2015), sugiere la posibilidad de una fusión y/o interacción en el pasado, durante la cual pudieron haberse formado “nuevos CGs”. De acuerdo a sus velocidades radiales, confirmamos los primeros trece CGs pertenecientes a la galaxia lenticular NGC 4546. Mediante mediciones de edades, metalicidades y cocientes $[\alpha/Fe]$ para cada uno de ellos, obtuvimos que la mayoría poseen edades promedio de 11×10^9 años, con la excepción de, al menos, un cúmulo ($S/N > 20$), con una edad intermedia de 5×10^9 años. En contraste, Kuntschner et al. (2010) han encontrado que los mejores modelos SSP obtenidos para la luz difusa de NGC 4546 brindan una edad para la misma de $11.7^{+1.1}_{-1.0} \times 10^9$ años. El estudio espectroscópico de la UCD revela que la misma es un objeto relativamente joven con una metalicidad alta. Esto se podría explicar suponiendo que dicha UCD es, en realidad, el núcleo remanente de una galaxia enana que se ha destruido por la interacción con NGC 4546. Este proceso pudo, además, ser el responsable de la formación de los CGs jóvenes detectados.

Referencias

- Cappellari, M., Emsellem, E., 2004, PASP, 116, 138
Escudero, C., Faifer, F., Bassino, L., et al., 2015, MNRAS, 449, 612
Faifer, F., Forte, J., Norris, M., Bridges, T., et al., 2011, MNRAS, 416, 155
Kuntschner, H., Emsellem, E., Bacon, R., et al., 2010, MNRAS, 408, 97
Maraston C., Strömbäck G., 2011, MNRAS, 418, 2785
Mieske, S., Hilker, M., Infante, L., Jordán, A., 2006, AJ, 131, 2442
Thomas D., Maraston C., Bender R., 2003, MNRAS, 339, 897
Thomas D., Maraston C., Korn A., 2004, MNRAS, 351, L19

Cúmulos globulares en la galaxia gigante M 87: espectroscopía Gemini+GMOS y determinación de edades y metalicidades

Favio R. Faifer^{1,2}, Carlos Escudero^{1,2}, Mark Norris³, Juan C. Forte^{4,5},
Analía V. Smith Castelli^{1,2}, Leandro A. Sesto^{1,2}

¹ Instituto de Astrofísica de La Plata (CONICET-UNLP), Argentina

² Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, Argentina

³ Max Planck Institut für Astronomie, Heidelberg, Alemania

⁴ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina

⁵ Planetario Galileo Galilei, Secretaría de Cultura, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

Resumen

Se presentan aquí los primeros resultados de un estudio espectroscópico de una muestra de 44 cúmulos globulares (CGs) pertenecientes a la galaxia gigante M87 del cúmulo de Virgo, observados a través de la cámara GMOS de Gemini Norte. Se determinaron edades y metalicidades para los mencionados objetos. La mayoría de ellos resultaron ser CGs con edades y metalicidades típicas, mientras que unos pocos evidenciaron edades intermedias. Por su parte, la relación metalicidad-color integrado ($g' - i'$) hallada, muestra un buen acuerdo con resultados previos de la literatura.

1. Introducción

M87 es la galaxia central del cúmulo de Virgo (16 Mpc), y posee varios miles de CGs. Por ello, representa un excelente ejemplo para el estudio de tales objetos. Su sistema de CGs es claramente bimodal, por lo que resulta ideal para el estudio de la relación metalicidad-color integrado.

2. Datos observacionales y la determinación de velocidades radiales

Las observaciones fueron obtenidas mediante el programa Gemini GN-2010A-Q-21 (PI: J. C. Forte). Se empleó la cámara GMOS-N en modo multiobjeto, la red B600, y la máscara incluyó unas 54 ranuras de 1×4 segundos de arco. Se realizaron un total de 15 exposiciones de 1800 s cada una, por lo cual el tiempo total de integración fue de 10 h. La reducción se llevó a cabo mediante el paquete

gemini en IRAF¹, realizando los pasos usuales de resta de *bias*, corrección por campo plano, calibración en longitud de onda, y calibración en flujo. Luego de extraídos, los espectros individuales fueron combinados para obtener su mediana empleando la tarea *scombine*.

Para obtener las velocidades radiales (V_r) heliocéntricas de los objetos observados, se empleó la tarea *fxcor* en IRAF. Dado que no se contaba con *templates* de V_r observados junto con nuestros datos, se emplearon como patrón una serie de espectros sintéticos obtenidos de modelos de Poblaciones Estelares Simples basados en la biblioteca MILES (Vazdekis et al. 2010), correspondientes a una variedad de valores de edades y metalicidades. Con ellos se logró determinar las V_r heliocéntricas de 48 objetos incluidos en la máscara, de un total de 53. Los espectros finales de los restantes cinco candidatos resultaron con S/N muy bajas, por lo cual no fue posible lograr estimaciones seguras de V_r . Cuatro de los objetos medidos mostraron $V_r < 300$ km/seg, por lo cual se consideraron probables estrellas de nuestra galaxia. Los restantes 44 candidatos presentaron $500 < V_r < 2050$ km/seg, confirmando así su naturaleza de CGs perteneciente a M87 (Zhang et al. 2015).

3. Estimaciones de edades y metalicidades

Para obtener estimaciones de edades y metalicidades se midieron los índices de Lick de los 48 CGs confirmados. Luego, se seleccionaron los índices H_β , Fe 5015, Mgb, Fe 5270, Fe 5335, Fe 5406 (además de H_γ para el caso de los espectros de mayor S/N), y se los comparó con los valores de los modelos de Thomas et al. (2003, 2004), utilizando una implementación del procedimiento de minimización χ^2 de Proctor et al. (2004). Dichos modelos incluyen edades de 1×10^9 a 12×10^9 años, metalicidades $[Z/H]$ entre -2.25 y 0.6 , y $[\alpha/Fe] = 0, 0.3, 0.5$.

En la Figura 1, panel izquierdo, se puede apreciar que los CGs observados muestran valores de edades y metalicidades en todo el rango abarcado por los modelos empleados, aunque la mayoría de ellos resultan ser cúmulos con edades típicas para CGs. De la misma forma, se aprecia que los espectros con $S/N < 20$ tienden a producir edades intermedias o bajas. Sin embargo, es evidente que varios CGs con alta S/N también muestran edades menores a 6×10^9 años, y que los mismos presentan valores de $[Z/H]$ aproximadamente solares. En el panel derecho de la Figura 1 se presentan los valores de metalicidad vs. color integrado ($g' - i'$) de todos los CGs con $S/N > 20$ (círculos). Si bien persiste una dispersión apreciable,

¹IRAF is distributed by the National Optical Astronomical Observatories, which are operated by the Association of Universities for Research in Astronomy, Inc., under cooperative agreement with the National Science Foundation

es posible visualizar que dicha relación color-metalicidad muestra indicios de no linealidad.

En la misma figura se muestran, además, los CGs publicados por Pierce et al. (2006) para M60 (cuadrados), los cuales fueron observados con el mismo instrumento y configuración que los CGs de M87 presentados en este trabajo. Puede apreciarse una muy buena coincidencia entre ambas muestras. En línea de trazos se presenta la relación color-metalicidad publicada por Faifer et al. (2011), y en línea sólida la correspondiente a Usher et al. (2012). Nuevamente, puede apreciarse que, exceptuando una evidente diferencia de puntos de cero fotométricos, el acuerdo entre las pendientes es excelente. La diferencia más significativa se produce para valores de $(g' - i')_0 < 0.8$ mag, esto es, para los CGs más azules que el pico de los denominados CGs “azules”. Allí, tanto la muestra de M87 como la de M60, presentan muy pocos objetos por lo que no es posible obtener conclusiones firmes, aunque el acuerdo es razonable.

En la Figura 1 se han señalado, además, los CGs jóvenes con edades intermedias. Se aprecia en ella que varios de dichos objetos se apartan con claridad de la relación media.

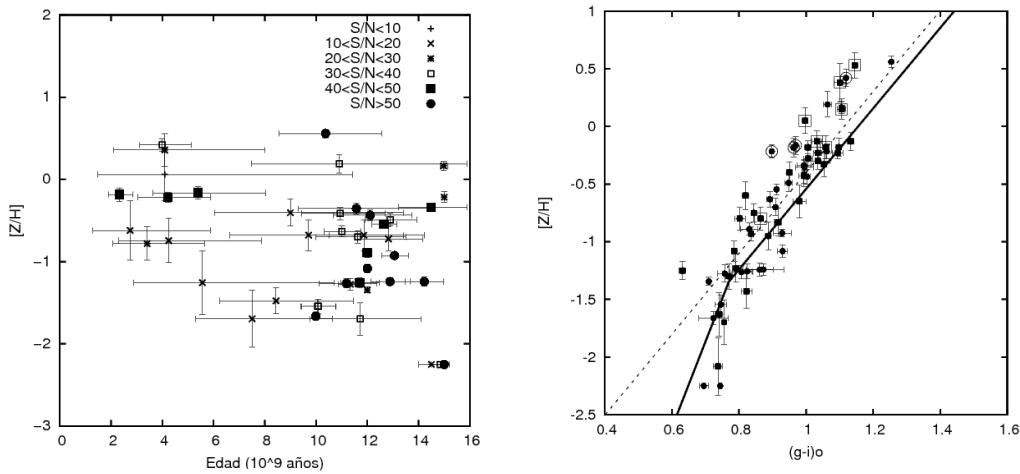


Figura 1: *Izquierda*: edades y metalicidades obtenidas para la muestra de 44 CGs observados. Los símbolos se han codificado de acuerdo a la S/N de cada espectro. *Derecha*: CGs de M87 con $S/N > 20$ (círculos), y de M60 (cuadrados). En líneas de trazos y llena, se muestran las relaciones color-metalicidad de Faifer et al. (2011) y Usher et al. (2012), respectivamente. Los CGs con edades intermedias o jóvenes se han señalado con círculos y cuadrados vacíos.

4. Conclusiones

Se redujeron los espectros de 53 candidatos a CGs pertenecientes a M87. De ellos, se confirmaron 44 cúmulos, cuatro resultaron ser estrellas de nuestra galaxia, y cinco no pudieron ser clasificados debido a su baja S/N .

Se midieron los índices de Lick y se los comparó con los modelos de síntesis de poblaciones estelares. Se obtuvieron, así, estimaciones de edades para los 44 CGs confirmados. Los valores de metalicidad obtenidos cubren prácticamente todo el rango incluido en los modelos. En cuanto a las edades, la mayoría de los objetos medidos presentan valores mayores a los 10^{10} años, lo cual es usual para los CGs. Sin embargo, cuatro de los CGs con mayor S/N resultaron también con edades entre los 2×10^9 y los 6×10^9 años.

En cuanto a la relación metalicidad-color integrado, una primera comparación con estudios realizados empleando el mismo instrumento y/o sistemas fotométricos similares, muestra un buen acuerdo. Se encuentra, además, evidencia de la ya conocida alinealidad de dicha relación.

Agradecimientos

Este trabajo fue desarrollado con el apoyo financiero de Conicet (PIP 0393), y de la Universidad Nacional de La Plata, Argentina (proyecto G128).

Referencias

- Faifer, F., Forte, J., Norris, et al. 2011, MNRAS, 416, 155
- Pierce, M., Bridges, T., Forbes, D., Proctor, R., Beasley, M., Gebhardt, K., Faifer, F., Forte, J., Zepf, S., Sharples, R., Hanes, D. 2006, MNRAS, 368, 325
- Proctor, R., Forbes, D., Beasley, M. 2004, MNRAS, 355, 1327
- Thomas, D., Maraston, C., Bender, R. 2003, MNRAS, 339, 897
- Thomas, D., Maraston, C., Korn, A. 2004, MNRAS, 351, L19
- Usher, C., Forbes, D., Brodie, J., et al. 2012, MNRAS, 426, 1475
- Vazdekis, A., Sánchez-Blázquez, P., Falcón-Barroso, J., et al. 2010, MNRAS, 404, 1639
- Zhang, Hong-Xin et al., 2015, ApJ, 802, 30

NIRI para estudiar la formación de estrellas de gran masa en distintas escalas espaciales

**Cecilia Fariña¹, Guillermo Bosch^{2,3}, Sergio Parón^{4,5}, Martín Ortega⁴,
Rodolfo Barbá⁶**

¹ Isaac Newton Group of Telescopes, La Palma, España

² Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, Argentina

³ Instituto de Astrofísica de La Plata (CONICET-UNLP), Argentina

⁴ Instituto de Astronomía y Física del Espacio (CONICET-UBA), Argentina

⁵ FADU & CBC, Universidad Nacional de Buenos Aires, Argentina

⁶ Departamento de Física y Astronomía, Universidad de La Serena, Chile

Resumen

NIRI, en Gemini-Norte, es un instrumento con características idóneas para el estudio de estrellas masivas jóvenes y su medioambiente en distintas escalas espaciales. Se describen aquí dos estudios realizados a partir de datos obtenidos con NIRI en modo imagen. Hacia grandes escalas espaciales, en el estudio de la región HII gigante NGC 604 (a una distancia de 840 kpc) fue posible detectar las estrellas de alta masa jóvenes, miembros de la nueva generación estelar de la región y estudiarlas en relación a su entorno. En el extremo de pequeñas escalas espaciales, en el estudio de la región HII ultra-compacta G045.47+0.0 (a una distancia de 8 kpc) se identificó y caracterizó una estructura producida, posiblemente, por la presencia de un jet en precesión asociado a una estrella de alta masa en formación.

1. Infrarrojo cercano para estudiar regiones de formación estelar

Las observaciones en el rango del infrarrojo cercano (NIR¹) permiten obtener una resolución espacial comparable a la del óptico, y cuentan con la ventaja de que la radiación en las longitudes de onda que abarca es significativamente menos afectada por la extinción (dispersión y absorción) del polvo presente en el medio interestelar. Las estrellas en formación se encuentran en ambientes de gas molecular y polvo, generalmente rodeadas por su propia envoltura de material circumestelar todavía en acreción, o por material remanente de la nube originaria que aún no ha sido completamente disipado por el objeto central. Dicho material circumestelar presenta, a su vez, emisión en el NIR, ya sea emisión de continuo o de líneas (entre las más características se encuentran Br γ , las cabezas de banda de CO, líneas de H₂,

¹NIR, acrónimo del inglés *Near Infrared*.

HeI, [FeII], MgII, etc.). En consecuencia, el NIR constituye el rango de longitudes de onda idóneo para detectar y estudiar en detalle objetos estelares de alta masa jóvenes (MYSOs²), inmersos en el medio ambiente característico de las regiones de formación estelar.

2. NIRI: Breve descripción instrumental

NIRI (*Near InfraRed Imager and Spectrometer*), instalado en el telescopio Gemini-Norte, es un instrumento con el cual pueden realizarse observaciones fotométricas y espectroscópicas³ en el rango del NIR (1 – 5 μm). En particular, en el modo imagen, NIRI cuenta con tres cámaras que proveen distintas escalas de placa, una amplia variedad de filtros de banda ancha y angosta, y la posibilidad de usar el sistema de óptica adaptativa, ALTAIR, ya sea con estrella guía natural o láser. En la Tabla 1 se listan las escalas de placa y campos de las tres cámaras disponibles para NIRI⁴.

Tabla 1: Escalas de placa y campo de las cámaras de NIRI en modo imagen.

Cámara	Escala (arcsec pix ⁻¹)	Campo (arcsec ²)	ALTAIR
f/6	0.117	119.9 × 119.9	No
f/14	0.045	51.1 × 51.1	Si
f/32	0.021	21.9 × 21.9	Si

Por un lado, la combinación de alta sensibilidad, resolución espacial y campo de visión provistos por NIRI-Gemini con la cámara f/6 es adecuada para la detección de objetos individuales (o pequeños cúmulos) en regiones de formación estelar de estrellas de alta masa extragalácticas cercanas, como es el caso del estudio en la región HII gigante NGC 604. Por otro lado, NIRI-Gemini con la cámara f/32 y ALTAIR constituyen una configuración instrumental ideal para el estudio detallado, de alta resolución, de estructuras complejas en el entorno inmediato de MYSOs cercanos, como es el caso del estudio de la región HII ultracompacta G045.47+0.05. Estos dos estudios, presentados a continuación, darán una idea de la versatilidad de NIRI en el modo imagen, para el estudio de MYSOs y su medioambiente en distintas escalas espaciales.

²MYSOs, acrónimo del inglés *Massive Young Stellar Objects*.

³Actualmente NIRI puede usarse sólo en el modo imagen. Sus prestaciones espectroscópicas han sido cubiertas en Gemini-Norte por GNIRS.

⁴www.gemini.edu/sciops/instruments/niri/?q=sciops/instruments/niri/

3. NGC 604: MYSOs en grandes escalas

NGC 604, ubicada en M33 (a una distancia de 840 kpc), es la segunda región HII gigante más luminosa del Grupo Local después de 30 Dor. El cúmulo central ionizante, de al menos 200 estrellas de tipos espectrales OB, muestra una distribución de objetos muy extendida, sin núcleo central definido, conocida como *Scale OB Association*. El medio interestelar de la región presenta una estructura muy compleja de zonas con distinto grado de excitación conformando filamentos, cavidades interconectadas y cáscaras en expansión cuya cinemática refleja dicha complejidad. Las nubes moleculares rodean al cúmulo central por la parte sur, extendiéndose en esa dirección.

En una región de formación estelar masiva como NGC 604, las fuentes que presentan exceso infrarrojo son objetos rodeados por material circumestelar, entre los cuales se encuentran principalmente MYSOs y, en número muchísimo menor, estrellas de alta masa evolucionadas (supergigantes Of, B[e], estrellas tipo Wolf-Rayet).

El presente estudio fue realizado en base a imágenes de NIRI, obtenidas con la cámara f/6 en los filtros de banda ancha *J*, *H* y *Ks*, y de banda angosta Pa β , Br γ y H₂. Las condiciones de observación fueron excelentes, siendo ~ 0.35 arcsec el *seeing* promedio medido en las imágenes de la banda *Ks*.

Las imágenes de banda ancha se utilizaron para identificar los candidatos a MYSOs mediante su exceso infrarrojo. Estos objetos pueden distinguirse en el diagrama color-color de NGC 604 de la Figura 1, hacia la derecha del vector de extinción correspondiente a una estrella tipo O6-8 V. El desplazamiento horizontal de los objetos en dicho diagrama es causado por material, gas y polvo, a alta temperatura en los alrededores inmediatos de la fuente central.

Una vez identificados los candidatos a MYSOs, su distribución espacial en el campo de NGC 604 fue estudiada integrando estos nuevos datos en el contexto de investigaciones previas, en las cuales se analizó la formación estelar en la región mediante observaciones de la emisión de la componente gaseosa (emisión molecular de CO, continuo de radio en 8.44 y 89 GHz, HCN, emisión de continuo en 8 μ m, etc.). Se estudió también la fracción de objetos con exceso infrarrojo por subregiones dentro de NGC 604 que, bajo ciertas hipótesis, se podría utilizar para inferir una edad estimativa de pequeños subcúmulos dentro de la asociación OB.

Las imágenes de banda angosta trazan la emisión nebular, y permitieron caracterizar el medio interestelar en la región, particularmente en los alrededores de los candidatos a MYSOs. Para este análisis se incorporaron imágenes de H α de HST-WFPC2, con las cuales se generaron cocientes que exhiben la atenuación producida por el polvo. Los mapas obtenidos tienen una alta resolución espacial

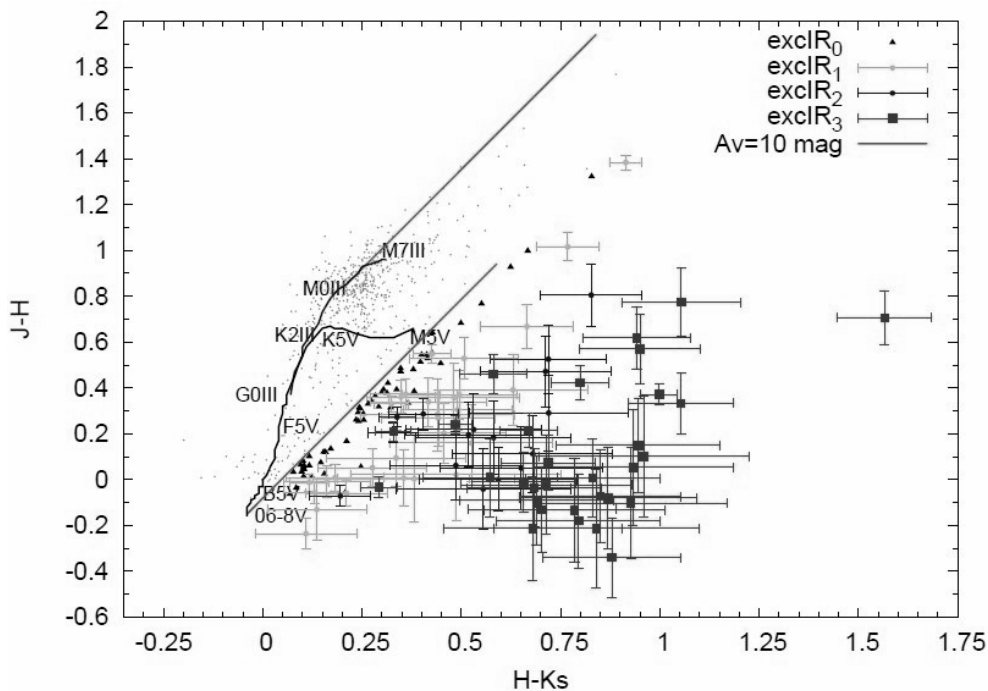


Figura 1: Diagrama color-color de NGC 604. Los candidatos a MYSOs pueden indentificarse mediante su exceso infrarrojo, que los desplaza hacia la derecha del vector de extinción correspondiente a una estrella tipo O6-8 V.

(~ 1 arcsec) que permite apreciar detalles de pequeña escala en la estructura nebulosa. Por otro lado, en las imágenes de H_2 se detectaron, por primera vez en la región, dos objetos que presentan emisión conspicua en dicha banda, la cual se encuentra asociada a eyecciones de materia comúnmente observadas en objetos de media y baja masa. Sin embargo, las detecciones en objetos de alta masa son poco frecuentes.

Este ha sido el primer estudio observacional dedicado a la detección de fuentes individuales (o pequeños grupos) candidatas a MYSOs que constituyen la nueva generación estelar de la región HII gigante NGC 604. En este trabajo se obtuvo una imagen acabada de la distribución de la población estelar de alta masa y, en particular, de las fuentes candidatas a MYSOs y su relación con el medio interestelar de NGC 604.

El presente estudio fue desarrollado como parte del Doctorado en Astronomía de Cecilia Fariña, realizado en la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (UNLP). La descripción completa del trabajo realizado puede encontrarse en la Tesis de Doctorado (2011). Los principales resultados fueron publicados en Fariña et al. (2012).

4. G045.47+0.05: MYSO en pequeña escala

La región HII ultracompacta G045.47+0.05 se encuentra a una distancia de ~ 8 kpc, en el borde de la región HII extendida G45L. Estudios previos vinculan a G045.47+0.05 con MYSOs en etapas tempranas de formación debido a la presencia de emisión máser (CH_3OH), *clumps* de HCO^+ , evidencia de colapso en observaciones de NH_3 , etc. El presente estudio tiene sus orígenes en un trabajo de Ortega et al. (2012) en el cual se detectaron *outflows* moleculares en dirección de G045.47+0.05.

Para este estudio se realizaron observaciones con NIRI, la cámara f/32 y el sistema de óptica adaptativa ALTAIR con estrella guía láser. En el análisis se utilizaron las imágenes de mejor calidad en las bandas *H* y *Ks*, siendo ~ 0.15 arcsec la resolución en la imagen final combinada de la banda *Ks*.

En la Figura 2 (panel izquierdo) se muestra la emisión difusa en la banda *Ks* extendiéndose hacia el este de la fuente infrarroja J19142564+1109283. La emisión difusa presenta una estructura cónica proyectada cuyo gran ángulo de apertura ($\sim 90^\circ$) sugiere que se origina en una cavidad en el material circumestelar. Dicha emisión en el NIR podría ser generada por una combinación de procesos asociados a MYSOs (ej. emisión de continuo de la proto-estrella dispersada en las paredes internas de la cavidad, emisión de polvo tibio, líneas de emisión del gas excitado por los choques). Los arcos que conforman la emisión (resaltados con los trazos A y B), cuyos lados cóncavos se encuentran en dirección de la fuente infrarroja, parecen estar conectados con dicha fuente por una estructura de tipo *jet* que está alineada, en proyección, con la componente azul del *outflow* de CO estudiado por Ortega et al. (2012), pero que presenta una asimetría respecto del eje del cono de la emisión nebulosa proyectada. Los modelos predicen dos posibles escenarios para explicar cómo *jets* colimados podrían producir las cavidades de *outflows* de gran ángulo que se observan con frecuencia en las envolturas de los MYSOs: *i*) el aparente *jet* colimado es una estructura de gran amplitud producida por los vientos del MYSO, con un aumento de densidad a lo largo de su eje; *ii*) las cavidades son excavadas por la acción de *jets* colimados en precesión. Estos dos procesos generan geometrías diferentes que pueden distinguirse observacionalmente. En el primer caso la estructura tipo *jet* se observa a lo largo del eje del flujo presentando simetría axial respecto de la emisión nebulosa a su alrededor. En el caso de *jets* colimados en precesión se esperan asimetrías entre la posición del *jet* y la emisión nebulosa debido a que el *jet* es libre de moverse dentro de la cavidad. Más aún, los modelos también predicen que la estructura física dominante generada por *jets* en precesión es una estructura cónica. En conjunto, la morfología observada en la emisión de G045.47+0.05 en NIR, sugiere un escenario en el cual los arcos forman parte de una estructura helicoidal producida por un *jet* en precesión. En la Figura 2

(panel derecho), se representan los arcos A y B en un esquema de un helicoide anti-horario con un ángulo de 50° con respecto al plano del cielo. La estructura fragmentada del helicoide podría ser causada por inhomogeneidades en el material circumestelar, o por la naturaleza intrínseca pulsante del *jet* en precesión. Los *jets* en precesión vinculados a MYSOs pueden generarse en sistemas binarios donde el eje de rotación del objeto generador del *jet* presenta una inclinación con el plano orbital del sistema, o por eventos de acreción anisótropos que cambian el vector de momento angular del disco proto-estelar.

Este estudio y sus resultados fueron publicados en Parón et al. (2013).

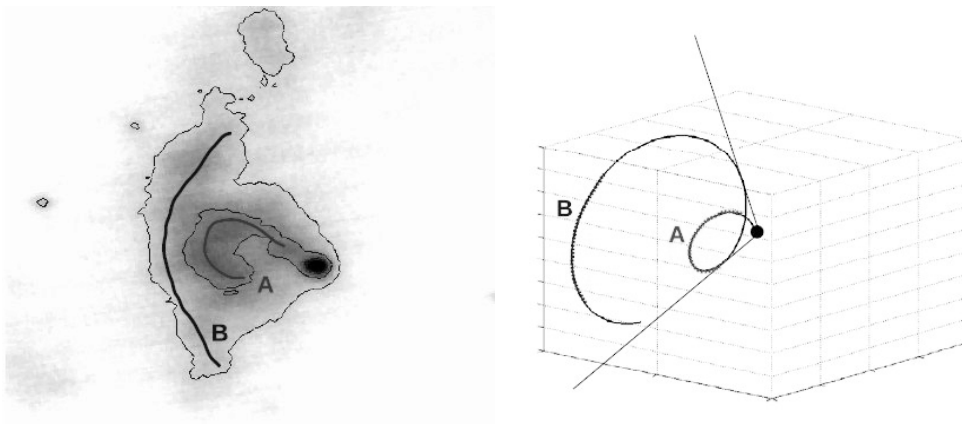


Figura 2: *Izquierda*: emisión difusa en la banda *Ks* en G045.47+0.05. *Derecha*: esquema de un helicoide con un ángulo de 50° respecto al plano del cielo.

Agradecimientos

Mi sincero agradecimiento a la organización del Congreso “15 Años de Ciencia con Gemini en Argentina” por darme la oportunidad de presentar estos estudios.

Referencias

- Fariña C., Tesis de Doctorado, FCAG, UNLP, 2011
- Fariña C., Bosch G. L., Barbá R. H., 2012, AJ, 143, 43
- Parón S., Fariña C., Ortega M. E., 2013, A&A, 559, L2
- Ortega, M. E., Parón, S., Cichowolski, S., Rubio, M., & Dubner, G. 2012, A&A, 546, A96

Morfología de jets en estrellas jóvenes: Imágenes obtenidas con GSAOI/GEMINI

Leticia V. Ferrero¹, Mercedes Gómez¹, Guillermo Günthardt¹

¹ Observatorio Astronómico de Córdoba, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina

Resumen

Los jets estelares son una de las manifestaciones de las estrellas en proceso de formación. En muchos casos, una sucesión de nodos u objetos HH, delinear el cuerpo del jet. En esta contribución se analizan los jets estelares con perfiles sinusoidales MHO 1502 y MHO 2147/2148, observados con el instrumento GSAOI+GeMS/GEMINI Sur en H₂ (2.122 μm) y K (2.2 μm). La alta resolución de este instrumento permitió detectar con gran detalle las estructuras internas de los nodos, como así también nuevos objetos de apariencia nebulosa con forma de *bow shock*, alrededor de los mismos.

1. Introducción

En las primeras etapas de formación estelar, en las Clases 0 y I (Andre et al. 1993), una de las estructuras que se hacen presentes son los jets y/u objetos Herbig-Haro (HH). Los mismos son el producto del viento estelar y la interacción con el material de la nube circundante. En la región de choque, usualmente con forma de choque de proa o *bow shock*, los átomos son excitados (colisionalmente) y luego desexcitados, emitiendo en un amplio rango de longitudes de onda desde el ultravioleta hasta el milimétrico (Reipurth & Bally 2001). En la región del espectro del infrarrojo cercano, las zonas de choque se manifiestan, principalmente, a través del conocido trazador de la línea $v = 1 - 0$ de la molécula de hidrógeno, en 2.122 μm (Davis et al. 2010). En este trabajo se presentan imágenes de alta resolución de los jets MHO 1502 y MHO 2147/2148, que permiten revelar la estructura compleja de este tipo de objetos.

2. Observación y análisis

Los jets MHO 1502 y MHO 2147/2148 fueron observados con el telescopio GEMINI Sur y el instrumento GSAOI+GeMS, en los filtros H₂ (1 - 0, 2.122 μm) y K (2.2 μm). GSAOI (*Gemini South Adaptive Optics Imager*) es una cámara capaz de observar en infrarrojo cercano, y fue diseñada para operar con el módulo

de óptica adaptativa GeMS (*Gemini Multi-Conjugate Adaptive Optics System*). La cámara consta de un arreglo de 2×2 detectores de tipo Hawaii-2RG, de 2048×2048 píxeles cada uno. El campo es de $85'' \times 85''$ con una escala de placa de $0.0197'' \text{ pixel}^{-1}$. Las imágenes fueron procesadas con el programa THELI (Erben et al. 2005; Schirmer 2013), desarrollado para la reducción automatizada de imágenes astronómicas en el rango óptico, infrarrojo cercano y medio.

2.1. MHO 1502

MHO 1502 yace a una distancia de 700 pc (Liseau et al. 1992), en el cúmulo denso IRS 16, asociado a la región HII 263.619–0.533 en la nube molecular de Vela-D. Giannini et al. (2013) publican una imagen color, tomada con la cámara IRAC/Spitzer, combinando las bandas $[3.6] \mu\text{m}$, $[4.5] \mu\text{m}$ y $[5.8] \mu\text{m}$. Dentro de las bandas anchas de Spitzer, particularmente el filtro en $[4.5] \mu\text{m}$, están presentes numerosas líneas vibracionales de H_2 , como también de CO y $\text{Br}\alpha$ (Reach et al. 2006). Para confirmar que la detección en $[4.5] \mu\text{m}$ se corresponde con las típicas zonas de choques de jets u objeto HH, es necesaria la observación en banda angosta de H_2 . En la Figura 1, panel superior, se muestra la imagen combinada en H_2 y K obtenida con GSAOI+GeMS/GEMINI con una resolución de $0.14'' \text{ pix}^{-1}$, un orden superior que la obtenida por Spitzer. La misma permite apreciar, con un grado de detalle sin precedente, la estructura interna de los nodos que forman parte del jet y que delinean el perfil sinusoidal. También se detectan nuevos objetos nebulares con apariencia de *bow shock* en las regiones cercanas al eje del jet, denominadas Región 1, 2 y 3. Los símbolos “◇” corresponden a la posición de tres posibles fuentes excitatrices propuestas en la literatura: MMS2 (pico en 1.2 mm , Massi et al. 2007), MGL99 25 (en $10.4 \mu\text{m}$, de Luca et al. 2007) y [SEC2010] IRA 18064 (en $24 \mu\text{m}$, Giannini et al. 2013). A pesar de que la fuente IRA 18064 parece ser la que está más alineada con el eje del jet, hasta el momento ningún autor la ha identificado como la fuente emisora.

2.2. MHO 2147/2148

Los jets estelares MHO 2147 y MHO 2148 están situados en la región de Ophiuchus, a una distancia de 3.23 kpc (Molinari et al. 1996). Fueron descubiertos por Varricatt (2011) estudiando la fuente IRAS 17527–2439, objeto de clase I. Las imágenes utilizadas en ese trabajo fueron tomadas con los telescopios Spitzer y UKIRT, que poseen una resolución de $1.2''$ y $0.4''$, respectivamente. Ambos jets se encuentran dispuestos de manera perpendicular en el plano del cielo, evidenciando perfiles sinusoidales. En la Figura 1, panel inferior, se observa la imagen substraída $K-\text{H}_2$

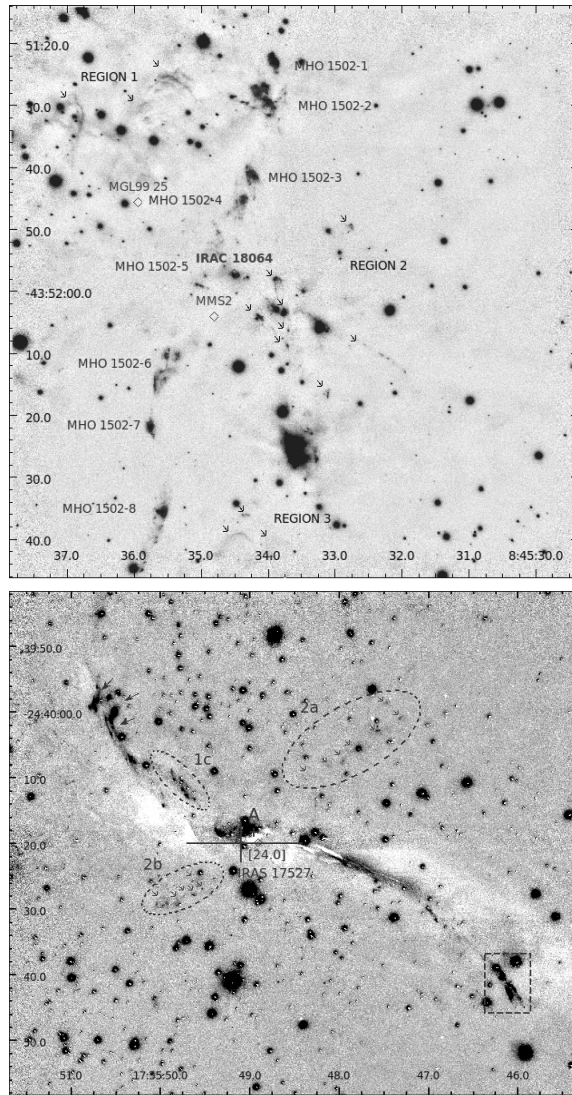


Figura 1: *Arriba*: imagen combinada en los filtros H_2 y K , de MHO 1502, obtenida con GSAOI+GeMS/GEMINI. *Abajo*: imagen substraída $K - H_2$ de MHO 2147, donde se evidencian los nodos del jet MHO 2148 (“2a” y “2b”).

obtenida con GSAOI/GEMINI. Nuevamente, es posible apreciar con un nivel de detalle sin precedentes la estructura interna del jet MHO 2147, gracias a la resolución alcanzada de $0.09''$. También se detectan nuevas estructuras colindantes al mismo, como la marcada como “1c” y la encerrada en un rectángulo en la parte inferior de la imagen. Las regiones delimitadas por líneas de trazos denominadas “2a” y “2b” (Varricatt 2011), correspondientes a MHO 2148, presentan una débil apariencia. Sin embargo, se puede detectar una cadena de nodos que delinea su

estructura. La cruz indica la posición de la fuente IRAS 17527–2439, el símbolo “+” la posición de la fuente A identificada en las imágenes en H₂ y K obtenidas con el telescopio UKIRT, y el símbolo “◇”, la posición del pico en 24 μm detectado en las imágenes de Spitzer (Varricatt 2011).

3. Comentarios finales y trabajo futuro

En esta contribución se presentan imágenes en 2.122 μm de los jets estelares, MHO 1502 y MHO 2147/2148, obtenidas con el instrumento GSAOI+GeMS. Estas imágenes alcanzan una resolución superior entre uno y dos órdenes a las disponibles en la literatura, permitiendo detectar la estructura interna y morfología de los distintos nodos que delinean cada uno de los jets. De esta manera, se evidencia la utilidad de este instrumento para el estudio de jets asociados a estrellas en formación. Se disponen de posiciones precisas de los nodos, como así también estimaciones de flujos en 2.122 μm. Se realizará un análisis detallado de los perfiles de cada uno de los jets y de su estructura fina, en busca de indicios que permitan inferir las causas de las morfologías sinusoidales de estos jets. Observaciones en la región milimétrica del espectro permitirán identificar, sin ambigüedad, la o las fuentes excitantes de los mismos.

Referencias

- Andre, P., Ward-Thompson, D., & Barsony, M. 1993, *ApJ*, 406, 122
- Davis, C. J., Gell, R., Khanzadyan, T., Smith, M. D., & Jenness, T. 2010, *A&A*, 511, A24
- de Luca, M., Giannini, T., Lorenzetti, D., et al. 2007, *A&A*, 474, 863
- Erben, T., Schirmer, M., Dietrich, J. P., et al. 2005, *Astronomische Nachrichten*, 326, 432
- Giannini, T., Lorenzetti, D., De Luca, M., et al. 2013, *ApJ*, 767, 147
- Liseau, R., Lorenzetti, D., Nisini, B., Spinoglio, L., & Moneti, A. 1992, *A&A*, 265, 577
- Massi, F., de Luca, M., Elia, D., et al. 2007, *A&A*, 466, 1013
- Molinari, S., Brand, J., Cesaroni, R., & Palla, F. 1996, *A&A*, 308, 573
- Reach, W. T., Rho, J., Tappe, A., et al. 2006, *AJ*, 131, 1479
- Reipurth, B. & Bally, J. 2001, *ARA&A*, 39, 403
- Schirmer, M. 2013, *ApJS*, 209, 21
- Varricatt, W. P. 2011, *A&A*, 527, A97

Espectroscopía 3D: cinemática interna en galaxias del Universo local

V. Firpo¹, G. Bosch^{2,3}, R. Díaz^{4,5}, G. F. Hägele^{2,3}, H. Dottori⁶, M. V. Cardaci^{2,3},
O. Dors⁷

¹ Departamento de Física y Astronomía, Universidad de La Serena, Chile

² Instituto de Astrofísica de La Plata (CONICET-UNLP), Argentina

³ Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, Argentina

⁴ Instituto de Ciencias Astronómicas, de la Tierra y del Espacio (CONICET), Argentina

⁵ GEMINI Observatory/AURA, Southern Operations Center, La Serena, Chile

⁶ Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

⁷ Universidade do Vale do Paraíba, Brasil

Resumen

Se presenta un estudio detallado de la estructura cinemática en la región central de la galaxia NGC 1672, y en los brotes más intensos de formación estelar de la galaxia Haro 15. Utilizando datos de alta calidad GMOS-IFU del telescopio Gemini Sur, hemos mapeado el campo de velocidad y el campo de distribución de flujo de diferentes líneas de emisión. Obtuvimos el campo de velocidad interno ($4'' \cong 350$ pc) de la galaxia NGC 1672 con un muestreo espacial de $0.2''$, resolución espacial de $0.4''$ y resolución espectral ~ 6000 . Utilizando campos de velocidad radial gaseoso y estelar, pudimos determinar un límite superior para la masa del SMBH en el núcleo LINER, y caracterizar las componentes del movimiento radial del gas ionizado circumnuclear. La estructura cinemática observada en Haro 15 ha demostrado ser extremadamente compleja, combinando una evidente rotación alrededor de un eje preferencial con desviaciones locales alrededor de las regiones de formación estelar.

1. Introducción

Este trabajo es parte de un largo estudio de regiones donde se producen los brotes de formación estelar violenta. En una serie de trabajos, nuestro grupo ha estado llevando a cabo un estudio comparativo de estas regiones con diferentes metalicidades y estados evolutivos, y la relación de estas con su entorno.

Haro 15 se encuentra a una distancia de 86.6 Mpc y es el objeto más lejano de la muestra ($1''$ es equivalente a 0.42 kpc). Fue clasificada en diferentes formas, pero la misma presenta una débil morfología espiral junto a dos grandes concentraciones de brillo superficial, confundiendo a anteriores clasificaciones como una Enana Compacta Azul. Estos brotes intensos de formación estelar muestran una morfología grumosa y puede ser resuelta en un gran número de cúmulos estelares (Cairós

et al. 2001). Para verificar la naturaleza gigante de las regiones HII es necesario medir el ensanchamiento presente en los perfiles de las líneas de emisión, y estimar si la dispersión de velocidades es supersónica (13 km/s). En Firpo et al. (2011), usando la alta resolución espectral echelle del telescopio du Pont del Observatorio Las Campanas, detectamos la presencia de varias componentes cinemáticas en las líneas de emisión de los brotes más intensos de formación estelar. Estos brotes muestran una compleja estructura, la cual es evidente en el espacio de velocidad radial, pero la misma no puede ser resuelta espacialmente en nuestros datos echelle. Con el propósito de distinguir espacialmente las diferentes componentes cinemáticas, las cuales podrían estar contribuyendo al ancho del perfil global de la línea de emisión, recurrimos a la espectroscopía 3D.

NGC 1672 se encuentra a una distancia de 14.4 Mpc, es una galaxia espiral barrada con la presencia de un agujero negro supermasivo en el núcleo LINER, y presenta anillos de formación estelar circumnuclear (Díaz et al. 1999). Las galaxias con anillos de formación circumnuclear tienen más alta concentración de masa central que las galaxias espirales normales, debido a que estos anillos parecen estar situados cerca de los puntos de quiebre en las curvas de rotación (Dottori 1990), y estos puntos de quiebre están más cerca de los núcleos que en las galaxias normales (Storchi-Bergmann et al. 1996). Por otro lado, las galaxias activas también presentan sistemas dinámicamente distintos de gas ionizado, e incluso desplazamientos entre el centroide de masa y el centro de cinemática (Mediavilla & Arribas 1993). NGC 1672 presenta todos los ingredientes en favor de este escenario. Díaz et al. (2001) encontraron que el campo de velocidad y la morfología de los 2 kpc centrales indican una densidad de masa mayor que en las regiones centrales de galaxias espirales normales, diferencias entre la posición del baricentro de la emisión en continuo del núcleo y el centro cinemático, y entre éstos y el centro de simetría de la barra. El campo de velocidad revela residuos no simétricos, no correlacionados con la barra ni con el anillo circumnuclear. Para analizar en detalle este escenario nuestro grupo recurrió a la espectroscopía 3D.

2. Observaciones

Las observaciones se realizaron con el Espectrógrafo Multiobjeto (GMOS) del Observatorio Gemini Sur en su modo Unidad de Campo Integrado (IFU). En la galaxia Haro 15 se observaron tres campos con un FoV de $3.5'' \times 5''$ ($\sim 1.5 \times 2.1 \text{ kpc}^2$ a la distancia de Haro 15) usando la red R600 con dos ángulos diferentes para una mejor cobertura en longitud de onda y con el filtro GG455 para evitar la contaminación de segundo orden, y la red B1200. Las condiciones de observación fueron excelentes con un *seeing* promedio de $0.4'' - 0.5''$ (Programa Gemini ID: GS-2008B-Q-7, PI:

V. Firpo, Noviembre 2008 y Octubre 2011). En la galaxia NGC 1672 se observaron cuatro campos con un FoV de $3.5'' \times 5''$ ($\sim 246 \times 351.5 \text{ pc}^2$ a la distancia de NGC 1672). Aquí solo presentamos el resultado del campo correspondiente a la parte central de la galaxia. Se usó la red R400 con el filtro GG455 y la red B1200, ambas redes observadas con dos ángulos diferentes para una mejor cobertura en longitud de onda, y dos desplazamientos espaciales. Las condiciones de observación fueron excelentes con un *seeing* promedio de $0.5''$ (Programas Gemini: ID: GS-2010B-Q-62, PI: O. Dors, ID: GS-2011B-Q-49, PI: G. Hägele).

3. Resultados

Para el caso de Haro 15, la alta calidad de las imágenes de los telescopios Gemini en su modo IFU, nos permitió mapear el campo de velocidad y la distribución de flujo de diferentes líneas de emisión. Una cuidadosa comparación entre la contribución del continuo y de la emisión de flujo $H\alpha$ nos permitió identificar nueve fuentes en el Complejo A y cuatro en el Complejo B. La estructura cinemática observada en Haro 15 ha demostrado ser extremadamente compleja, combinando una evidente rotación alrededor de un eje preferencial con desviaciones locales alrededor de las regiones de formación estelar (Firpo et al. 2012). Construimos un mapa de la velocidad radial derivado del ajuste de una gaussiana simple en la línea de emisión $H\alpha$, y estudiamos el patrón de rotación global del gas, el cual fue contrastado con diferentes modelos de distribución de masa. El modelo de masa total (dominado prácticamente por el disco) es comparable con un modelo de galaxia espiral. Encontramos un ángulo de inclinación de 54 grados e identificamos que el centro de rotación está situado en el brote de continuo más intenso en el Complejo A. El brote más intenso de emisión en el Complejo A está centrado a unos 380 pc, lo que sugiere que se trata de una región de formación estelar circumnuclear. Nuestro simple modelo descarta la posibilidad de un doble núcleo en Haro 15, y las desviaciones del movimiento circular (a 2 kpc) sugieren que el disco de la galaxia está fuertemente perturbado, tal vez como producto de una interacción con una compañera enana como fue propuesto por López-Sánchez & Esteban (2009). En el Complejo A detectamos un perfil doble, sugiriendo que el mismo se debe a la presencia de una componente de flujo de materia desplazándose hacia nosotros. En el Complejo B, el gas alrededor de la fuente de continuo más intensa muestra la presencia de perfiles dobles que pueden estar asociados con la presencia de un *super-shell*. El intenso gas ionizado alrededor del brote de emisión más brillante en este complejo muestra un gran ancho equivalente en la línea de emisión $H\beta$ y la presencia de signos WR, los cuales sugieren que esta región de formación estelar es muy joven.

En el caso de NGC 1672, presentamos aquí resultados preliminares del campo central. Gracias a la buena calidad de los datos IFU, pudimos obtener el campo de velocidad radial gaseoso y estelar interno de la galaxia ($4'' \cong 350$ pc), determinar un límite superior para la masa del agujero negro supermasivo en el núcleo LINER, y caracterizar las componentes del movimiento radial del gas ionizado circumnuclear. El máximo de la distribución de continuo es coincidente con el contorno del máximo de emisión $H\alpha$, o al menos no parece estar desplazado. A partir del mapa de velocidad $H\alpha$ encontramos una velocidad de 1360 km/s del núcleo, y determinamos un ángulo de inclinación de aproximadamente 26.4 grados. Utilizando una escala donde $1''$ equivale a 70.3 pc, estimamos que la distancia donde las velocidades son máxima y mínima en el cubo es de 267.14 pc. A partir de la diferencia en velocidad de estos puntos (306.3 km/s), encontramos que la velocidad circular es de aproximadamente 195.8 km/s. Este valor nos permitió estimar la masa del núcleo que es de alrededor de $2.37 \times 10^9 M_{\odot}$.

Referencias

- Cairós L. M., et al., 2001, ApJS, 133, 321
Díaz, R., Carranza, G., Dottori, H. & Goldes, G. 1999, The ApJ 512, 623
Díaz, R., Dottori, H. & Carranza, G. 2001, RMxAACS, 11, 137
Dottori, H. 1990, Proc. ESO-CTIO Workshop on Bulges of Galaxies 299, ed. B. Jarvis & D. Terndrup (Paris : ESO)
Firpo, V., Bosch, G., Hägele, G. F., Díaz, Á. I. & Morrell, N. 2011, MNRAS, 414, 3288
Firpo, V., Bosch, G., Hägele, G. F. & Díaz, 2012, BAAA, Vol. 55, p.289-293
López-Sánchez A. R. & Esteban, C. 2009, A&A, 508, 615
Mediavilla, E. & Arribas, S. 1993, Nat, 365, 420
Storchi-Bergmann, T., Wilson, A. & Stone, J. 1996, ApJ, 460, 252

Estudio fotométrico de candidatas a galaxias enanas de tipo temprano en el supergrupo de Eridanus y el grupo de Pegasus I

N. M. González^{1,2}, A. V. Smith Castelli^{1,2}, F. R. Faifer^{1,2,3}, S. A. Cellone^{1,2,3},
C. G. Escudero^{1,2,3}, L. A. Sesto^{1,2,3}, J. C. Forte^{3,4}

¹ Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, Argentina

² Instituto de Astrofísica de La Plata (CONICET-UNLP), Argentina

³ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina

⁴ Planetario "Galileo Galilei", Secretaría de Cultura, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

Resumen

Se presentan los resultados preliminares del estudio fotométrico de las galaxias de baja luminosidad presentes en varios campos obtenidos con Gemini-GMOS, en el supergrupo de Eridanus y en el grupo de Pegasus I. Con el objetivo de estudiar la formación y evolución de este tipo de galaxias en grupos con diferentes grados de evolución dinámica, se analizan las propiedades fotométricas de algunas candidatas a galaxias enanas detectadas en Eridanus y Pegasus I.

1. Introducción

El supergrupo de Eridanus, localizado a 23 Mpc (Tonry et al. 2011), está compuesto por tres diferentes subgrupos de galaxias: el grupo más masivo asociado con la galaxia elíptica NGC 1407 ($M_B = -20.99$), el subgrupo alrededor de NGC 1332 ($M_B = -20.36$), y el subgrupo asociado a la galaxia elíptica más brillante, NGC 1395 ($M_B = -21.02$; Brough et al. 2006). NGC 1407 fue estudiada extensivamente en los últimos años por diferentes autores. Sin embargo, NGC 1395 y NGC 1332 permanecen inexplorados.

Por otro lado, Pegasus I es un grupo de galaxias a 50 Mpc (Tonry et al. 2011), centrado alrededor de dos galaxias elípticas masivas: NGC 7626 ($M_V = -22.87$) y NGC 7619 ($M_V = -22.94$; Lauer et al. 2007). Ambas galaxias son fuentes de radio, con NGC 7626 mostrando jets/lóbulos simétricos a cada lado del núcleo central (Birkinshaw & Davies 1985; Hibbard & Sansom 2003). Además, existen evidencias de que Pegasus I constituiría un escenario de fusión de dos subgrupos, dominados por NGC 7619 y NGC 7626, respectivamente.

Con el fin de estudiar la formación y evolución de galaxias de baja masa en estos entornos, se han obtenido imágenes de varios campos en el supergrupo de Eridanus y en la región central de Pegasus I, con los telescopios Gemini Norte y

Gemini Sur. Se presentan aquí los detalles de la reducción de los datos y, como resultados preliminares, las propiedades fotométricas de algunas candidatas a galaxias elípticas enanas detectadas en dichos campos.

2. Observaciones y reducción de los datos

Este trabajo está basado en imágenes CCD profundas de NGC 1395 y una zona adyacente, tomadas con GMOS en Gemini Sur (Programa GS-2021B-Q-44, PI: J. C. Forte), en los filtros g' , r' , i' y z' (Fukugita et al. 1996). También se utilizaron imágenes de dos campos profundos en Pegasus I, obtenidas en los filtros g' , r' e i' con GMOS en Gemini Norte (Programas GN-2012A-Q-55, PI: A. Smith Castelli, y GN-2012B-Q-69, PI: F. Faifer).

La reducción de los datos se realizó en dos etapas, primero corrigiéndolos por bias y flats utilizando tareas específicas de GMOS: *gbias*, *gflat* y *gireduce* de IRAF; y segundo, mediante las tareas *gmosaic* e *imcoadd*.

Dentro de la primera etapa de reducción, se debe tener en cuenta el efecto de *fringing* que afecta a las imágenes cuando se usan filtros en el rojo o IR cercano, filtros i' y z' en este caso. El procedimiento general para corregir el *fringing* de las imágenes tomadas con GMOS, consiste en obtener imágenes de un campo libre de objetos extendidos, y utilizarlas para crear el patrón de *fringing* que luego se resta a las imágenes de ciencia. Para generar este patrón, primero se debe corregir estas imágenes por bias y flats, y posteriormente se les aplica la tarea *gifringe* generando así el mencionado patrón. Finalmente, para abstraer el mismo a las imágenes de ciencia se utiliza la tarea *girmfringe*.

En el filtro z' la corrección de *fringing* es, en general, difícil debido a su fuerte variabilidad en el tiempo, por lo que es muy importante crear el patrón con imágenes obtenidas en fechas cercanas a las observaciones de ciencia, o bien, utilizar estas mismas para obtener dicho patrón. Sin embargo, en nuestros datos se encontró la dificultad de que las imágenes z' del campo 1 de NGC 1395 mostraban una variación del patrón tanto en la forma como en la intensidad, con la complicación de que dicho campo incluye el halo de NGC 1395 y varios objetos extendidos. Se procedió entonces a modelarlos a partir de las imágenes de ciencia crudas, utilizando las tareas *ellipse*, *bmodel* y *geotran* de IRAF. Una vez conseguidas imágenes sin objetos saturados y/o extendidos, se combinaron estas con otras obtenidas durante la misma noche, logrando así una imagen de patrón de *fringing* mejorada, lo que resultó en imágenes de ciencia muy bien corregidas. La Figura 1 muestra el efecto del *fringing* (*izq.*) y la imagen final corregida (*der.*).

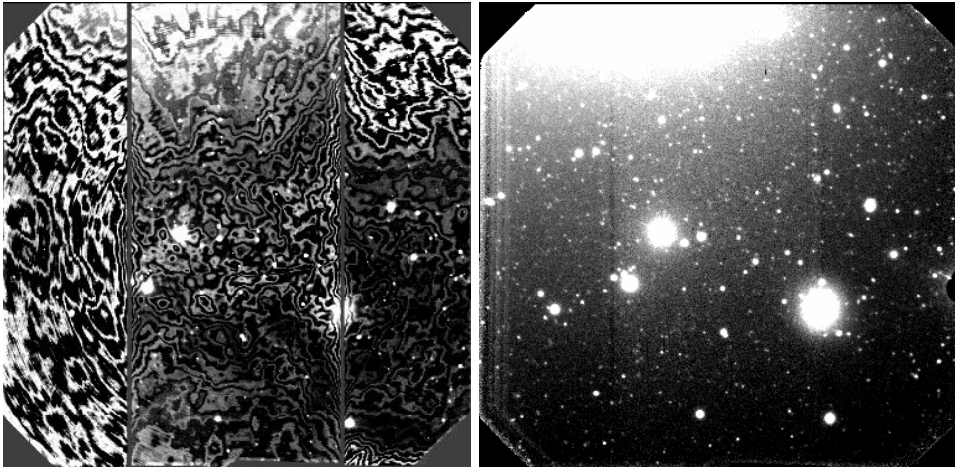


Figura 1: Imagen en el filtro z' del campo 1 de NGC 1395, antes (*izq.*) y después (*der.*) de la corrección por *fringing*.

3. Análisis fotométrico

Se utilizó la tarea *ellipse* para modelar la distribución de brillo superficial de la galaxia elíptica NGC 1395 y su halo. Luego, se restaron dichos modelos con el fin de medir los perfiles de brillo y color, las magnitudes y colores integrados, y construir los diagramas color-magnitud (DCM) y $\langle\mu_{\text{eff}}\rangle$ –luminosidad de las candidatas a galaxias enanas. Como los datos espectroscópicos no están disponibles para estos objetos, se detectó a las candidatas a galaxias enanas mediante una inspección visual de los campos. Se trabajó del mismo modo para identificar y medir las candidatas a galaxias enanas en los campos de Pegasus I. En la Figura 2 se muestra el DCM y $\langle\mu_{\text{eff}}\rangle$ –luminosidad para Pegasus I.

4. Resultados preliminares

De acuerdo con el trabajo realizado por Smith Castelli et al. (2013), existe una conexión entre las zonas identificadas para las galaxias de tipo temprano del cúmulo de Virgo en el DCM con las observadas en $\langle\mu_{\text{eff}}\rangle$ –luminosidad. Dicha conexión permite detectar candidatas a galaxias enanas a partir del análisis de ambos diagramas. En consecuencia, resulta razonable analizar qué candidatas a galaxias enanas identificadas en Eridanus y Pegasus I presentan similitudes con las galaxias pertenecientes al cúmulo de Virgo en los DCM y $\langle\mu_{\text{eff}}\rangle$ –luminosidad. Para ello, se compararon los datos reportados para el cúmulo de Virgo obtenidos por Chen et al. (2010; en adelante, Ch10) y nuestros resultados. En el caso de Eridanus

se encontró que sólo un objeto presenta características fotométricas consistentes con las galaxias enanas de Virgo. En cambio, para Pegasus I se encuentra que cuatro objetos muestran características fotométricas consistentes con las galaxias enanas encontradas en el cúmulo de Virgo. Como trabajo a futuro se buscará incorporar la ley de Sérsic en el ajuste de los perfiles de brillo superficial de las galaxias consideradas como candidatas a galaxias enanas.

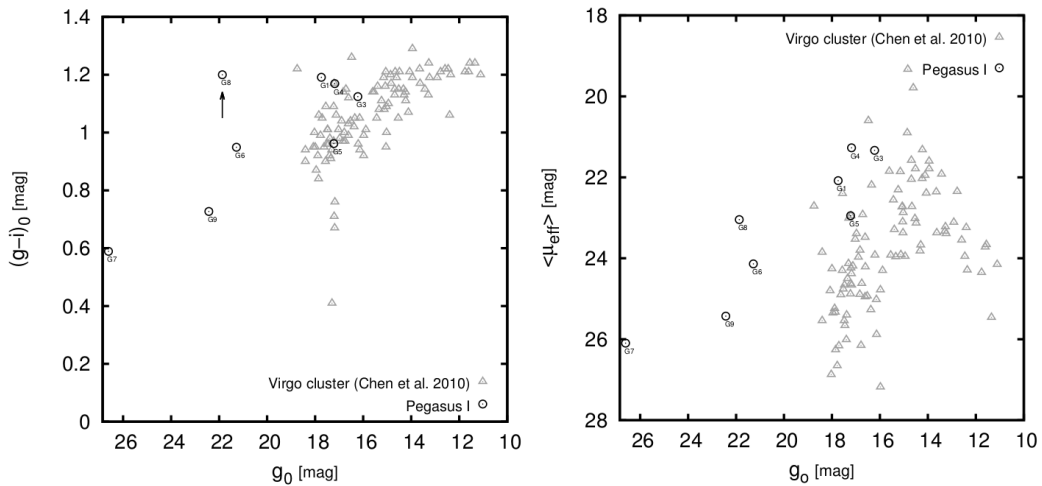


Figura 2: DCM y $\langle \mu_{\text{eff}} \rangle$ –luminosidad para el cúmulo de Virgo (Ch10) y nuestra fotometría para Pegasus I. Se transformaron las magnitudes aparentes del cúmulo de Virgo a la distancia de NGC 7619, adoptando los módulos de distancia $(m - M)_{\text{Vir}} = 31.09$ mag (Mei et al. 2007) y $(m - M)_{\text{N7619}} = 33.67$ mag (Cantiello et al. 2007).

Referencias

- Birkinshaw, M., & Davies, R. L. 1985, ApJ, 291, 32
 Brough S. et al., 2006, MNRAS, 369, 1351
 Cantiello, M., et al., 2007, ApJ, 668, 130
 Chen, Ch.-W., Côté, P., West, A., Peng, E. W., Ferrarese, L., 2010, ApJS, 191, 1 (Ch10)
 Fukugita M., Ichikawa T., Gunn J., 1996, AJ, 111, 1798
 Hibbard, J. E., & Sansom, A. E. 2003, AJ, 125, 667
 Lauer et al. 2007, ApJ, 664, 226
 Mei et al. 2007, ApJ, 655, 144
 Smith Castelli A., González N., Faifer F., Forte J.C., 2013, ApJ, 772, 68
 Tonry, J. & Schneider, D. P. 1988, AJ, 96, 807

Gas ionizado en radiogalaxias: procesos ionizantes

Victoria Reynaldi^{1,2}, Carlos Feinstein^{1,2}

¹ Instituto de Astrofísica de La Plata (CONICET-UNLP), Argentina

² Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, Argentina

Resumen

En este trabajo se analizan los espectros de emisión de las regiones nebulares conocidas como EELR, pertenecientes a una muestra de radiogalaxias del Catálogo 3C. Estos sistemas gaseosos de gran escala (kpc) presentan distribuciones espaciales peculiares, asociadas a la dirección del radio-eje. Se estudian las características de los espectros *long-slit* obtenidos con el instrumento GMOS/Gemini para determinar el mecanismo de ionización dominante en la región. Las líneas más importantes de los espectros se combinan en diagramas de diagnóstico para evaluar el nivel de competencia entre la fotoionización provocada por el campo de radiación del núcleo activo, y la ionización por ondas de choque potencialmente desencadenadas por el paso del radio-*jet* a través del medio.

1. Introducción

El Telescopio Espacial Hubble (HST) reveló la presencia de sistemas nebulares en escala de kiloparsecs (kpc) en torno a un numeroso grupo de potentes radiofuentes. Estas regiones, conocidas como Regiones Extendidas con Emisión de Líneas (EELR) se caracterizan por su espectro rico en líneas de emisión de metales (líneas prohibidas) y líneas de recombinación del hidrógeno.

La característica más importante de estas EELR, para los propósitos de esta investigación, radica en la disposición espacial del gas que, en todos los casos, guarda relación directa con la dirección de los radio-*jets* que emergen de la radiofuente puntual. El campo de radiación emitida por la fuente central es extremadamente potente, pero dado que las EELR se encuentran a distancias del orden de kiloparsecs de la fuente emisora y, a su vez, se hallan prácticamente alineadas con el radio-eje, surge la inquietud por averiguar qué mecanismo pudo haber desencadenado la emisión del gas. Los dos posibles mecanismos, tan aceptados como discutidos, son la fotoionización central y la ionización por ondas de choque desencadenadas como consecuencia del paso del *jet* a través del sistema gaseoso. El análisis de estos dos posibles escenarios requiere un minucioso estudio de las líneas de emisión presentes en los espectros de cada EELR.

2. Espectros obtenidos con GMOS/Gemini

Los objetos se seleccionaron en base a los datos del HST. De acuerdo a la extensión y brillo superficial de las EELR en esas imágenes, la muestra definitiva quedó compuesta por diez objetos. Esos objetos fueron observados con el instrumento GMOS del Telescopio Gemini Norte especialmente para el desarrollo de esta investigación. La Tabla 1 reúne los detalles de las observaciones. Dadas las características morfológicas de las EELR, se tomaron espectros de ranura larga (*long-slit*) con la ranura orientada en la dirección preferencial de elongación de las nebulosas que, a su vez, está prácticamente alineada con la dirección de los *jets*. Para todas las observaciones se empleó la red B600. Los ángulos de posición (PA) se expresan en grados, la cantidad de exposiciones se indica en la columna correspondiente a los tiempos de exposición (t_{exp}). La última columna corresponde a la escala lineal (sin considerar efectos de proyección), resultante de la combinación de la escala del detector y el corrimiento al rojo (*redshift*) del objeto. En la Figura 1 se muestran los espectros, acotados a la sección comprendida por las líneas más intensas: $H\beta$ y $[\text{OIII}]\lambda\lambda 4959, 5007$.

Tabla 1: Detalle de las observaciones: espectroscopía *long-slit* con GMOS/Gemini.

Objeto	Fecha obs.	Ranura (")	PA (°)	λ_c [nm] (nm)	t_{exp} (s)	Seeing (")	Escala (pc px ⁻¹)
3C 381	Abr 2005	0.50	155	450	1 × 2251	0.80	465
3C 284	Abr 2005	0.50	70	500	1 × 2400	0.82	698
3C 268.2	Feb 2011	0.50	165	565	1 × 2576	0.65	1050
3C 268.3	Abr 2011	0.50	146	570	1 × 2580	0.76	1080
3C 305	Abr 2011	0.75	45	445	3 × 720	1.00	124
3C 321	Abr 2011	0.75	127	445	1 × 2400	0.42	284
3C 303.1	Feb 2012	1.00	145	560	2 × 1280	0.95	784
3C 184.1	Mar 2012	1.00	18	450	3 × 760	1.10	342
3C 196.1	Mar 2012	0.50	50	525	2 × 1280	0.83	573
3C 285	Feb 2012	1.50	80	430	3 × 780	0.95	234

3. El estudio de los procesos de ionización en las EELR

Desde el trabajo pionero de Baldwin, Phillips & Terlevich (1981) no han cesado los esfuerzos por distinguir la principal fuente de ionización en distintos sistemas de gas ionizado a partir de la información contenida en las líneas de emisión.

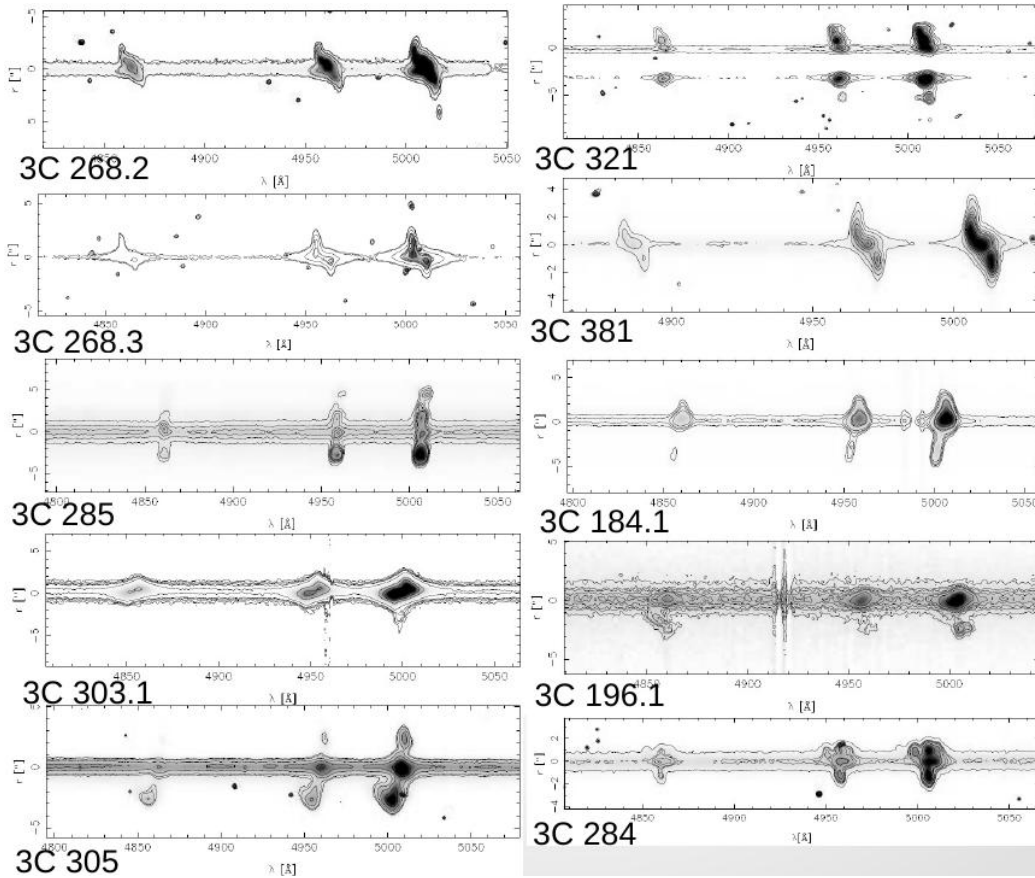


Figura 1: Espectros *long-slit*. Se muestra la zona de $H\beta$ y $[OIII]\lambda\lambda 4959, 5007$ para los diez objetos de la muestra.

Los dos principales mecanismos de ionización que se debaten para entender el estado de excitación/ionización de las EELR, son la fotoionización por parte del campo de radiación térmica emitida por el AGN, y la ionización por ondas de choque (*shocks*), surgidas como consecuencia de la inyección de energía mecánica en el sistema. Ambos escenarios pueden estudiarse mediante la intensidad relativa de las líneas de emisión del espectro (cocientes de líneas) en diagramas de diagnóstico. Utilizamos los modelos desarrollados por Binette et al. (1996, 1997) para el caso de la fotoionización central, y por Dopita & Sutherland (1995, 1996) y Allen et al. (2008) para la ionización por ondas de choque radiativas. La descripción pormenorizada de cada modelo se puede encontrar en Reynaldi (2014). En los modelos de fotoionización (son cuatro modelos, T, H, M y L) se contempla el hecho de que el campo de fotones ionizantes atraviesa distintos tipos de nubes (distintas densidades, también llamadas fases) hasta alcanzar la EELR, el sistema nebuloso más distante del AGN. Los modelos de ionización por ondas de choque, por su parte, estudian

el estado del gas una vez que es atravesado por ondas de choque rápidas, en cuyo caso se crea un campo ionizante local, un frente de ionización, que se adelanta al frente de choque. En este caso, la zona de emisión está compuesta por la región de recombinación, donde el gas se está enfriando, y por la zona precursora, ionizada antes de que su estado dinámico sea alterado por el paso de la onda. El parámetro más importante del modelo es la velocidad de propagación de la onda de choque.

A continuación se describe brevemente el análisis realizado sobre la EELR de la radiogalaxia 3C 381 (ver Reynaldi & Feinstein 2013). En la Figura 2 se muestran dos diagramas de diagnóstico: en el panel de la izquierda se evalúan los mecanismos de fotoionización simple y multifase, y en el de la derecha se evalúa la ionización por ondas de choque. En este último, cada línea punteada manifiesta distintos posibles valores del campo magnético del medio, combinados con la densidad *pre-shock* del gas en el parámetro magnético $B/n^{1/2}$. Las líneas continuas indican la velocidad de la onda. En el diagrama de la izquierda, la banda vertical gris representa el conjunto de secuencias del parámetro de ionización U , usualmente utilizado para describir sistemas de fotoionización simple; las observaciones (triángulos para zona noroeste de la EELR, y círculos para la sudeste) están mejor representadas por las secuencias de ionización de los modelos multifase T, H, M y L.

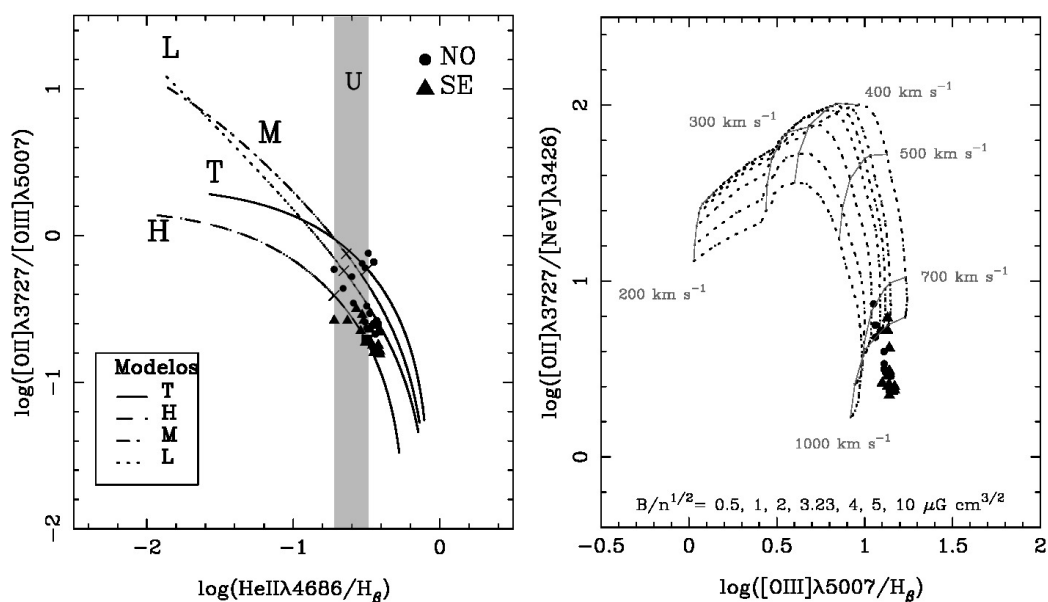


Figura 2: Evaluación de los modelos de fotoionización (*izq.*) y de ionización por ondas de choque (*der.*) en diagramas de diagnóstico.

Las EELR en 3C 381 muestran un espectro muy rico en líneas de emisión. En particular, las dos líneas de mayor excitación $[\text{NeV}]\lambda 3426$ y $\text{HeII}(4686)$ son

notoriamente intensas y muy extendidas. La secuencia de ionización propuesta en los modelos T, H, M y L está estrechamente relacionada con la intensidad de $\text{HeII}(4686)/\text{H}\beta$, razón por la cual se obtiene un buen ajuste cuando este cociente forma parte del diagnóstico.

Por otra parte, el estudio cinemático realizado sobre la línea más intensa del espectro, $[\text{OIII}]\lambda 5007$, muestra que en la zona $|r| < 3''$ (r indica la distancia respecto al centro de la galaxia, que se adopta como origen) existen movimientos de perturbación que se apartan de la curva de rotación que domina el estado del gas. La amplitud de velocidades alcanza $\sim 500 \text{ km s}^{-1}$. Es de esperar que este tipo de movimientos desencadenen ondas de choque en el medio. En tales condiciones, esas ondas de choque pueden generar un importante campo de radiación local capaz de alterar las condiciones de ionización del gas circundante. Asimismo, de este modo es posible explicar la intensidad con la que se observa, y la distancia hasta la cual es posible medir la línea de mayor excitación del espectro: $[\text{NeV}]\lambda 3426$. Los modelos de ionización por ondas de choque predicen intensidades (en los cocientes de líneas) compatibles con las observaciones, obteniéndose mejores ajustes cuando los diagramas están compuestos, simultáneamente, por líneas de baja, media, y alta excitación.

Ciertamente, la evidencia más impactante de interacción entre los radio-*jets* y el medio interestelar/intergaláctico (MIE/MIG) se observa en los extremos de los lóbulos: en los *hot spots*, cuando el medio circundante frena bruscamente las ondas de choque originadas por el *jet*. Estas regiones se caracterizan por su brillo superficial intenso (en radio) y porque la presión del gas (en los casos donde ha sido posible medirla) es mayor que en los alrededores. Pero no sólo en los extremos de los lóbulos se generan ondas de choque, sino también en las regiones cercanas al AGN (cercanas, comparadas con la escala de los lóbulos), donde los *jets* son supersónicos¹. Cuando eso sucede, se generan zonas de alta presión dentro de las nebulosas ópticas. Tal exceso de presión fue reportado por Robinson et al. (2002). Allí se mostró que el material de la EELR sufre un exceso de presión con respecto al halo de rayos-X. También se señaló que esto podría ser el resultado de la existencia de ondas de choque inducidas por el *jet*, pero que al momento no existía ninguna evidencia cinemática en favor de ese escenario. El campo de velocidades que derivamos con el espectro GMOS constituye tal evidencia.

Aunque el campo de radiación ionizante del núcleo activo nunca es despreciable, el estado de excitación del gas en la EELR de 3C 381 responde principalmente a las predicciones de los modelos de ionización por ondas de choque, y este resultado es enteramente compatible con el estado cinemático del gas.

¹ver: J. P. Leahy, www.jb.man.ac.uk/atlas/dragons.html

Agradecimientos

Quiero expresar mi agradecimiento a los organizadores de este evento por haberme dado un generoso espacio para mostrar los principales resultados de mi Tesis Doctoral.

Referencias

- Allen, M. G., Groves, B. A., Dopita, M. A., Sutherland, R. S., & Kewley, L. J. 2008, ApJS, 178, 20
- Baldwin, J. A., Phillips, M. M., & Terlevich, R. 1981, PASP, 93, 5
- Binette, L., Wilson, A. S., Raga, A., & Storchi-Bergmann, T. 1997, A&A, 327, 909
- Binette, L., Wilson, A. S., & Storchi-Bergmann, T. 1996, A&A, 312, 365
- Dopita, M. A. & Sutherland, R. S. 1995, ApJ, 455, 468
- Dopita, M. A. & Sutherland, R. S. 1996, ApJS, 102, 161
- Reynaldi, V. 2014, Tesis Doctoral: *Interacción entre los radio-jets y el material interestelar en radiogalaxias* (Biblioteca de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP)
- Reynaldi, V. & Feinstein, C. 2013, MNRAS, 430, 2221
- Robinson, T. G., Tadhunter, C., & Dyson, J. E. 2002, MNRAS, 331, L13

Develando las propiedades del sistema inexplorado de cúmulos globulares de NGC 5044 a través de Gemini+GMOS

Scalia, M. C.², Faifer, F. R.^{1,2,3}, Smith Castelli, A. V.^{1,3}, Forte, J. C.^{3,4},
Cellone, S. A.^{1,2,3}, Bassino, L.^{1,2,3}

¹ Instituto de Astrofísica La Plata (CONICET-UNLP), Argentina

² Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, Argentina

³ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina

⁴ Planetario "Galileo Galilei", Secretaría de Cultura, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

Resumen

Se presenta la primera caracterización fotométrica y las primeras determinaciones de velocidades radiales de candidatos a cúmulos globulares (CGs) pertenecientes a la galaxia elíptica NGC 5044. Se reporta un sistema de CGs rico, con varios miles de candidatos. Su distribución de colores resulta bimodal, dominada por los CGs azules. Se confirman 27 miembros del sistema, con una $\langle V_r \rangle = 2833 \text{ km s}^{-1}$. Uno de tales objetos se encuentra en el rango de brillo de los denominados UCDs.

1. Características y entorno intergaláctico

La galaxia elíptica masiva NGC 5044 ($M_B = -21.2$) está situada a una distancia de 35 Mpc y presenta una velocidad sistémica de $cz = 2710 \text{ km s}^{-1}$. Es el objeto central del grupo, o cúmulo pequeño, conocido como NGC 5044. El mismo cuenta con unos 150 miembros, en su mayoría galaxias enanas (Ferguson & Sandage 1990). Tanto el grupo como algunos de sus miembros han sido estudiados en detalle por varios autores, tanto en el óptico (ver, por ejemplo, Cellone & Buzzoni 2005; Mendel et al. 2009) como en radio (Sengupta et al. 2007), revelando un grupo dinámica y morfológicamente maduro. Las observaciones en rayos-X revelan una morfología suave y casi esféricamente simétrica a gran escala, aunque con notable subestructura a menores escalas, atribuida a la presencia de un núcleo activo (AGN) de baja luminosidad (David et al 2009). Sorprendentemente, la galaxia NGC 5044 en sí ha sido muy poco estudiada en el rango óptico. En la literatura se destaca el resultado de Brough et al. (2007), quienes encuentran la presencia de un gradiente de metalicidad muy pequeño, lo cual sería indicativo de que NGC 5044 pudo haber sufrido un evento de fusión disipativa en el pasado.

2. El sistema de cúmulos globulares de NGC 5044

Al igual que la galaxia NGC 5044, su sistema de cúmulos globulares (SCG) ha permanecido casi inexplorado. Este hecho es llamativo, dado que el estudio de estos sistemas se ha convertido en una importante herramienta que permite obtener pistas sobre la historia de formación de las galaxias, así como trazar diversas propiedades de las galaxias de tipo temprano (Forte et al. 2014). El interés que presenta NGC 5044 radica en que es con claridad la galaxia más masiva del grupo, y al poseer una población rica de CGs resultará muy atractiva para posteriores estudios dinámicos. Ello es lo que motiva el presente trabajo, cuyos resultados establecen la primer caracterización fotométrica y las primeras determinaciones de velocidades radiales de candidatos a cúmulos globulares del SCG de NGC 5044.

3. Datos observacionales

Las observaciones se obtuvieron con la cámara GMOS del telescopio Gemini Sur. En modo imagen, se observaron 4 campos profundos de la región central del grupo (Programa GS-2009A-Q-46), empleando los filtros g' , r' e i' del sistema fotométrico del SDSS. Por su parte, las observaciones en modo multiobjeto (MOS) se realizaron con la red B600_G5323 (centrada en 4900, 5000 y 5050 Å) y ranuras de 1". Se incluyeron en la máscara 43 ranuras para los objetos de ciencia y 3 para los de adquisición. Se tomaron un total de 8 exposiciones de 2330 segundos cada una (Programa: GS-2010A-Q-56). Cabe destacar que al momento de realizar estas observaciones, GMOS contaba con el arreglo EEV de CCDs. La reducción se llevó a cabo utilizando los paquetes `gemini.gmos` de IRAF.

Una vez reducidos y extraídos, los espectros se combinaron para obtener sus medianas, y luego se utilizó la tarea `fxcor` para determinar las velocidades radiales (V_r) helocéntricas. La correlación cruzada se realizó empleando como "patrón" de V_r espectros sintéticos provenientes de los modelos de poblaciones estelares simples de MILES (Vazdekis et al. 2010).

4. Resultados preliminares y trabajo a futuro

Se seleccionaron los candidatos a CGs entre los objetos no resueltos de la muestra, empleando criterios de magnitudes y colores similares a los descritos en el trabajo de Faifer et al. (2011). El análisis fotométrico indica que NGC 5044 posee un sistema rico de cúmulos, ya que nuestra muestra incluye unos ~ 3400 candidatos.

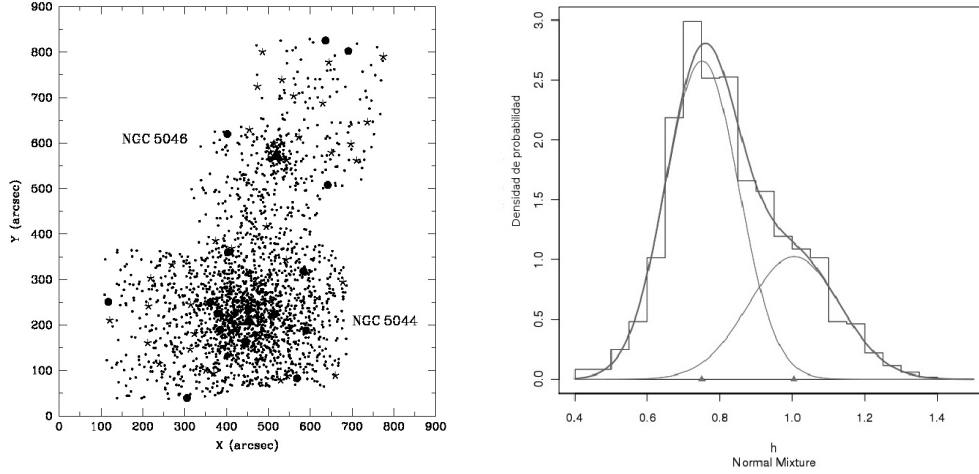


Figura 1: *Izquierda*: distribución espacial mostrando los candidatos a CGs y posibles UCDs. *Derecha*: histograma de colores integrados ($g' - i'$) y su descomposición en gaussianas.

Su distribución espacial es aparentemente simétrica y concentrada hacia la galaxia (panel izquierdo en la Fig. 1). Por su parte, la distribución de colores integrados resulta bimodal, con un claro dominio de los CGs azules. La muestra se analizó empleando el programa *Rmix* (panel derecho en la Figura 1). Este tipo de comportamiento es típico en las regiones centrales de los cúmulos de galaxias (ej. M87, NGC 1399, NGC 3258, etc.). Se identificaron, además, 16 objetos dentro del rango de magnitudes y colores propios de las denominadas enanas ultracompactas (UCDs).

En cuanto a los resultados del análisis espectroscópico, se obtuvieron velocidades radiales heliocéntricas para 34 de los 43 objetos observados (los restantes nueve objetos requerirán un análisis más detallado dada su baja S/N). La Figura 2, panel izquierdo, presenta el diagrama color-magnitud de los candidatos a CGs, UCDs, y los objetos analizados espectroscópicamente. En el panel derecho de la misma figura se presenta la distribución de V_r en función del R_{gal} . Resulta evidente la separación en velocidad entre los genuinos CGs ($2000 < V_r < 3500 \text{ km seg}^{-1}$) y las estrellas de nuestra galaxia ($V_r < 500 \text{ km seg}^{-1}$), confirmando así los primeros 27 cúmulos globulares de NGC 5044.

Como trabajo para el futuro inmediato se planea completar el análisis fotométrico de la muestra presentada, intentar determinar la naturaleza de los nueve objetos no clasificados aquí, y estimar edades y metalicidades para aquellos objetos cuyos espectros presenten S/N suficiente.

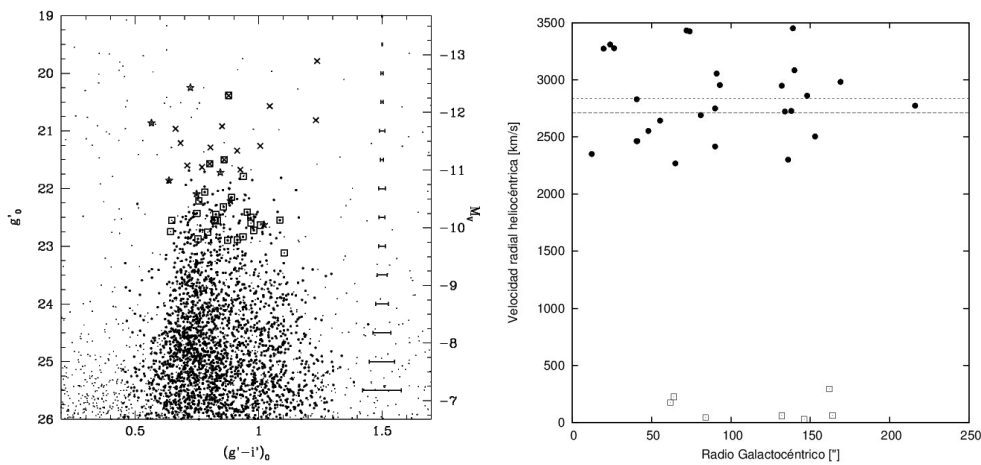


Figura 2: *Izquierda*: diagrama color-mag de los objetos de la muestra (puntos), candidatos a CGs (puntos oscuros), candidatos a UCDs (cruces), objetos confirmados pertenecientes a NGC 5044 (cuadrados), y estrellas de nuestra galaxia (estrellas). *Derecha*: velocidades radiales de los CGs (círculos), y estrellas de nuestra galaxia (cuadrados). La línea de trazos marca la V_r de NGC 5044, y la línea de puntos muestra la V_r media de los 27 CGs confirmados.

Referencias

- Brough, S., Proctor, R., Forbes, D., Couch, W., Collins, C., Burke, D., Mann, R. 2007, MNRAS, 378, 1507
- Cellone, S., Buzzoni, A. 2005, MNRAS, 356, 41
- David, L., Jones, C., Forman, W., Nulsen, P., Vrtillek, J., O'Sullivan, E., Giacintucci, S., Raychaudhury, S. 2009, ApJ, 705, 624
- Faifer, F., Forte, J., Norris, M., Bridges, T., Forbes, D., Zepf, S., Beasley, M., Gebhardt, K., Hanes, D., Sharples, R. 2011, MNRAS, 416, 115
- Ferguson, H. C., Sandage, A. 1990, AJ, 100, 1
- Forte, J., Vega, E., Faifer, F., Smith Castelli, A., Escudero, C., González, N., Sesto, L. 2014, MNRAS, 441, 1391
- Mendel, J., Proctor, R., Rasmussen, J., Brough, S., Forbes, D. 2009, MNRAS, 396, 2103
- Sengupta, C., Balasubramanyam, R., Dwarakanath, K. S. 2007, MNRAS, 378, 137
- Vazdekis, A., Sánchez-Blázquez, P., et al., 2010, MNRAS, 404, 1639

Propiedades fotométricas y espectroscópicas del sistema de cúmulos globulares de NGC 1316

Leandro A. Sesto^{1,2,3}, Favio R. Faifer^{1,2,3}, Juan Carlos Forte^{3,4}

¹ Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, Argentina

² Instituto de Astrofísica La Plata (CONICET-UNLP), Argentina

³ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina

⁴ Planetario "Galileo Galilei", Secretaría de Cultura, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

Resumen

Partiendo del hecho de que los sistemas de cúmulos globulares (SCG) han sido establecidos en la literatura como potenciales trazadores de la formación y evolución de las galaxias que los contienen, presentamos un estudio fotométrico multicolor y resultados espectroscópicos preliminares de candidatos a cúmulos globulares (GC) asociados a NGC 1316.

1. NGC 1316 y el cúmulo de Fornax

La galaxia elíptica gigante NGC 1316 (Fornax A), la cual está catalogada como una S0 peculiar, es el remanente de una fusión de edad intermedia de aproximadamente 3×10^9 años. Esta galaxia pertenece al cúmulo de Fornax, uno de los más cercanos y mejor estudiados en el cielo del hemisferio sur.

2. Observaciones

Se realizó la reducción y análisis de un mosaico de imágenes observadas a través de los filtros g' , r' e i' (Fukugita et al. 1996), empleando la cámara *Gemini Multi-Object Spectrograph* (GMOS) de Gemini Sur. El mosaico de imágenes está constituido por 8 campos profundos, más un campo de comparación, obtenidos en los programas GS-2008B-Q-54 y GS-2009B-Q-65 (PI: Juan Carlos Forte). Las imágenes fueron obtenidas empleando un *binning* de 2×2 y se realizó un proceso de *dithering* entre las exposiciones.

En una segunda etapa, se realizó un análisis espectroscópico de 40 candidatos a CG de NGC 1316, obtenidos empleando la cámara GMOS-S en modo multiobjeto (programa GS-2013B-Q-24, PI: Leandro Sesto). Se realizaron 16 exposiciones de 1800 s cada una, utilizando la red B600 y empleando un *binning* de 2×2 . El tamaño de las ranuras es de 1×4 arcsec.

3. Fotometría y selección de candidatos a CG

Los datos crudos fueron procesados utilizando las rutinas GEMINI-GMOS en IRAF (ej. *gprepare*, *gbias*, *giflat*, *gireduce*, *gmosaic* e *imcoadd*).

La detección de fuentes y el modelado del halo de NGC 1316 fueron realizados utilizando el algoritmo de búsqueda y clasificación del software SExtractor (Bertin & Arnouts 1996). Se obtuvieron magnitudes *psf* para todos los objetos detectados por SExtractor utilizando el paquete Daophot dentro de IRAF. Finalmente, se observó un campo de estrellas estándares durante la misma noche que el campo central del mosaico, con el que se obtuvieron las calibraciones al sistema estándar (Sesto 2012).

A la distancia de NGC 1316 se espera que los CG sean fuentes no resueltas. Por lo tanto, se utilizó el índice de estelaridad de SExtractor (0 para fuentes resueltas y 1 para las no resueltas) para llevar a cabo una primera selección de candidatos. Consideramos objetos puntuales a aquellos con índice de estelaridad mayor a 0.5. Por otra parte, solo se consideraron objetos más brillantes que $g' = 24.5$ mag. Para ese valor obtenemos una completitud mayor al 80% y errores en $(g' - i')$ menores a 0.1 mag. Finalmente, adoptamos los rangos de color presentados en la Tabla 1. Esos valores garantizan una muestra limpia que incluye a la mayoría de los CGs “clásicos” (Faifer et al. 2011).

Tabla 1: Rangos de colores adoptados para los candidatos a CG.

Color			
0.4	<	$(g' - i')_0$	< 1.4 mag
0.3	<	$(g' - r')_0$	< 0.9 mag
0.0	<	$(r' - i')_0$	< 0.6 mag

4. Resultados fotométricos

Los diagramas de colores integrados no presentan una distribución bimodal y se destaca la presencia de una subpoblación de CG de colores intermedios, como ya ha sido publicado por otros autores (Richtler et al. 2012). Utilizando diagramas color-color y modelos sintéticos de poblaciones estelares simples publicados por Bressan et al. (2012), obtuvimos estimaciones de la edad y la metalicidad de las distintas subpoblaciones presentes en la muestra.

Se realizó un análisis de la distribución de colores integrados, donde se llevó a cabo la descomposición del histograma $(g' - i')_0$ en las diferentes subpoblaciones antes mencionadas (Fig. 1). Para ello, se siguieron los lineamientos expuestos en Forte et al. (2007, 2009, 2013). Es posible obtener una descripción razonable de la distribución de colores integrados suponiendo la presencia de subpoblaciones de CG azules y rojos “clásicos” con edades del orden de 10 Gyr, además de una población de objetos de colores intermedios con edades de 5 Gyr.

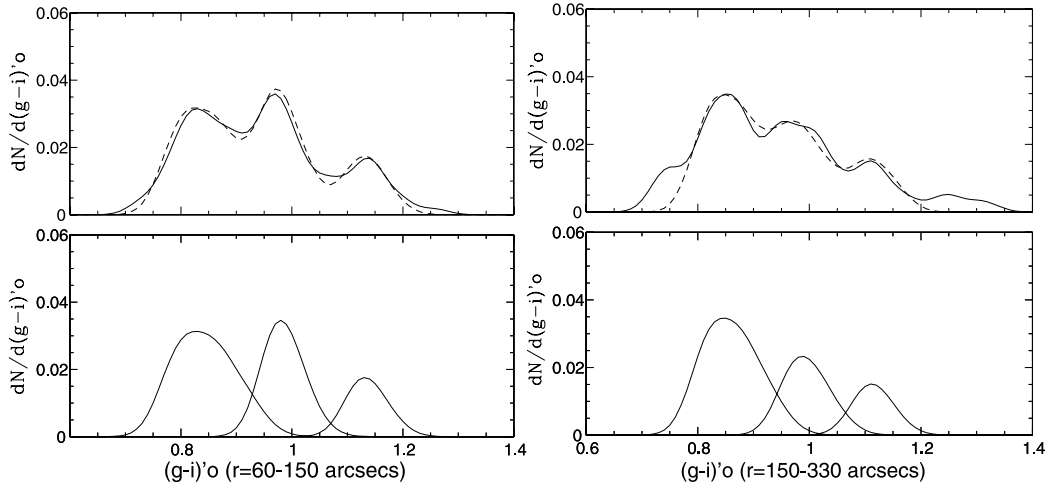


Figura 1: *Arriba*: distribución de colores observada (línea sólida). Ajuste suponiendo la presencia de tres subpoblaciones de CG (línea de puntos). *Abajo*: modelado de las diferentes subpoblaciones. El análisis se realizó a diferentes radios galactocéntricos: 60 – 150 arcsec (*izq.*) y 150 – 330 arcsec (*der.*).

5. Resultados espectroscópicos

Las imágenes fueron procesadas utilizando las rutinas GEMINI-GMOS en IRAF. Además de las correcciones por *bias* y campo plano, se realizó la calibración en longitud de onda. Los espectros individuales fueron extraídos y posteriormente combinados, mediante las tareas *apall* y *scombine*, respectivamente.

Se obtuvieron las velocidades radiales (V_r) para cada uno de los objetos de la máscara, mediante una correlación cruzada con modelos sintéticos de poblaciones estelares simples, obtenidos de las librerías MILES (Vazdekis et al. 2010). Para tal fin se utilizó la tarea *fxcor*. Fueron confirmados 35 CG genuinos, los cuales presentan una velocidad radial sistémica de 1750 km/s. Solamente 5 objetos presentes en la muestra eran estrellas de campo con velocidades radiales heliocéntricas menores a 60 km/s (ver Fig. 2).

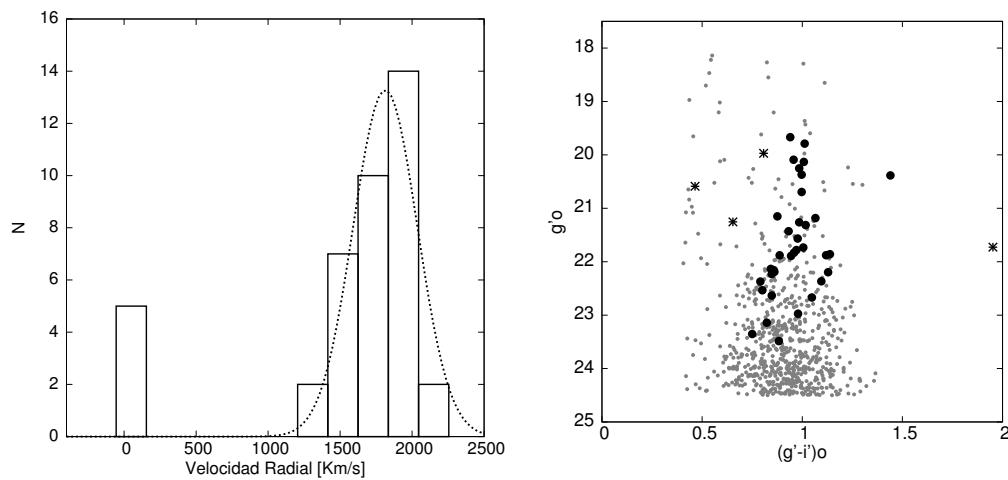


Figura 2: *Izquierda*: diagrama de distribución de velocidades radiales para todos los objetos presentes en la máscara. *Derecha*: diagrama color-magnitud de todas las fuentes puntuales detectadas (puntos grises), cúmulos globulares confirmados (puntos negros) y estrellas de campo (estrellas negras).

En la siguiente etapa de este proyecto, intentaremos describir los posibles episodios de formación estelar mediante la obtención de las edades y metalicidades de los CG más brillantes que hemos detectado en la muestra.

Referencias

- Bertin, E., Arnouts, S. 1996, A&AS, 117, 393
Bressan A., Marigo P., Girardi L., et al., 2012, MNRAS, 427, 127
Faifer, F., Forte, J. C., Norris, M., et al., 2011 MNRAS, 416, 155
Forte J. C., Faifer F., Geisler D., 2007, MNRAS, 382, 1947
Forte J. C., Vega E. I., Faifer F., 2009, MNRAS, 397, 1003
Forte J. C., et al., 2013, MNRAS, 431, 1405
Fukugita, M., Ichikawa, T., Gunn, J., et al., 1996, AJ, 111, 1748
Richtler T., Bassino L., Dirsch, B., & Kumar, B. 2012, A&A, 543, A131
Sesto L. A., 2012, Tesis de Licenciatura, FCAG-UNLP
Vazdekis, A., Sánchez-Blázquez, P., et al., 2010, MNRAS, 404, 1639

Galaxias Enanas a través de los ojos de Gemini

Analía V. Smith Castelli^{1,2}

¹ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina

² Instituto de Astrofísica de La Plata (CONICET-UNLP), Argentina

Resumen

En esta presentación se hará un recorrido a través de distintos proyectos de investigación en los que he estado o me encuentro actualmente involucrada, sobre el estudio de galaxias enanas en diversos medioambientes, haciendo uso de datos observacionales obtenidos con Gemini. Los mismos abarcan desde mi Tesis Doctoral, en la cual se analizó la población de galaxias enanas de tipo temprano de la región central del cúmulo de Antlia, hasta un programa actualmente en ejecución que apunta a realizar un estudio de galaxias enanas con formación estelar en diversos cúmulos y grupos de galaxias.

1. Galaxias Enanas

En el marco de las teorías cosmológicas que contemplan el crecimiento jerárquico de la estructura, la formación y evolución de las galaxias se encuentran gobernadas por interacciones y fusiones. Los ambientes densamente poblados de los grupos y cúmulos de galaxias son los entornos naturales en los cuales se espera que este tipo de procesos ocurran. Por otro lado, la mayor parte de las galaxias del Universo local se encuentran situadas en cúmulos y grupos (por ejemplo, Grebel 2007), y son, además, objetos de baja masa (de aquí en más, galaxias enanas; $M_* < 10^{10} M_\odot$, Bosseli & Gavazzi 2014). De este modo, y dado que las galaxias enanas son consideradas por algunas teorías como los bloques fundamentales a partir de los cuales se forman las galaxias masivas (Shen et al. 2014), es de esperar que su estudio en grupos y cúmulos nos brinde pistas no sólo de su propia historia evolutiva, sino también, de la historia de ensamble de las galaxias en general. Por su parte, el estudio de este tipo de objetos en ambientes de menor densidad puede brindar la oportunidad de analizar fenómenos que ya han tenido lugar en las regiones más densas de los cúmulos y grupos de galaxias, y así ayudar a comprender la influencia del medio en su evolución.

A pesar de lo simple que puede resultar el razonamiento anterior, y de los numerosos esfuerzos realizados en ese sentido, aún se carece de un único escenario que pueda explicar, de manera consistente, todas las propiedades de las galaxias enanas y su relación con los sistemas más masivos. La principal dificultad consiste en que estas galaxias no constituyen una clase de objetos homogénea en cuanto

a morfología, composición química, estructura interna o distribución espacial. Entre estos sistemas se encuentran galaxias de apariencia regular y difusa (enanas elípticas y lenticulares, o de tipo temprano; dE o dS0) que están dominadas por poblaciones estelares viejas y prácticamente carecen de gas. Algunas de ellas presentan núcleos centrales, otras muestran estructuras espirales y discos internos, e, incluso, algunas manifiestan actividad de formación estelar central (por ejemplo, Cellone & Buzzoni 2005; Lisker et al. 2006a,b). Existen también galaxias enanas irregulares o de tipo tardío (dI), las cuales presentan poblaciones estelares jóvenes y una cantidad de gas suficiente como para experimentar formación estelar en distintas regiones de las mismas. Las galaxias irregulares se ubican preferentemente en las periferias de los cúmulos de galaxias, mientras que las de tipo temprano se encuentran principalmente en las regiones centrales y de mayor densidad.

Galaxias enanas menos comunes son las denominadas galaxias enanas compactas azules (BCD, según sus siglas en inglés) y aquellas designadas como elípticas compactas (cE). Las primeras se encuentran preferentemente en el campo o en medios de baja densidad, y presentan morfologías irregulares (Lagos et al. 2014, Vaduvescu et al. 2014 y referencias allí mencionadas). Las segundas, muestran una apariencia esférica y compacta, y tienden a ubicarse, en proyección, cerca de galaxias brillantes pertenecientes a grupos o cúmulos de galaxias (Smith Castelli et al. 2008a, 2013; sin embargo, ver Huxor et al. 2013 y Chilingarian & Zolotukhin 2015).

2. Proyectos de investigación basados en datos Gemini

En el contexto anteriormente presentado, he estado, o me encuentro actualmente involucrada, en los siguientes proyectos de investigación basados en la obtención y posterior análisis de datos Gemini:

- *Estudio de galaxias de tipo temprano en la región central del cúmulo de Antlia.* Confirmación espectroscópica de 22 galaxias de tipo temprano como miembros de Antlia a través de GMOS-MOS en Gemini-Sur. Determinación de la relación color-magnitud de las galaxias de tipo temprano del cúmulo hasta brillos aparentes $R > 21$ mag (Smith Castelli 2008b; Smith Castelli et al. 2012).
- *Análisis de propiedades fotométricas y espectroscópicas de tres galaxias BCD en el cúmulo de Antlia.* Se utilizaron datos obtenidos con GMOS en modo imagen y ranura larga en Gemini Sur. Se encuentra que las galaxias BCD de Antlia siguen las mismas tendencias fotométricas que las galaxias

BCD identificadas en los cúmulos de Virgo, Hydra y Fornax (Vaduvescu et al. 2014).

- *Estudio de la galaxia aislada de tipo BCD HS 2236+1344.* Se utilizaron datos GMOS-IFU obtenidos con Gemini Norte. Se encuentra que este objeto puede ser clasificado como una BCD de metalicidad extremadamente baja (XBCD, $12 + \log(\text{O}/\text{H}) \lesssim 7.6$, Lagos et al. 2014).
- *Estudio de estructuras tidales en el Grupo Compacto de Hickson HCG 44.* Se están utilizando imágenes profundas obtenidas con GMOS en Gemini Norte (en desarrollo). Programas: GN-2009B-Q-64 y GN-2010B-Q-29, PI: A. Smith Castelli.
- *Estudio de galaxias cE en el grupo Pegasus I.* Se están utilizando datos obtenidos con GMOS en Gemini Norte, en modo imagen y ranura larga (en desarrollo). Programa: GN-2011B-Q-89, PI: F. Faifer.
- *Estudio de galaxias enanas en el grupo Pegasus I y en el supergrupo de Eridanus.* En base a imágenes profundas obtenidas con GMOS en Gemini Norte y Gemini Sur (en desarrollo, Tesis Doctoral de la Lic. Nélide González). Entre otros, Programa GS-2012B-Q-44, PI: J. C. Forte; Programa GS-2014B-Q-28, PI: L. Sesto; Programa GN-2015B-Q-13, PI: N. González.
- *Estudio multifrecuencia de galaxias enanas con formación estelar en distintos entornos.* Se han obtenido, recientemente, imágenes en el rango óptico con GMOS en Gemini-Sur, y se solicitarán imágenes en el infrarrojo cercano con Flamingos-2 (en desarrollo). Programas: GS-2015A-Q-36 y GN-2015A-Q-5, PI: A. Smith Castelli.

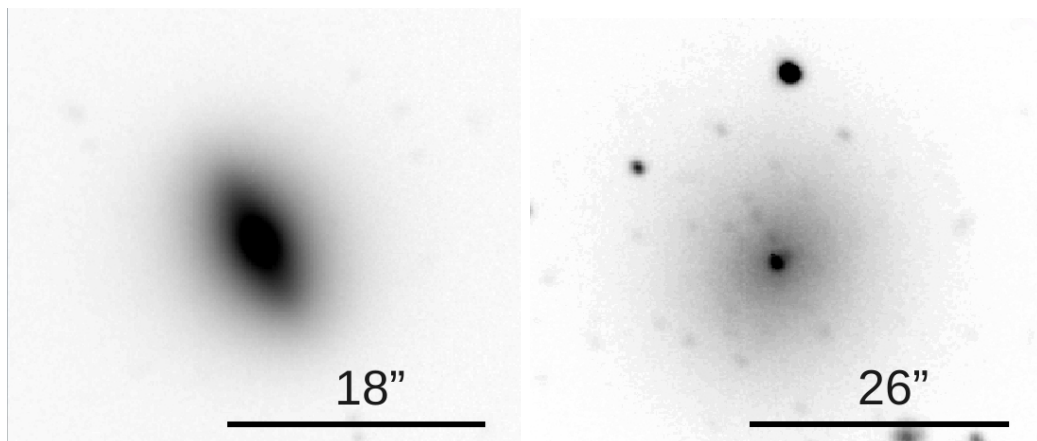


Figura 1: Galaxias enanas de tipo temprano en el supergrupo de Eridanus.

Agradecimientos

Mi más sincero agradecimiento a las autoridades del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación por el constante apoyo al proyecto GEMINI. Quisiera agradecer, también, a todos mis colaboradores en los distintos proyectos, por haberme permitido ser parte, y por su confianza a la hora de acompañarme en aquellos que he encarado como investigadora responsable. Todos estos proyectos han contado con financiación de CONICET, de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica y de la Universidad Nacional de La Plata.

Referencias

- Boselli, A., & Gavazzi, G. 2014, *A&ARv*, 22, 74
- Cellone, S., & Buzzoni, A. 2005, *MNRAS*, 356, 41
- Chilingarian, I., & Zolotukhin, I. 2015, *Sci*, 348, 418
- Grebel E. 2007, en *Groups of Galaxies in the Nearby Universe*, eds. I. Saviane, V. Ivanov, J. Borissova (Springer-Verlag), p. 3
- Huxor, A., Phillipps, S., Price, J. 2013, *MNRAS*, 430, 1956
- Lagos, P., Papaderos, P., Gomes, J., Smith Castelli, A., Vega, L., 2014, *A&A*, 569, A110
- Lisker, T., Glatt, K., Westera, P., Grebel, E. 2006a, *AJ*, 132, 2432
- Lisker, T., Grebel, E., Binggeli, B. 2006b, *AJ*, 132, 497
- Shen, S., Madau, P., Conroy, Ch., Governato, F., Mayer, L. 2014, *ApJ*, 792, 99
- Smith Castelli, A., Faifer, F., Richtler, T., Bassino, L. 2008a, *MNRAS*, 391, 685
- Smith Castelli, A., 2008b, Tesis Doctoral en Astronomía, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata
- Smith Castelli, A., Cellone, S., Faifer, F., et al. 2012, *MNRAS*, 419, 2472
- Smith Castelli, A., González, N., Faifer, F., Forte, J. C., 2013, *ApJ*, 772, 68
- Vaduvescu, O., Kehrig, C., Bassino, L., Smith Castelli, A., Calderón, J. 2014, *A&A*, 563, A118

Estudio del entorno de blazares a partir de datos GEMINI-GMOS

Juanita Torres Zafra^{1,2}, Sergio A. Cellone^{1,2}, Ileana Andruchow^{1,2}

¹ Instituto de Astrofísica de La Plata (CONICET-UNLP), Argentina

² Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, Argentina

Resumen

Los objetos BL Lac son una clase de AGN caracterizados por espectros ópticos prácticamente sin líneas de emisión o absorción, por lo cual es muy difícil determinar sus corrimientos al rojo (z). En este trabajo realizamos un estudio espectro-fotométrico del entorno de tres objetos tipo BL Lac: 3C 66A, PG 1553+113 y PKS 0332–403, a partir de datos obtenidos con el instrumento GMOS (*Multi-Object Spectrograph and Camera*) en los telescopios de 8.1 m Gemini Norte y Gemini Sur. El análisis de estos datos nos permitió detectar candidatos a cúmulos de galaxias con corrimientos al rojo de 0.34, 0.265 y 0.101 respectivamente, por lo cual, se analiza la probabilidad de pertenencia de nuestras fuentes a estas estructuras.

1. Introducción

Los blazares son núcleos galácticos activos (AGN) que presentan sus jets orientados cerca de la línea de la visual, razón por la cual la emisión electromagnética del jet resulta amplificada y domina su distribución espectral de energía (SED). Desde este escenario, para los objetos de la subclase BL Lac resulta difícil detectar la radiación térmica proveniente del núcleo o de la galaxia anfitriona, lo que puede llegar a impedir una medición directa de su corrimiento al rojo espectroscópico (z) (Ghisellini & Tavecchio 2010).

A partir de observaciones realizadas con el *Telescopio Espacial Hubble* se estableció que los objetos BL Lac residen en galaxias elípticas gigantes (O'Dowd & Urry 2005). Dado que éstas se hallan en entornos densos, una técnica potencialmente útil para determinar cotas al corrimiento al rojo de un BL Lac es el estudio de las magnitudes, colores y velocidades radiales de las galaxias del mismo campo.

Es por eso que hemos realizado un estudio espectro-fotométrico del entorno de una muestra de tres objetos BL Lac cuyos corrimientos al rojo son indeterminados aun: 3C 66A, PG 1553+113 y PKS 0332-403. El objetivo de este trabajo es la búsqueda de concentraciones de objetos con propiedades similares alrededor de cada blazar, que hablen de la posible presencia de cúmulos de galaxias sobre los

cuales se estudia la probabilidad de pertenencia de los BL Lac como miembros, compartiendo por lo tanto el mismo valor de z .

2. Observaciones y datos

Para este trabajo se realizaron observaciones en las bandas g' e i' de tres campos centrados en los blazares 3C 66A, PG 1553+113 y PKS 0332-403, haciendo uso del tiempo argentino en los telescopios de 8.1 m Gemini Norte y Gemini Sur y de los instrumentos GMOS (*Multi-Object Spectrograph and camera*)¹ obteniendo imágenes profundas de aproximadamente 5.5×5.5 arcmin² con una excelente resolución (FWHM entre 0.53 y 0.72 arcsec). Al mismo tiempo se obtuvieron espectros con el uso de los mismos instrumentos en modo MOS (*Multi-Object Spectroscopy*), tanto de cada blazar como de una serie de objetos seleccionados alrededor estos (Fig.1) de forma simultánea.

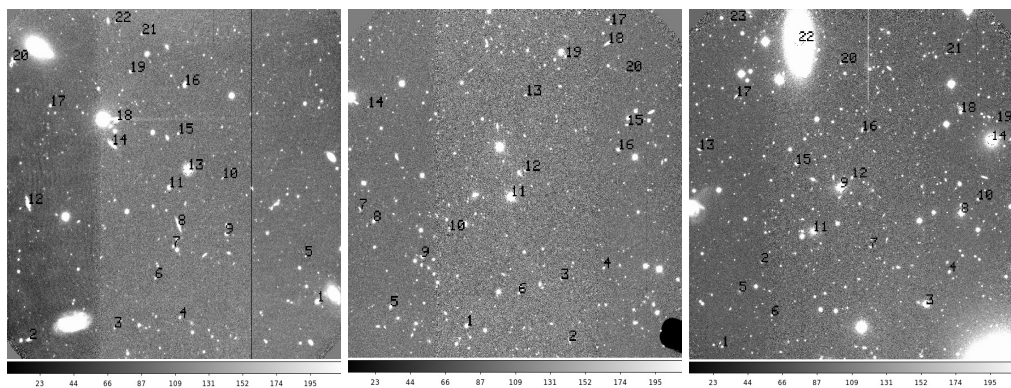


Figura 1: Imágenes de los campos PKS 0332-403 (*izquierda*), PG 1553+113 (*centro*) y 3C 66A (*derecha*), obtenidas con GMOS-N y GMOS-S.

Tanto las imágenes como los espectros fueron reducidos con tareas propias de *IRAF*. Posteriormente se realizó una fotometría con el software *SExtractor*, el cual permitió identificar un número de fuentes extendidas en cada campo, así como también calcular sus magnitudes instrumentales.

Se calcularon las velocidades radiales de los objetos seleccionados con ayuda de la tarea *fxcor* con una técnica de correlación cruzada en donde se utilizó el espectro de una galaxia tardía (NGC 4449) para objetos que presentan líneas de emisión y el de una galaxia temprana (NGC 4387) para aquellos que presentan absorciones. Ambos, descargados del *NASA / IPAC Extragalactic Database (NED)*.

¹Propuestas GN-2009B-Q-2 (PI: Andruchow), GN-2011A-Q-28 (PI: Cellone) y GS-2012B-Q-32 (PI: Torres-Zafra), respectivamente.

3. Análisis y resultados

Con las magnitudes estándar obtenidas se elaboraron diagramas color – magnitud para cada campo, sobre los cuales se ubicaron dos modelos de referencia: el primero de una galaxia E gigante y el segundo de una galaxia Sc, corregidos por evolución y corrección K para diferentes valores de z . Aquellos objetos que presentan velocidades radiales iguales entre sí se muestran con una simbología distinta en la Fig.2.

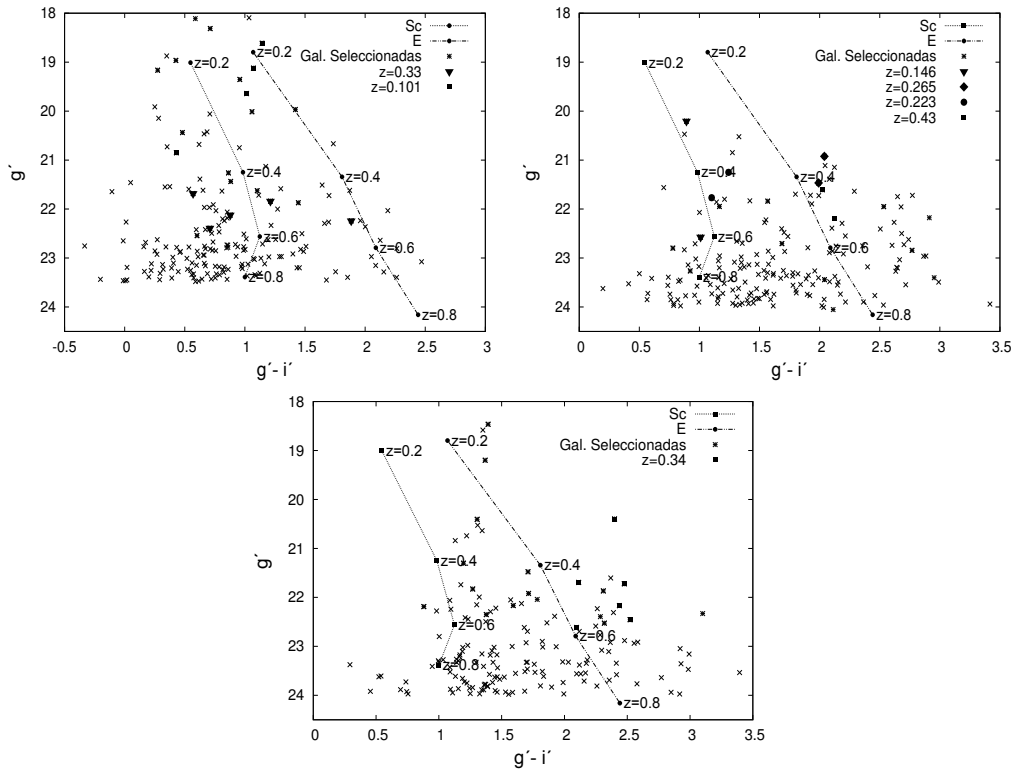


Figura 2: Diagramas C-M de los campos: *arriba-izquierda*: PKS 0332-403, *arriba-derecha*: PG 1553+113, *abajo*: 3C 66A.

Para el campo de PKS 0332-403 se evidencia una *secuencia roja* de objetos que comparten un $z \sim 0.101$ y un grupo de galaxias tardías que se encuentran a $z \sim 0.33$. En el diagrama de PG 1553+113 se observan parejas de galaxias que comparten el mismo z pero solo una de ellas (a $z \sim 0.265$) está ubicada en una sobredensidad que podría representar un cúmulo de galaxias.

Y finalmente para el campo de 3C 66A se observa un solo grupo de galaxias que además de compartir el mismo corrimiento al rojo ($z \sim 0.34$), se encuentran ubicadas dentro de la sobredensidad más evidente del diagrama. Los grupos de

objetos elegidos en relación con el corrimiento de cada blazar se encuentran siempre cercanos al modelo de galaxias tempranas (E) teniendo en cuenta que estas son las anfitrionas de estos objetos y las más numerosas en las regiones centrales de los cúmulos, lo que aumenta la probabilidad de que los objetos de la muestra pertenezcan a estas grandes estructuras.

4. Conclusiones

Se realizó un estudio espectro-fotométrico detallado del entorno de 3 objetos de tipo BL Lac con z indeterminado, suponiendo que alguna sobredensidad de galaxias, con similares valores de z , presente en sus respectivos diagramas C-M, constituye un cúmulo al cual probablemente esté asociado el blazar (Muriel et al. 2015).

1. Se obtuvo el mismo valor de z para 6 de las galaxias seleccionadas dentro del campo de 3C66A. Estas galaxias se encuentran ubicadas en una región de sobredensidad dentro de su diagrama C-M, lo cual habla de un valor estimativo para el blazar de $z = 0.34$.
2. Para el objeto PG1553+113 se obtuvieron 4 parejas de datos con valores distintos de z , por lo cual se consideró como más probable el valor de la pareja que se ubica en una región de sobredensidad dentro de su diagrama C-M cercano al modelo de la galaxia E gigante. Este valor es de $z = 0.265$.
3. Dentro del diagrama C-M de PKS0332-403 se presenta, por un lado una “secuencia roja” de objetos a $z = 0.101$ y por otro un grupo de galaxias a $z = 0.33$. En este caso se relaciona al blazar con el valor de 0.101, teniendo en cuenta que este tipo de objetos se hospedan comúnmente en galaxias E gigantes y que esta secuencia se presenta en la región correspondiente a este tipo de galaxias.

Referencias

- Ghisellini, G., Tavecchio, F., 2010, MNRAS, 402, 497
Miller, H. R., Green, R. F. 1983, BAAS, 15, 957
Muriel, H., Donzelli, C., Rovero, A., Pichel, A. 2015, A&A, 574, A101
O’Dowd, M., Urry, C. M., 2005, ApJ, 627, 97

Buscando huellas atmosféricas del exoplaneta Qatar-1b

Carolina von Essen¹, Sergio A. Cellone^{2,3}, Simon Albrecht¹, Stefan Dreizler⁴

¹ Stellar Astrophysics Centre, Department of Physics and Astronomy, Aarhus University, Dinamarca

² Instituto de Astrofísica de La Plata (CONICET-UNLP), Argentina

³ Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, Argentina

⁴ Institut für Astrophysik, Georg-August-Universität Göttingen, Alemania

Resumen

Presentamos resultados de un estudio de la atmósfera del exoplaneta Qatar-1b, basado en espectroscopía de transmisión obtenida con el instrumento GMOS en el telescopio Gemini Norte. Utilizando el modo multiobjeto (MOS) observamos Qatar-1 y varias estrellas de referencia durante un tránsito primario. A través de espectrofotometría diferencial pudimos obtener curvas de luz blanca, con las cuales redeterminamos los parámetros físicos y orbitales del planeta. Con la obtención de curvas de luz “a color”, se comenzará con la caracterización de la atmósfera de Qatar-1b.

1. Introducción

En los últimos años nuestro entendimiento acerca de la composición y estructura de las atmósferas de los planetas y satélites de nuestro Sistema Solar ha crecido exponencialmente, revelando que la formación y composición de una atmósfera planetaria dependen principalmente de la historia evolutiva del planeta, de su distancia a la estrella anfitriona, y de la posición de formación del planeta en el disco protoplanetario. Esto, a su vez, dio pie a la exploración de las atmósferas exoplanetarias, que plantean situaciones en general diferentes y complementarias a las del Sistema Solar. En particular, los sistemas exoplanetarios que transitan presentan una oportunidad única para el estudio de sus atmósferas, ya que durante el tránsito, parte de la luz emitida por la estrella anfitriona interactúa con las capas externas de la atmósfera exoplanetaria, permitiendo así estudiar indirectamente su composición química, mediante la técnica llamada *espectroscopía de transmisión*. De esta manera, se han detectado elementos (Na y K) y moléculas (H₂O, CH₄) en distintos exoplanetas (Charbonneau et al. 2002; Redfield et al. 2008; Sing et al. 2008; Deming et al. 2013).

Las mejores chances de detección mediante esta técnica se dan cuando el sistema combina: una estrella brillante con un tránsito profundo — maximizando la relación S/N—, y un planeta con baja gravedad superficial —maximizando la señal

atmosférica—. Qatar-1b, un “Júpiter caliente” que transita y orbita cada ~ 1.4 días a su estrella —una K3V moderadamente activa— reúne las condiciones indicadas (ver Tabla 1), por lo que es adecuado para este estudio.

Tabla 1: Principales características físicas y geométricas del sistema Qatar-1.

Qatar-1a (estrella)		Qatar-1b (planeta)	
ST	K3V	a	$\simeq 0.023$ AU
masa	$0.85 M_{\odot}$	T	~ 1.42 d
R_S	$0.82 R_{\odot}$	R_P	$1.16 R_J$
distancia	~ 200 pc	i	83.47°
V	12.8 mag	gravedad superf.	25 m/s ²

2. Observaciones y procesamiento de datos

A través del programa GN-2014-Q-47 obtuvimos 75 imágenes espectroscópicas (modo MOS) cubriendo un tránsito de Qatar-1b, con una resolución de $\simeq 2.8$ min. La Figura 1 muestra ubicación y tamaño de las ranuras usadas ($15''$ de ancho, para minimizar pérdidas de flujo), que incluyen a Qatar-1 y 6 estrellas seleccionadas para la espectroscopía diferencial (Bean et al. 2010). El procesamiento de los datos incluyó las correcciones habituales: resta de *overscan* y *bias*, normalización por campos planos de lámpara cuarzo-halógena, y calibración en longitud de onda usando un espectro de Cu-Ar. Los rayos cósmicos se eliminaron con la rutina de identificación Laplaciana *LACOS*, de P. van Dokkum¹. Los espectros se extrajeron con la tarea *apall*, con aberturas de 1, 2, 3, 5, 8, 10, y 15 veces el FWHM promedio ($\langle FWHM \rangle \simeq 2$ píxeles $\simeq 0.6$ arcsec). Esto resultó en 7 espectros de Qatar-1, cada uno con 6 posibles estrellas de referencia.

3. Análisis del tránsito observado

Se construyeron curvas de luz blanca con las distintas combinaciones Qatar-1/estrellas, integrando los espectros entre 550 y 750 nm. Las curvas de luz de referencia fueron creadas combinando las seis estrellas restantes del campo en todas las formas posibles. Ajustando el modelo de tránsito de Mandel & Agol (2002) con una ley cuadrática de oscurecimiento al limbo, se determinaron los parámetros físicos y orbitales de Qatar-1b. La estrella que minimizó el rms del

¹<http://www.astro.yale.edu/dokkum/lacosmic/>

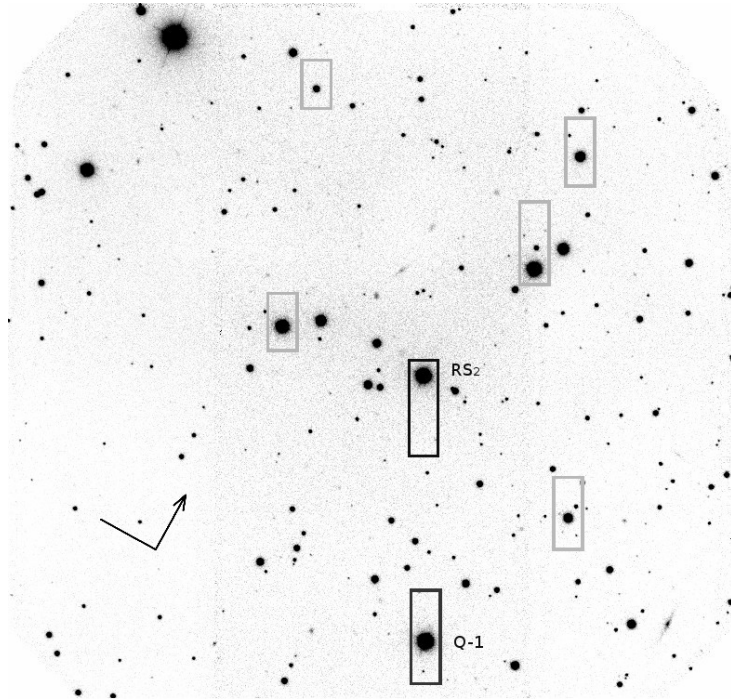


Figura 1: Preimagen del campo de Qatar-1b (5.5×5.5 arcmin), mostrando ubicación y tamaño de las ranuras usadas para la espectroscopía. Se señalan Qatar-1 y la estrella finalmente usada para espectroscopía diferencial (RS_2).

ajuste, con una abertura de $2 \times \langle FWHM \rangle$, está indicada en la Figura 1 (RS_2 en lo que sigue), mientras que la Tabla 2 lista los parámetros obtenidos, en buen acuerdo con Maciejewski et al. (2015).

Tabla 2: Resultados del ajuste de parámetros físicos y orbitales de Qatar-1b.

Parámetro	este trabajo	Maciejewski et al. (2015)
a/R_S	6.450 ± 0.039	$6.319^{+0.070}_{-0.068}$
$i [^\circ]$	84.43 ± 0.11	$84.26^{+0.17}_{-0.16}$
R_P/R_S	0.1552 ± 0.0007	$0.14591^{+0.00076}_{-0.00078}$
$T_0 - 2456092$ [JD]	0.93509 ± 0.00006	...

La Figura 2 muestra la curva diferencial de luz blanca de Qatar1 contra RS_2 . La desviación estándar de la curva de luz residual es de 0.02 %, cien veces menor que la profundidad del tránsito. Este primer resultado es adecuado para continuar con la construcción de curvas de luz en distintos rangos de longitud de onda, que permitan explorar la existencia de rasgos de absorción debidos a la atmósfera planetaria.

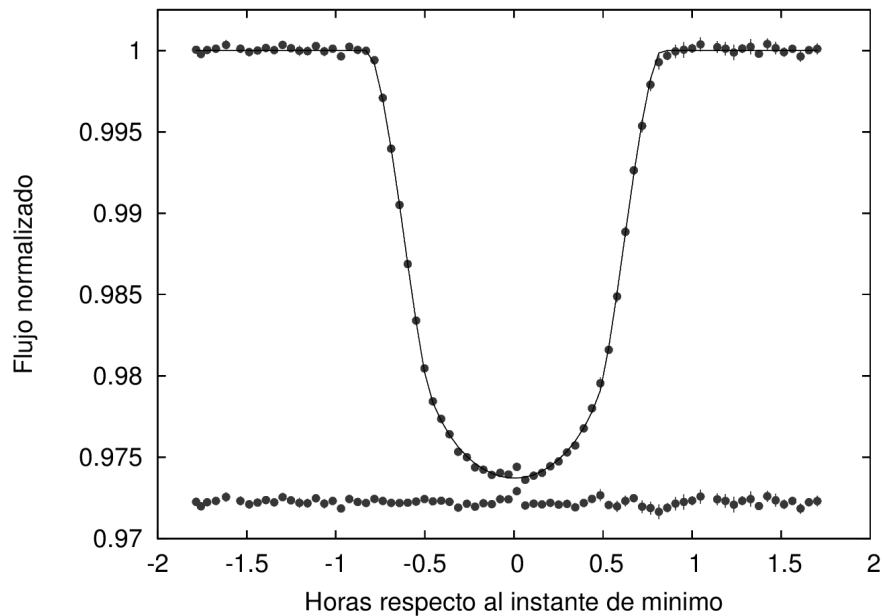


Figura 2: Curva diferencial de luz blanca; Qatar1/RS₂. Los datos se indican con puntos, y la curva continua es el ajuste (los residuos se muestran por debajo del tránsito, en la misma escala).

Agradecimientos

SAC agradece la hospitalidad del Stellar Astrophysics Centre (Aarhus, Dinamarca) donde se realizó parte de este trabajo.

Referencias

- Bean, J. L., Miller-Ricci Kempton, E., & Homeier, D. 2010, *Nature*, 468, 669
- Charbonneau, D., Brown, T. M., Noyes, R. W., & Gilliland, R. L. 2002, *ApJ*, 568, 377
- Deming, D., Wilkins, A., McCullough, P., et al. 2013, *ApJ*, 774, 95
- Maciejewski, G., Fernández, M., Aceituno, F. J., et al. 2015, *A&A*, 577, A109
- Mandel, K. & Agol, E. 2002, *ApJ*, 580, L171
- Redfield, S., Endl, M., Cochran, W. D., & Koesterke, L. 2008, *ApJ*, 673, L87
- Sing, D. K., Vidal-Madjar, A., Désert, J.-M., Lecavelier des Etangs, A., & Ballester, G. 2008, *ApJ*, 686, 658

Análisis de la cáscara molecular G126.1–0.8–14

Silvina Cichowolski¹, Serge Pineault², Roberto Gamen^{3,4}, E. Marcelo Arnal^{3,5},
Laura A. Suad⁵, Martín E. Ortega¹

¹ Instituto de Astronomía y Física del Espacio (CONICET-UBA)

² Département de physique, de génie physique et d'optique, Université Laval, Canada

³ Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (UNLP)

⁴ Instituto de Astrofísica La Plata (CONICET-UNLP)

⁵ Instituto Argentino de Radioastronomía (CCT-La Plata, CONICET)

Resumen

En este trabajo presentamos un estudio de la cáscara molecular denominada G126.1–0.8–14. En base a datos del FCRAO analizamos el gas molecular relacionado con la estructura. Por otro lado, dada la falta de estrellas tipo O catalogadas en la zona, para poder discernir el posible origen de G126.1–0.8–14 observamos con GEMINI el espectro de cuatro estrellas localizadas dentro de la cáscara, con el objetivo de obtener sus tipos espectrales y distancias. Para llevar a cabo estas observaciones hemos utilizado una *Poor-weather proposal*.

1. Introducción

Las estrellas de gran masa tienen un muy fuerte impacto en la dinámica y química de la Galaxia. Esto se debe a que estas estrellas emiten muchos fotones altamente energéticos, poseen grandes tasas de pérdida de masa y terminan sus vidas explotando como supernovas (SN), generando una fuerte interacción con el medio interestelar (MIE) que las rodea. Este impacto se manifiesta, por ejemplo, a través de la presencia de gas ionizado, cavidades y cáscaras en los alrededores de las estrellas. En este trabajo presentamos los resultados obtenidos a partir del análisis de la cáscara G126.1–0.8–14.

2. Observaciones

Las observaciones de CO $J = 1 - 0$ utilizadas fueron obtenidas del *Five College Radio Astronomical Observatory (FCRAO) CO Survey of the Outer Galaxy* (Heyer et al. 1998), cuya resolución angular es de $45''$.

Las imágenes espectrales fueron obtenidas con el espectrógrafo GMOS en su modo *long-slit*. Se empleó la red B600 con una longitud de onda central de 5525 \AA

y una ranura de 0.5 arcsec, lo que nos permitió obtener un rango espectral de $\sim 3780 - 6700 \text{ \AA}$ y una resolución $R \sim 1700$. Las imágenes fueron procesadas con las tareas del paquete GEMINI de IRAF.

3. Resultados

En la Figura 1 se muestra la distribución del gas molecular promediado en el rango de velocidades donde se observa G126.1–0.8–14. A partir del análisis de esta estructura obtuvimos que está a una distancia igual a $1440 \pm 260 \text{ pc}$, tiene un radio efectivo de 13 pc y una velocidad de expansión de $4.5 \pm 0.8 \text{ km s}^{-1}$. La masa molecular asociada a la estructura es de $(6.5 \pm 3.1) \times 10^4 M_{\odot}$ y su energía cinética igual a $(1.3 \pm 0.8) \times 10^{49} \text{ erg}$.

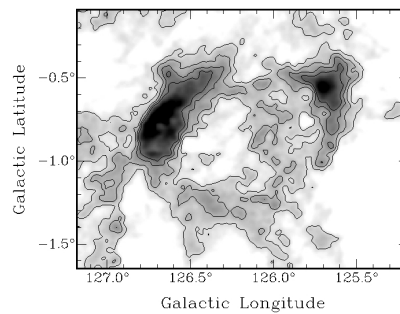


Figura 1: Distribución del gas molecular promediado entre -19.6 y -6.4 km s^{-1} . Los contornos corresponden a 1, 1.5, 2 y 2.5 K.

Teniendo en cuenta la acción que las estrellas de gran masa ejercen sobre el MIE que las rodea, para analizar el origen de G126.1–0.8–14 analizamos la población estelar presente en la zona, buscando información en bases de datos. Encontramos 11 estrellas de tipo espectral B, las cuales se listan en la Tabla 1. Debido a que las estrellas más brillantes tenían determinaciones de tipos espectrales tempranos pero las publicaciones eran muy viejas y, en algunos casos, faltaba información sobre la clase de luminosidad, decidimos obtener nuestros propios espectros aprovechando la posibilidad de utilizar Gemini en la modalidad de tiempo con malas condiciones meteorológicas (propuesta *poor-weather* GN-2012B-Q-134; PI: SC).

Los cuatro espectros obtenidos se muestran en la Figura 2. Los mismos fueron clasificados comparándolos con los estándares definidos en Sota et al. (2011), utilizando el código MGB (Maíz Apellániz et al., 2015). Nuestra clasificación espectral difiere de la publicada (ver Tabla 1), y agrega una determinación de la clase de luminosidad. En la Figura 2 (*izq.*) mostramos los cuatro espectros

Tabla 1: Estrellas candidatas a dar origen a la estructura.

ID	ALS	Long. Gal	Lat. Gal.	TE	refs.	Gemini TE	d (kpc)
BD+60 203		126°.194	-1°.126	B9 V	<i>a</i>		0.5
BD+60 200		126°.041	-0°.971	B5			0.9
TYC 4030-98-1		126°.1901	-0°.863	B3	<i>b</i>		1.0
BSD 8-1725		125°.74	-1°.08	B7			1.0
TYC 4030-352-1		125°.67	-1°.065	B5n	<i>e</i>		1.4
TYC 4034-902-1		126°.062	-0°.78	B8			1.6
HD 7720	6520	126°.108	-0°.812	B5 IIe	<i>c, d</i>		> 1.6
TYC 4034-344-1	6511	125°.873	-0°.78	B5		B1.5 Ve	> 1.8
EM* MWC 422	6498	125°.681	-0°.81	B0	<i>b</i>	B2 II e	> 2.4
EM* CDS 141	6549	126°.5	-0°.7153	B...		B0.5 IIIe	> 3.3
TYC 4030-1547-1	6555	126°.628	-1°.09	Bpe	<i>d</i>	B1 III e	> 3.7

a) Fehrenbach et al. (1961), *b*) Popper (1944), *c*) Hiltner (1956), *d*) Jaschek & Egret (1982), *e*) Seyfert & Popper (1941).

en el rango típico de clasificación. Allí se puede notar que ALS 6555 presenta las líneas $H\beta$, $H\gamma$ y $H\delta$ (muy marginal en este caso) en emisión, pero los otros tres espectros tienen $H\beta$ en absorción, menos intensa que las otras líneas de Balmer. Esto sugiere que la línea estaría ligeramente rellena por emisión y no fue reportada anteriormente. Estas sospechas se confirman cuando analizamos $H\alpha$. ALS 6555 presenta $H\alpha$ en emisión simple y muy intensa, confirmando su clasificación previa como Be (Jaschek & Egret 1982).

ALS 6549 presenta un perfil complejo de $H\alpha$; una emisión doble, cuyas componentes están separadas por unos 400 km s^{-1} y afectadas por una absorción. ALS 6511 presenta un perfil de $H\alpha$ llamado PCygni inverso. Es decir, la componente en emisión está desplazada hacia el azul. Una explicación podría ser que se trata de un sistema binario donde una componente tiene $H\alpha$ en emisión y la otra en absorción. Esta hipótesis parecería confirmarse ya que notamos que algunas líneas de absorción de He I, e.g. $\lambda 4471$, $\lambda 4921$, $\lambda 5015$, y $\lambda 5875$ presentan una componente más débil hacia el azul. Las velocidades radiales de la emisión y las absorciones no pueden ser comparadas, debido a su diferente origen, por lo que serán necesarias nuevas observaciones para determinar su naturaleza binaria. ALS 6498 presenta $H\alpha$ en emisión doble, montada a una absorción mucho más ancha. Las componentes en emisión están separadas por unos 150 km s^{-1} y sus intensidades son diferentes ($V/R > 1$).

Una vez obtenidos los tipos espectrales y distancias de las estrellas, concluimos que la energía inyectada por las seis estrellas localizadas a una distancia similar a la de G126.1-0.8-14 no es suficiente para crear la estructura observada, y que es

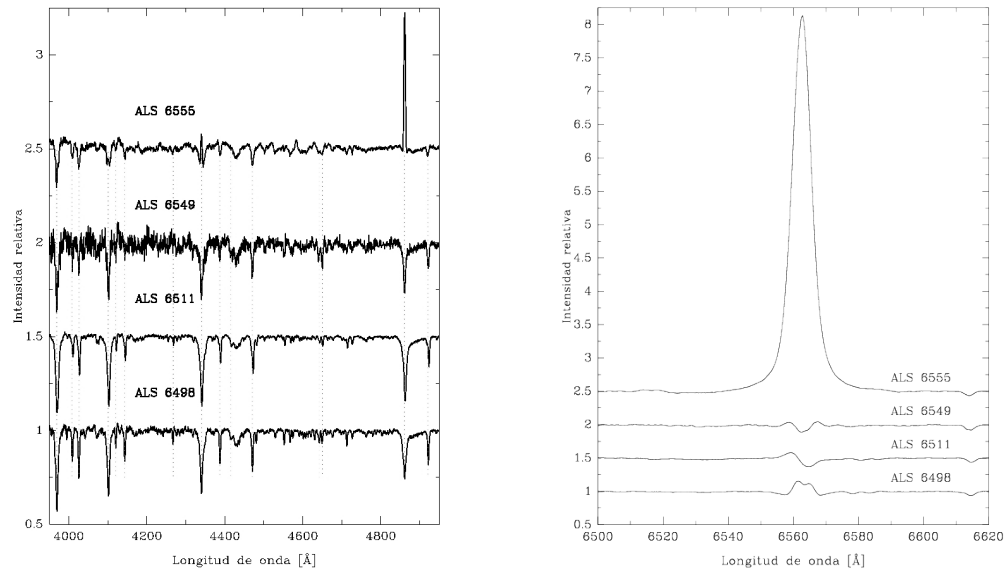


Figura 2: Espectros de las cuatro estrellas obtenidos con la propuesta *poor-weather* en Gemini Norte.

necesaria otra fuente de energía, posiblemente una explosión de SN. Por otro lado, concluimos que las cuatro estrellas observadas con Gemini deben ser reclasificadas como Be, y dado que sus distancias resultan mayores a los ~ 2 kpc, se constituyen en objetos astronómicos interesantes para estudiar poblaciones jóvenes en las “afueras” del segundo cuadrante de nuestra Galaxia.

Referencias

- Fehrenbach, C., Petit, M., Cruvellier, G., & Peyrin, Y. 1961, *Journal des Observateurs*, 44, 233
- Heyer M. H., Brunt C., Snell R. L., et al. 1994, *ApJS*, 115, 241
- Hiltner, W. A. 1956, *ApJS*, 2, 389
- Jaschek, M., & Egret, D. 1982, *IAUS Be Stars*, 98, 261
- Maíz Apellániz, J., Alfaro, E. J., Arias, J. I., et al. 2015, *Highlights of Spanish Astrophysics VIII*, 603
- Popper, D. M. 1944, *ApJ*, 100, 94
- Seyfert, C. K., & Popper, D. M. 1941, *ApJ*, 93, 461
- Sota A., Maíz Apellániz, J., Morrell, N. I. et al. 2011, *ApJS*, 193, 24

Espectroscopía IR de estrellas Be

Y. R. Cochetti^{1,2}, M. L. Arias^{1,2}, L. S. Cidale^{1,2}, A. Granada³

¹ Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (UNLP)

² Instituto de Astrofísica La Plata (CONICET-UNLP)

³ Geneva Observatory, University of Geneva, Suiza

Resumen

En este trabajo presentamos espectros infrarrojos de una muestra de estrellas Be galácticas obtenidos con GEMINI/NIRI y GEMINI/GNIRS bajo distintos programas de observación. Seleccionamos un grupo de objetos variables con el fin de seguir el comportamiento de las líneas de recombinación del hidrógeno en las bandas *K* y *L* del infrarrojo cercano. La forma e intensidad de los perfiles de estas líneas resultan una herramienta útil para derivar parámetros físicos de las envolturas, a través del análisis de cocientes de flujos de líneas.

1. Estrellas Be

Las estrellas Be se definen como estrellas B no supergigantes con altas velocidades de rotación, que muestran o han mostrado alguna vez la línea H α en emisión. En la región infrarroja están caracterizadas por la presencia de líneas de hidrógeno en emisión y excesos de flujo infrarrojo moderados. Actualmente se acepta que estos objetos presentan envolturas circunestelares compatibles con un disco en rotación kepleriana. La rotación rápida constituye sin duda uno de los factores fundamentales en la formación de estos discos, así como también podrían intervenir las pulsaciones y/o campos magnéticos. Sin embargo, no se ha podido llegar aún a definir un modelo consistente y abarcativo de la formación de los mismos. Esto se debe a factores tales como la compleja variabilidad espectroscópica y fotométrica de los objetos con fenómeno Be, así como a la falta de valores precisos de las velocidades de rotación.

2. Espectroscopía en distintas regiones espectrales

El estudio del fenómeno Be en diferentes rangos espectrales resulta particularmente valioso para diagnosticar la estructura del disco, ya que la emisión observada en distintas longitudes de onda emerge de distintas zonas del mismo. Mientras que las líneas del lejano UV de elementos altamente ionizados se forman en regiones

calientes cercanas a la fotosfera, las líneas en emisión de la región del óptico son afectadas por una extensa zona de la envoltura circunestelar.

En el infrarrojo cercano, el espectro de estas estrellas presenta numerosas líneas de las series de Pfund, Humphreys y Brackett, cuyos perfiles son sensibles a las propiedades físicas y a la estructura dinámica de sus regiones de formación, dada la escasa contribución fotosférica en estas regiones. De esta manera, dichas líneas son una herramienta valiosa de diagnóstico de las envolturas circunestelares.

3. Resultados preliminares

En la Tabla 1 se listan las observaciones de estrellas Be variables obtenidas con GEMINI/NIRI y GEMINI/GNIRS en modo *longslit* (ranura larga) con resolución $R \sim 1200$.

De acuerdo con datos obtenidos de la literatura, los objetos seleccionados presentan evidencia de variabilidad de largo período. Dicha variabilidad está estrechamente vinculada con los cambios en la estructura y condiciones físicas de la envoltura circunestelar. Es por ello que nos proponemos realizar un seguimiento a largo plazo de los objetos de la muestra. Presentamos aquí los espectros infrarrojos de las bandas *K* y *L* obtenidos hasta el momento. Se muestran junto a los espectros las posiciones de las líneas del hidrógeno.

Tabla 1: Estrellas observadas.

Estrella	TE	Instrumento	Fecha de observación
HD 20336	B2.5Ve	NIRI	25-11-2008
		GNIRS	01-01-2011
			24-12-2012
HD 23862	B8IVe	NIRI	20-08-2006
		GNIRS	02-12-2010
			12-12-2012
HD 164284	B2Ve	NIRI	25-08-2008
		GNIRS	15-09-2010
HD 191610	B2.5Ve	NIRI	25-08-2008
		GNIRS	15-09-2010
HD 217050	B3IVshell	NIRI	20-08-2006
			09-09-2008
		GNIRS	15-09-2012
HD 187811	B2.5Ve	GNIRS	15-09-2010

Los objetos de la lista no presentados en este trabajo serán incluidos en el trabajo a futuro.

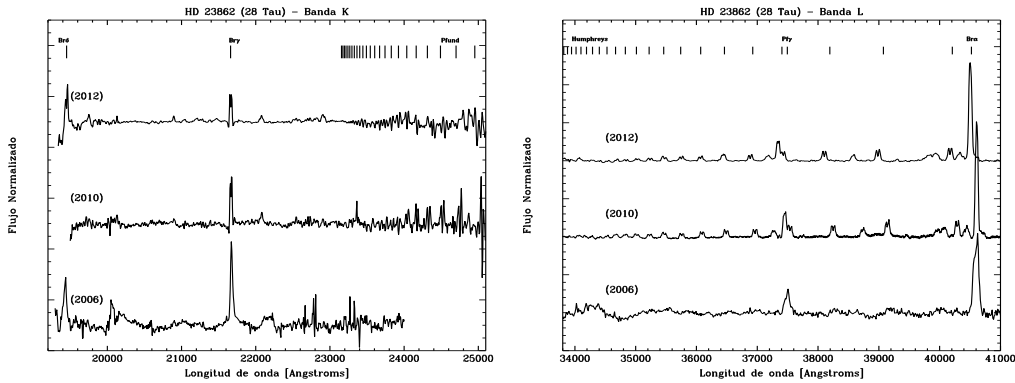


Figura 1: Espectros en banda *K* y *L* de HD 23862.

4. Trabajo a futuro

En una etapa posterior, planeamos incluir un mayor número de observaciones, junto a espectros de la banda *H*. Además, analizaremos la forma e intensidad de los perfiles de las líneas de hidrógeno en emisión y, en base a cocientes de flujos de líneas (Lenorzer et. al 2002, Mennickent et al. 2009, Granada et al. 2010) derivaremos propiedades de las envolturas circunestelares. Contamos además con observaciones interferométricas de dos de los objetos de la muestra.

El seguimiento temporal de la muestra de objetos en la región del infrarrojo, en conjunto con datos espectroscópicos e interferométricos en el rango óptico, nos

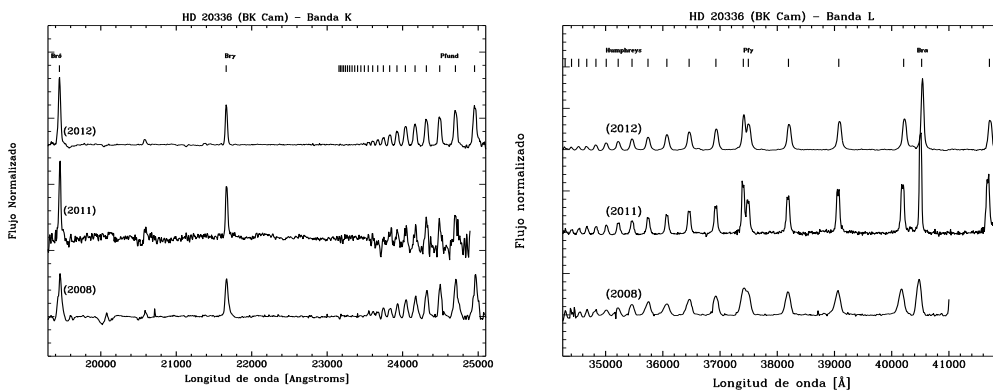


Figura 2: Espectros en banda *K* y *L* de HD 20336.

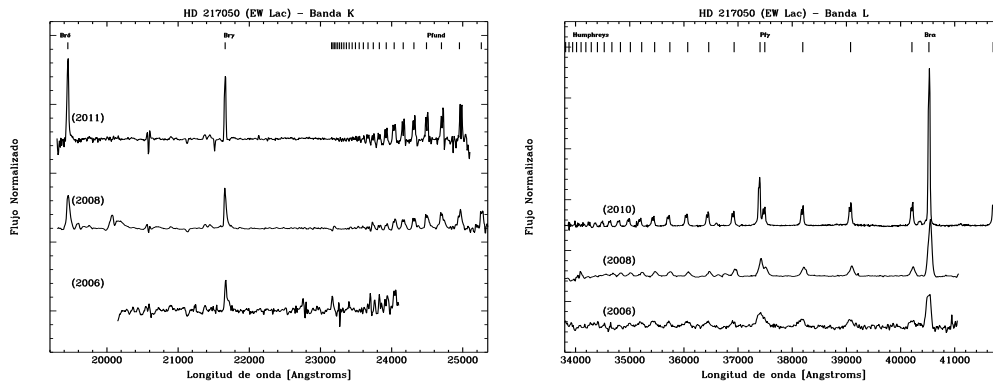


Figura 3: Espectros en banda *K* y *L* de HD 217050.

permitirá discutir acerca de la evolución de las envolturas circunestelares y poner restricciones a los diferentes mecanismos de formación.

Referencias

- Granada et al. 2010, AJ, 139, 1983
- Lenorzer et al. 2002, A&A, 386, L5
- Mennickent et al. 2009, PASP, 121, 125

Espectros GMOS de las compañeras visibles de los objetos compactos en los sistemas binarios SS 433 y LS 5039

Virginia A. Cúneo^{1,3}, Emiliano Jofré^{1,3}, Olga Pintado^{2,3}, Mercedes N. Gómez^{1,3}

¹ Observatorio Astronómico, Universidad Nacional de Córdoba

² Instituto Superior de Correlación Geológica (CONICET)

³ CONICET

Resumen

Con el objetivo de analizar las abundancias químicas de las compañeras ópticas en sistemas binarios que albergan agujeros negros, en esta contribución se presentan, como un avance preliminar del estudio que se planea realizar, los espectros obtenidos para los sistemas binarios con agujero negro SS 433 y con candidato a agujero negro LS 5039. Se expone, además, el método que se utilizará para el análisis de los mismos. Este estudio busca determinar las propiedades físicas de las compañeras visibles de sistemas binarios que albergan objetos compactos, muy poco conocidas al presente. Por otro lado, se pretende probar el escenario de contaminación atmosférica de las componentes visibles a través del análisis detallado de sus abundancias químicas.

1. Introducción

Los agujeros negros de masas estelares son una consecuencia del colapso gravitacional de las estrellas masivas durante las etapas finales de su evolución. Las reacciones nucleares en las estrellas masivas producen una serie de elementos químicos, siendo el hierro (Fe) el más pesado de ellos. Cuando la masa y la temperatura del núcleo que se contrae son lo suficientemente grandes, el núcleo colapsa rápidamente hasta alcanzar una alta densidad específica. Luego, el material nuclear se vuelve repulsivo generando la expansión de las capas externas de la estrella, resultando en una supernova, una gran explosión de materia y energía (ver, por ejemplo, Woosley & Heger 2002). Pareciera que al menos parte del material eyectado durante la supernova es capturado por la componente visible en el sistema binario, contaminando su atmósfera. En este escenario, las compañeras visibles de los agujeros negros de masas estelares deberían tener abundancias químicas diferentes a la solar y a aquellas de estrellas aisladas normales de los mismos tipos espectrales. Para investigar este escenario se decidió estudiar las compañeras visibles de agujeros negros de masas estelares de la Galaxia (Cúneo & Gómez 2012) con los telescopios Gemini. Recientemente se realizó un análisis análogo al

planteado en este trabajo para el sistema binario V4641 Sgr con espectros obtenidos con GMOS del telescopio Gemini Norte. Dicho análisis reveló una sobreabundancia de N, O, Mg y Si (Cúneo et al. 2014), atribuida a la contaminación de la atmósfera de la compañera visible por elementos pesados generados durante la explosión de supernova que dio origen al agujero negro. En la sección 2 se resumen las observaciones, mientras que 2.1 y 2.2 exponen los sistemas que se estudiarán y los avances preliminares realizados. En la sección 3 se plantea cómo se continuará el análisis y el objetivo general que se espera alcanzar.

2. Observación y reducción

La Figura 1 muestra los espectros de ranura larga obtenidos con el instrumento GMOS (*Gemini Multi-Object Spectrograph*) del telescopio Gemini Sur para las compañeras ópticas en los sistemas binarios LS 5039 (arriba) y SS 433 (abajo). Los espectros tienen una resolución intermedia $R \sim 3700$ y un rango de longitud de onda comprendido entre 4600–7500 Å. Para reducir los mismos se usó el paquete GMOS de Gemini 1.13.

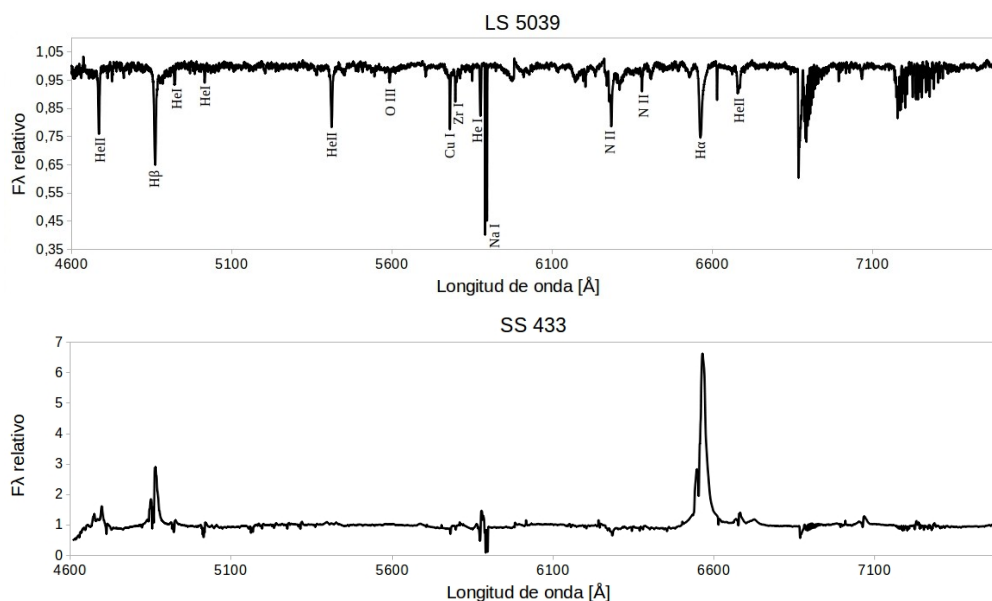


Figura 1: Rango espectral observado completo de la compañera óptica en el sistema binario LS 5039 (arriba) y SS 433 (abajo). Las regiones comprendidas entre 6750–6900 Å y 7200–7350 Å presentan absorciones telúricas.

2.1. LS 5039

LS 5039 (tipo espectral O6.5 V(f)); McSwain et al. 2004) es la contraparte óptica de la fuente de rayos-X RX J1826.2–1450. Para el análisis de la composición química de LS 5039 se calcularon espectros sintéticos utilizando los códigos SYNTHE y ATLAS9 junto con un modelo de atmósferas estelares de Kurucz (Kurucz 2005) con los parámetros $T_{\text{eff}} = 39000 \pm 1000$ K, $\log(g) = 3.85 \pm 0.10$ y $V_{\text{rot}} \sin(i) = 113 \pm 8$ km/s (Casares et al. 2005). El espectro obtenido se muestra en la Figura 2. El próximo paso consiste en modificar los valores de entrada para las abundancias, partiendo del espectro sintético, hasta lograr ajustar las líneas del espectro observado. En el panel superior de la Figura 1 se señalaron algunas de las líneas que se busca ajustar. McSwain et al. (2004) detectaron una sobreabundancia de N y una subabundancia de C en LS 5039. Estos resultados llaman la atención dado que generalmente las binarias emisoras de rayos-X masivas no muestran alteraciones de los productos del proceso CNO, lo que sugiere que el progenitor de la supernova podría eyectar gas del sistema completo (Wellstein & Langer 1999). Para complementar el análisis de la composición química de LS 5039, se estudiarán también las abundancias de C, N y O con el objetivo de compararlas con el trabajo de McSwain et al. (2004) y analizar el escenario que ellos proponen.

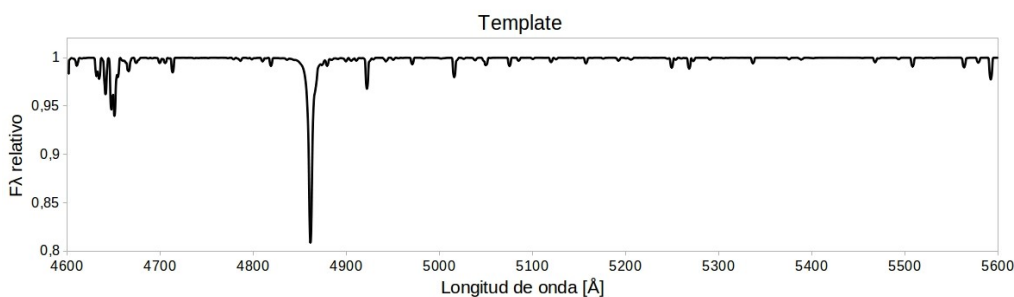


Figura 2: Fragmento del espectro sintético obtenido a partir de un modelo de atmósferas de Kurucz con los mismos parámetros que LS 5039.

2.2. SS 433

SS 433 es famoso por sus líneas de emisión generadas por gas ionizado del jet del objeto compacto. Además, Bowler (2010) muestra evidencia de la existencia de un disco de acreción mediante el análisis de $H\alpha$. La suma de estas componentes al espectro de la compañera óptica dificulta el análisis del espectro óptico de la fuente, donde las líneas de absorción son opacadas por las intensas líneas de emisión. Como consecuencia, la determinación de los parámetros del sistema ha

sido controversial (ver, por ejemplo, Kubota et al. 2010). Por estos motivos, se intentará separar las componentes antes de realizar el análisis de las abundancias químicas de la compañera óptica.

3. Comentarios generales

Empleando el espectro sintético mostrado en la Figura 2, se llevará a cabo el análisis de las abundancias químicas planteado en el sistema LS 5039. Por otro lado, se investigarán diferentes procedimientos que permitan la separación de la componente correspondiente a la compañera óptica del espectro del sistema SS 433, para luego realizar un análisis de abundancias análogo al expuesto. Este método ya fue aplicado exitosamente para el espectro del sistema V4641 Sgr, encontrando una sobreabundancia de N y Mg en comparación con las solares (Cúneo et al. 2014). El objetivo general de este proyecto es realizar un análisis similar al planteado en un número importante de sistemas con candidatos a agujeros negros. La aplicación de este tipo de estudios resulta interesante para caracterizar esta clase de objetos, estudiar propiedades de sus progenitores y los posibles escenarios de formación.

Referencias

- Bowler, M. G. 2010, *A&A*, 516, A24
- Casares, J., Ribó, M., Ribas, I. et al. 2005, *MNRAS*, 364, 899
- Cúneo, V. A. & Gómez, M. N. 2012, <http://www2.famaf.unc.edu.ar/institucional/>
- Cúneo, V. A., Jofré, E., Pintado, O. & Gómez, M. N. 2014, *BAAA*, 57, 145
- Kubota, K., Ueda, Y., Fabrika, S., et al. 2010, *ApJ*, 709, 1374
- Kurucz, R. L. 2005, *Memorie della Societa Astronomica Italiana*
- McSwain, M. V., Gies, D. R., Huang, W. et al. 2004, *ApJ*, 600, 927
- Wellstein, S. & Langer, N. 1999, *A&A*, 350, 148
- Woosley, S. E. & Heger, A. 2002, *Reviews of Modern Physics*, 74, 1015

Sistemas de cúmulos globulares: pistas sobre el origen de las galaxias lenticulares

Carlos G. Escudero^{1,2}, Favio R. Faifer^{1,2}, Lilia P. Bassino^{1,2}

¹ Instituto de Astrofísica La Plata (CONICET-UNLP)

² Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (UNLP)

Resumen

Utilizando imágenes ópticas Gemini/GMOS, presentamos los resultados fotométricos preliminares obtenidos del estudio de diferentes sistemas de cúmulos globulares en galaxias lenticulares, las cuales se encuentran ubicadas en ambientes de baja y/o relativamente baja densidad.

1. Introducción

La mayoría de las teorías propuestas para explicar el origen de las galaxias lenticulares (S0) se basan en los resultados de diferentes procesos dinámicos sobre galaxias espirales normales, como la interacción con el medio intracúmulo, el *ram-pressure stripping*, el hostigamiento galáctico, etc. La presencia de S0s en ambientes de baja densidad difícilmente pueda justificarse únicamente por estos mecanismos. Debido a la estrecha relación entre las galaxias y sus sistemas de cúmulos globulares (CGs), estos últimos nos permiten comparar las predicciones de los diferentes modelos de formación de galaxias con datos observacionales. En este trabajo presentamos los primeros resultados del estudio fotométrico de los sistemas de CGs asociados a las galaxias lenticulares NGC 2549, NGC 2612, NGC 2880, NGC 3414, NGC 5838 y NGC 6861. Para ello, hemos utilizado imágenes profundas Gemini/GMOS en los filtros g' , r' , i' .

2. Muestra de galaxias y diagramas color-magnitud

La muestra se compone de 6 galaxias de tipo temprano ordenadas en forma creciente según su luminosidad, en el rango $M_V = -19.44$ a -21.27 . La Tabla 1 proporciona información relacionada con las S0 mencionadas anteriormente.

A la distancia que se encuentran dichas galaxias, la mayoría de los CGs se espera que sean objetos no resueltos. Por ello, la clasificación y selección de los candidatos a CGs fue realizada en base a los colores $(g' - i')$, $(g' - r')$, $(r' - i')$, y teniendo en cuenta el índice de estelaridad de SExtractor. A su vez, cada muestra se cortó

Tabla 1: Galaxias estudiadas. Coordenadas de la base de datos de objetos extragalácticos de la NASA (NED), magnitudes V del catálogo RC3 y módulo de distancia. Última columna, número de candidatos a CGs para cada galaxia obtenidos en este trabajo.

Galaxia	α_{J2000} (h:m:s)	δ_{J2000} (°:′:″)	M_V (mag)	$(m - M)_0$ (mag)	N_{CG}
NGC 2549	08:18:58.35	+57:48:10.97	-19.44	30.51	197
NGC 2880	09:29:34.55	+62:29:25.99	-20.17	31.70	394
NGC 2612	08:33:50.10	-13:10:28.30	-20.20	31.80	104
NGC 3414	10:51:16.20	+27:58:30.36	-21.11	32.01	538
NGC 5838	15:05:26.26	+02:05:57.60	-21.24	32.01	538
NGC 6861	20:07:19.48	-48:22:12.80	-21.27	32.24	1246

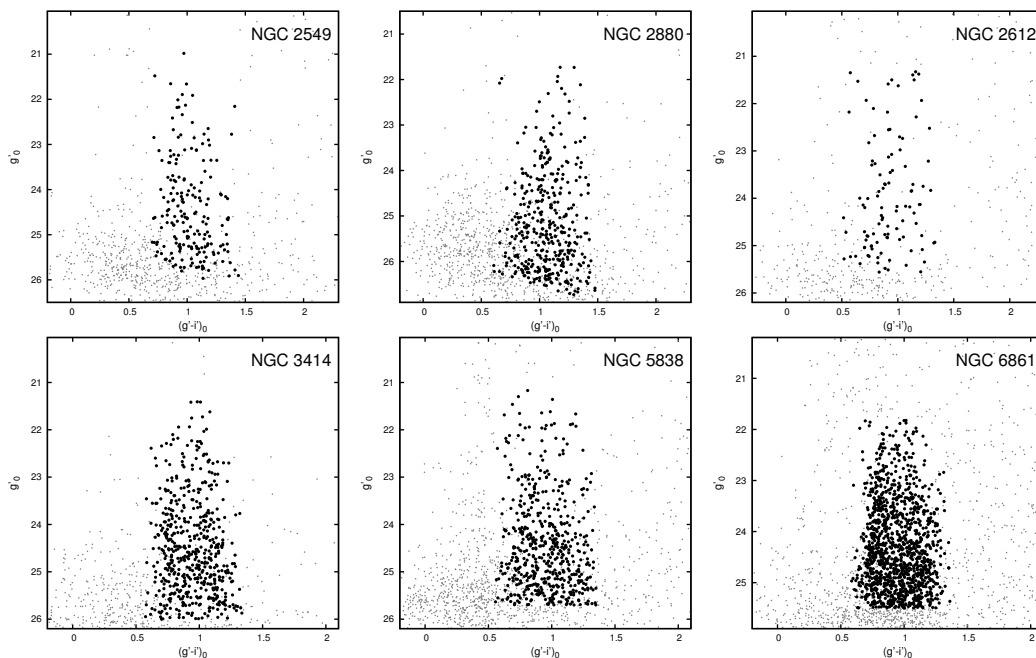


Figura 1: Diagramas color-magnitud correspondientes a las galaxias mencionadas en la Tabla 1.

en un rango de magnitudes, considerando el extremo débil definido por el 80% de la completitud, y el extremo brillante elegido de manera de incluir a todos los candidatos a CGs con magnitud absoluta $M_V > -11$ (Mieske et al. 2006). Este límite se adoptó para separar CGs “normales” de los candidatos a enanas ultracompactas (UCD).

La Figura 1 muestra los diagramas color-magnitud de cada sistema de CGs (puntos

negros), mientras que la Figura 2 presenta los histogramas de colores ($g' - i'$). Estos últimos fueron construidos mediante el conteo de objetos en intervalos de 0.045 mag. Asimismo, ajustamos distribuciones Gaussianas a las subpoblaciones de CGs detectadas utilizando el software RMIX.

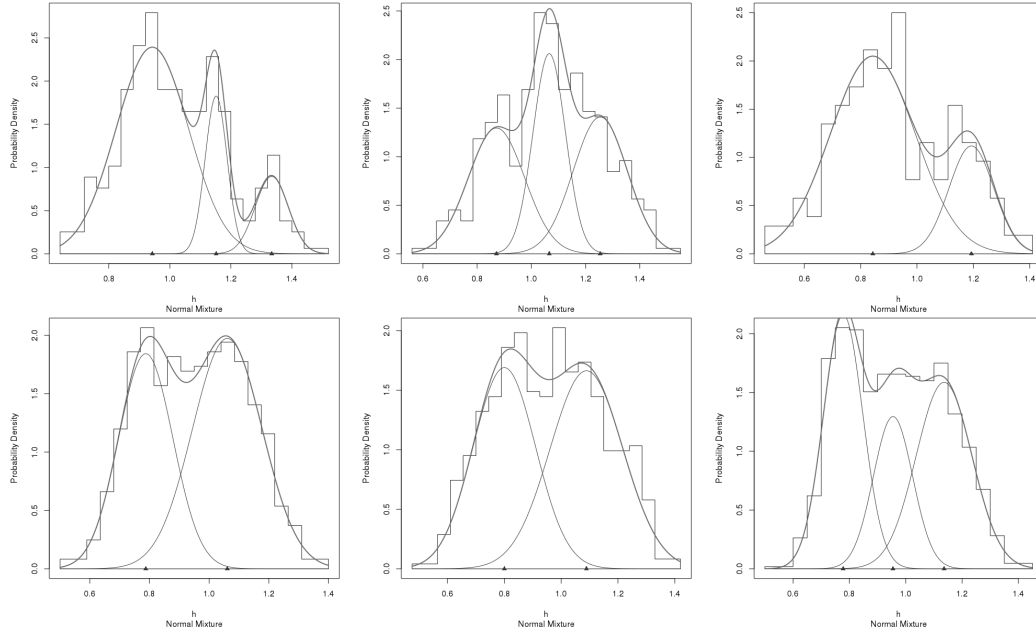


Figura 2: De izquierda a derecha y de arriba hacia abajo se muestran los histogramas de colores ($g' - i'$) para las galaxias NGC 2549, NGC 2880, NGC 2612, NGC 3414, NGC 5838 y NGC 6861, respectivamente. Las líneas continuas representan las distribuciones Gaussianas ajustadas.

3. Distribución de colores

La Figura 2 muestra los histogramas de colores observados de los sistemas de CGs. Los mismos, en mayor o menor medida, revelan distribuciones bimodales, mostrando en algunos casos un aspecto trimodal. Esta bimodalidad observada indica la presencia de, al menos, dos subpoblaciones de CGs (usualmente referidos como “azules” y “rojos”), los cuales presentan diferentes características, tales como metalicidad y distribución espacial, entre otras. Para las galaxias NGC 2612, NGC 3414 y NGC 5838, se observan dos picos claros que corresponden a las subpoblaciones azul y roja. Además, NGC 2549 presenta una posible tercera subpoblación agrupada en torno a $(g' - i')_0 \sim 1.3$. En el caso de las galaxias NGC 2880 y NGC 6861, parecen mostrar una tercera subpoblación alrededor del color $(g' - i')_0 \sim 1.0$ y

$(g' - i')_0 \sim 0.95$, respectivamente. Estas subpoblaciones con colores intermedios, pueden ser el resultado de eventos de interacción/fusión en el pasado. En tal caso, dichos fenómenos podrían ser los responsables de la presencia de las mencionadas subpoblaciones y de la propia morfología de la galaxia.

4. Resultados preliminares

Varios de los sistemas de CGs presentados en este trabajo, muestran distribuciones de color bimodales típicas de galaxias de tipo temprano. Sin embargo, en los casos de NGC 2880 y NGC 6861, las mismas exhiben distribuciones de color trimodales en sus sistemas. Esta característica, también observada en otras galaxias (Blom et al. 2012, Caso et al. 2013), es interpretada como evidencia de una fusión o interacción pasada. El siguiente paso en este estudio es estimar y substraer la contaminación de los histogramas, y buscar indicios de la presencia de las distintas subpoblaciones en base al análisis de la distribución espacial en cada caso. Posteriormente será necesario confirmar los resultados mediante análisis espectroscópico y/o combinando fotometría IR y óptica.

Referencias

- Blom, C., Spitler, L., Forbes, D., 2012, MNRAS, 420, 37
Caso, J., Richtler, T., Bassino, L., Salinas, R., Lane, R., Romanowsky, A., 2013, A&A, 555, 56
Mieske, S., Hilker, M., Infante, L., Jordán, A., 2006, AJ, 131, 2442

Espectros en el infrarrojo medio de tres estrellas con discos *debris*

García, L.¹, Gómez, M.¹

¹Observatorio Astronómico de Córdoba (UNC)

Resumen

En este trabajo se presenta un modelado inicial de 3 espectros en el infrarrojo medio de estrellas asociadas con discos *debris*. Los espectros fueron obtenidos con el instrumento TReCS/Gemini. Para el modelado, se define un coeficiente de eficiencia de absorción total que describe la capacidad del polvo en los discos para re-procesar la radiación estelar. De esta manera, esperamos estimar cuantitativamente la composición química, tamaño y estado evolutivo del polvo en los discos *debris* estudiados. Este análisis inicial muestra que la forma de los espectros estaría dominada por la presencia de compuestos de tipo amorfo, pero que es necesario considerar cantidades menores de compuestos de tipo cristalino para lograr un mejor ajuste.

1. Introducción

Los discos de tipo *debris* son discos circunestelares asociados a estrellas de secuencia principal. Están poblados por partículas de polvo y cuerpos similares a los del Cinturón de Kuiper (Backman & Paresce, 1993). En general, este tipo de discos se detectan mediante excesos en emisión producidos por el polvo en el infrarrojo medio y lejano, y la mayor parte de la información que se tiene sobre ellos proviene de modelar tales excesos. Usualmente, los modelos suponen que el polvo emite como un cuerpo negro. Sin embargo, la capacidad para absorber, dispersar, y reemitir la radiación de la estrella central, dependen de su tamaño y composición química, los cuales vienen descritos por los coeficientes de eficiencias de absorción (Q_{abs}), y dispersión (Q_{sca}). Debido a la región del espectro donde se produce la emisión del polvo, los espectros en el infrarrojo medio proveen una herramienta apropiada para analizar la composición, tamaño y estado evolutivo de las partículas.

En este trabajo, presentamos resultados iniciales obtenidos con un código que está en desarrollo y que nos permite modelar los espectros en el infrarrojo medio con el objetivo de identificar qué tipo de compuestos producirían las características observadas en ellos, y en que proporción. De esta manera, esperamos poder estimar de manera cuantitativa el tamaño y la composición química de las partículas de polvo en los discos estudiados.

2. Observaciones y modelo

En el año 2010, con el instrumento TReCS de Gemini Sur, obtuvimos espectros de tres estrellas con discos *debris*: HD 191089 ($d = 52.1$ pc, edad = 1.7×10^9 años), HD 197481 ($d = 9.9$ pc, edad = 0.01×10^9 años) y HD 202917 ($d = 42.9$ pc, edad = 0.03×10^9 años). Los espectros fueron tomados alrededor de $\lambda = 10 \mu\text{m}$ (banda N), con la red de 11 l/mm y la rendija de $0.35''$ ($R \sim 100$, programa GS-2010B-Q-35). Las observaciones se adquirieron mediante la técnica de *Chop & Nod* y se procesaron mediante las rutinas estándares provistas por Gemini. Cada espectro fue corregido por absorciones telúricas y se le extrajo el continuo estelar.

Para reproducir las características observadas en los espectros, se construyó un modelo que describe la capacidad del polvo para reprocesar la radiación estelar mediante un coeficiente de eficiencia de absorción total: $Q_{\text{abs}}^{\text{total}}(\lambda)$. El mismo se calcula como una combinación de las eficiencias de absorción de compuestos individuales ($Q_{\text{abs}}^i(\lambda)$), de la siguiente manera:

$$Q_{\text{abs}}^{\text{total}}(\lambda) = \sum_{i=1}^6 a_i Q_{\text{abs}}^i(\lambda), \quad (1)$$

donde a_i son coeficientes de peso a determinar y se relacionan con la abundancia relativa de cada compuesto. Para esta versión inicial se utilizaron 4 compuestos: Enstatita, Forsterita, Piroxeno y Olivina. Para la Olivina y el Piroxeno se consideraron 2 radios de partículas ($D = 0.1, 1.5 \mu\text{m}$) y para la Enstatita y Forsterita solo uno ($D = 1.0 \mu\text{m}$). Para el cálculo de los $Q_{\text{abs}}^i(\lambda)$ se supuso que las partículas son esféricas y homogéneas. Las constantes ópticas utilizadas en los cálculos para la Olivina y el Piroxeno fueron tomadas del trabajo de Dorschner et al. (1995) y de los trabajos de Chihara et al. (2002) y Koike et al. (2003) para la Enstatita y la Forsterita, respectivamente.

Para el procedimiento de modelado se redactó una rutina en lenguaje FORTRAN 77 que permite determinar los valores óptimos de los coeficientes a_i que producen el mejor ajuste al espectro. El programa utiliza el test del χ^2 y el algoritmo de Levenberg-Marquardt (Press et al., 1992) para minimizar su valor. El parámetro χ^2 se define de la siguiente manera:

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^n \frac{(E_{\text{obs}}(\lambda_j) - E_{\text{calc}}(\lambda_j; a_i))^2}{\sigma_j^2}, \quad (2)$$

siendo E_{obs} el flujo del espectro observado, y E_{calc} el respectivo valor para el espectro calculado en una misma longitud de onda λ_j . El parámetro σ_j corresponde al error del espectro observado en λ_j .

3. Discusión de los resultados

Se aplicó el modelo a los espectros de HD 191089, HD 197481 y HD 202917, y también se analizó un espectro de β Pictoris ($d = 19.3$ pc, edad = 0.01×10^9 años) obtenido con TReCS en la banda N por Li et al. (2012). En la Tabla 1 se listan los coeficientes resultantes luego del procedimiento de modelado. La Figura 1 muestra los espectros (con el continuo estelar ya restado) y sus respectivos modelos.

Tabla 1: Valores de los coeficientes a_i resultantes del modelado.

Estrella	Enstatita		Olivina		Piroxeno	
	$1.0\mu\text{m}$	$1.0\mu\text{m}$	$0.1\mu\text{m}$	$1.5\mu\text{m}$	$0.1\mu\text{m}$	$1.5\mu\text{m}$
β Pictoris	0.01	0.07	0.00	0.00	0.00	0.92
HD 191089	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.99
HD 197481	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00	0.60
HD 202917	0.00	0.00	0.00	0.00	0.73	0.27

Los valores de los coeficientes listados en la Tabla 1 muestran que la forma de los espectros de β Pictoris, HD 191089 y HD 197481 estaría dominada por el perfil del Piroxeno en partículas con un radio de $\sim 1.5\mu\text{m}$. Sin embargo, es necesario considerar la presencia de cantidades pequeñas de compuestos de tipo cristalino (Enstatita y Forsterita) para obtener un mejor ajuste. Solo en el caso de HD 202917 se introdujeron partículas de Piroxeno con radios de $0.1\mu\text{m}$ sin la presencia de compuestos cristalinos. El espectro de β Pictoris fue analizado por Li et al. (2012). De manera similar a lo encontrado por estos autores, nuestro análisis muestra que la forma del espectro estaría dada principalmente por partículas con tamaños $> 1.5\mu\text{m}$ junto con cantidades menores de partículas de radio $\sim 1\mu\text{m}$ compuestas de Forsterita.

El predominio de compuestos de tipo amorfo (Piroxeno y Olivina) en β Pictoris, HD 197481 y HD 202917, con una contribución menor de los compuestos de tipo cristalino (Forsterita y Enstatita), podría ser indicio de que el material de sus discos aún no tiene un alto grado de procesamiento. Hay que mencionar que estas 3 estrellas son relativamente jóvenes (edades $\sim 10^7$ años) cuando se las compara con las edades típicas ($\sim 10^8 - 10^9$ años) de estrellas con discos *debris*.

A futuro, esperamos continuar mejorando el código y el modelo con la posibilidad de considerar una mayor variedad de tamaños de partículas y de compuestos. Un factor importante para mejorar la calidad de los ajustes es la disponibilidad de constantes ópticas medidas para la mayor cantidad de longitudes de onda posibles en el intervalo espectral considerado.

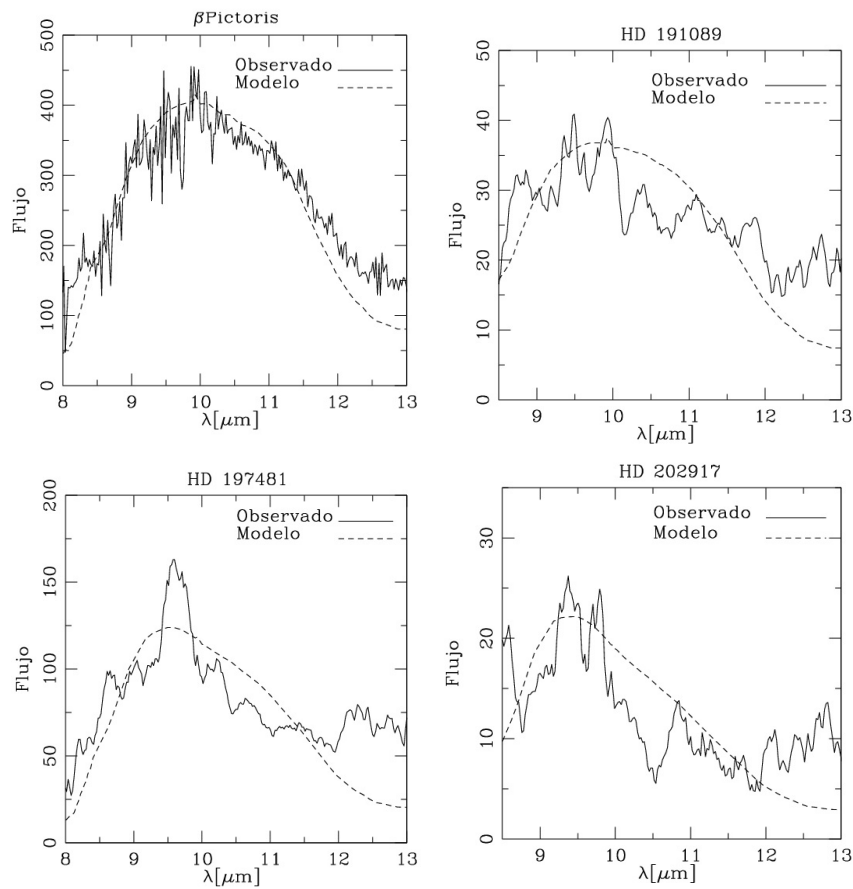


Figura 1: Espectros alrededor de $\lambda = 10 \mu\text{m}$ de las estrellas consideradas con sus respectivos continuos estelares descontados. El espectro de β Pictoris corresponde al trabajo de Li et al. (2012).

Referencias

- Backman D. E., Paresce F., 1993, in Levy E. H., Lunine J. I., eds, Protostars and Planets III Main-sequence stars with circumstellar solid material - The VEGA phenomenon. pp 1253–1304
- Chihara H., et al., 2002, A&A, 391, 267
- Dorschner J., et al., 1995, A&A, 300, 503
- Koike C., et al., 2003, A&A, 399, 1101
- Li D., Telesco C. M., Wright C. M., 2012, ApJ, 759, 81
- Press W. H., et al., 1992, Numerical recipes in FORTRAN. The art of scientific computing. Cambridge: University Press, 1992, 2nd ed.

El aporte del Observatorio Gemini en el aula

Rafael Girola^{1,2}, Marta Santos³, Norma Racchiusa³, Jorge Escudero³

¹ Planetario Galileo Galilei

² ISFD Nro. 34 H. Medici

³ EnDiAs

Resumen

Teniendo en cuenta la importancia del proyecto Gemini para la Ciencia argentina y para el área de Divulgación Educativa, los futuros profesores podrán, a través de sus investigaciones, no solo conocer el alcance del proyecto, sino también incentivar la investigación apoyada en las TIC, y preparar a sus alumnos para un mañana con avances tecnológicos permanentes.

El avance de la Tecnología nos permite, abordar el conocimiento desde otro enfoque, y se transformó en una nueva herramienta dentro de la enseñanza - aprendizaje, para la cual es necesario elaborar nuevas estrategias didácticas. Nos tenemos que plantear, qué cosas nos permite esta nueva herramienta, que llamamos TICs (Tecnología de la Información y de la Comunicación) Nos da la posibilidad del uso en la enseñanza, y nos desafía como “educadores”, porque no solo se necesita un docente preparado en el uso de tecnologías como estrategia didáctica, se deberá formar estudiantes con nuevas características, y desarrollar las capacidades de inferir, seleccionar, secuenciar, relacionar, entrenar el pensamiento crítico, integrar imágenes y textos.

Adquirir esta destreza en el manejo de las TICs, hará más significativo el contenido, para lo cual es necesaria la permanente revisión de la praxis docente. Como nuevo instrumento, cobra significado cuando lo relacionamos con los Objetivos, los Contenidos, las Actividades y las nuevas estrategias de Evaluación.

Si nos planteamos qué nos permite lograr el uso de las TICs relacionadas con la Enseñanza, tenemos que tomar conciencia, que a través de ellas se puede trascender las barreras físicas. Esto significa que a través de la *web*, accedemos a un importante caudal de información, al cual sería imposible acceder de otra manera. Esto nos hace reflexionar sobre la necesidad de construir un pensamiento crítico, ya que no todo lo que está en la *web* es veraz; por eso la necesidad de evaluar en forma permanente esta interacción y la información que tienen los alumnos en relación a objetivos y contenidos.

La interacción no solo se produce con el contenido, sino también con el docente, compañeros de aula, grupos que trabajan en otro lugar, otras instituciones. Esto hace que se realice una construcción grupal.

Es por todo eso que decimos que el uso de las TICs modifica a docentes, alumnos e Instituciones. Tengamos en cuenta que “las TICs, son un conjunto de procesos y productos derivados de las nuevas herramientas (*hardware* y *software*) que son soporte de la información, y canales de comunicación, que tienen que ver con procesamientos, transmisión, digitalización de la información en forma rápida” (Edutec, julio 2009 España).

Las TICs permiten nuevos entornos comunicativos, que favorecen nuevas experiencias formativas, y una gran diferencia pedagógica: una educación más centrada en el alumno. Como dijimos que trasciende el ámbito témporo-espacial, cualquier alumno, en cualquier momento, puede consultar con el docente o con otros pares y despejar un conflicto cognitivo, que de otra forma paralizaría el proceso de aprendizaje. Para ello se necesita contextualizar los contenidos, esto significa, que el docente tiene que planificar y organizar situaciones de aprendizaje.

Esta necesidad nos llevó a plantearnos que: “El aniversario de los 15 años de Ciencia con Gemini en Argentina”, nos permitía como “eje estructurante”, usarlo como integrador de contenidos, para abordar, por ejemplo estos temas: la naturaleza de las estrellas; evolución estelar; el diagrama HR; analizar la luz de las estrellas; telescopios y espectrógrafos; Vía Láctea; galaxias. Estos contenidos pertenecen a la materia: Astronomía II del Profesorado de Física, del I.S.F.D. N° 34, Profesor Héctor J. Médici, Ciudad Jardín, El Palomar, Bs. As.

Estrategia: Se dividen los alumnos en dos grupos, para realizar dos investigaciones sobre el Observatorio Gemini Sur.

1. Aporte de Gemini Sur en la ciencia argentina. Observatorio Gemini, características, historia y tecnología. Proyectos presentados por investigadores argentinos, vigencia de los mismos. (*Power-Point*)
2. Tareas de divulgación educativa que realiza Gemini Sur. Programa. Temática de la divulgación. Destinatarios. Responsables de la ejecución. (Póster)

La evaluación es participativa, ya que la presentación de los trabajos se realizará ante sus compañeros y el docente.

Tengamos siempre en cuenta que para trascender la barrera física, y alcanzar el ciber espacio, como dicen algunos autores, es necesario tener INTERNET. Aquellas instituciones, que no tengan acceso, estarían en un nuevo “nicho de exclusión”. Es competencia de los gobiernos garantizar la equidad y la igualdad de oportunidades.

Los futuros profesores, realizando sus propias investigaciones apoyados en las TICs, no solo podrán conocer la importancia del Proyecto Gemini para la ciencia argentina, y valorar su área de divulgación educativa, sino también incentivar la investigación en sus alumnos y prepararlos para un mañana con avances tecnológicos, que los obligará a la formación permanente.

Estudio estructural de la región central de NGC 253

G. I. Günthardt¹, M. P. Agüero^{1,2}, J. A. Camperi¹, R. J. Díaz³, P. L. Gomez⁴,
G. Bosch⁵, M. Schirmer⁶

¹ Observatorio Astronómico, Universidad Nacional de Córdoba

² CONICET

³ ICATE, CONICET

⁴ GEMINI Observatory

⁵ Instituto de Astrofísica de La Plata (CONICET-UNLP)

⁶ Universität Bonn, Alemania

Resumen

Presentamos un estudio de las estructuras centrales de NGC 253, la galaxia gigante más cercana que alberga un núcleo del tipo *starburst*. Utilizamos imágenes de T-ReCS y Flamingos 2 (F2) para caracterizar las estructuras en bandas menos afectadas por el polvo y con resolución espacial del orden de medio segundo de arco. Discutimos el rol del objeto candidato a núcleo de la galaxia estudiado espectroscópicamente por Camperi et al. y presentado en esta reunión.

1. Introducción

La región central de NGC 253 presenta un escenario complejo en el cual la formación estelar, la extinción por el polvo y los *outflows* o vientos galácticos han obstaculizado la determinación del núcleo real de la galaxia. Más aún, la existencia de un agujero negro supermasivo en el núcleo de la galaxia *starburst* más cercana aún no ha sido confirmada. Uno de los núcleos propuestos por Müller-Sánchez et al. (2010) es el coincidente con la radiofuente nuclear más intensa, TH2 (Turner & Ho 1985). Fernández-Ontiveros et al. (2009) sugieren que, considerando que TH2 no posee contraparte óptica, infrarroja o en rayos X, esta región albergaría un agujero negro inactivo de características similares al de la Vía Láctea. Por nuestra parte, hemos realizado estudios a partir de imágenes directas, así como de espectroscopía infrarroja, que sugieren que el núcleo más probable de NGC 253 sería el asociado a la fuente más intensa en el infrarrojo cercano al cual hemos denominado IRC (*Infrared Core*), o TH7.

2. Observaciones

Se obtuvieron imágenes en infrarrojo cercano (NIR), en las bandas Y , J , H , Ks , con el instrumento Flamingos 2 (F2), Telescopio Gemini Sur de 8.1 m. Las observaciones fueron realizadas el 24 de junio de 2013, con un tiempo total de exposición de 18 segundos por filtro. Además hemos analizado imágenes obtenidas con Gemini el 11 de agosto de 2011, como parte de un “programa de legado” del instrumento T-ReCS, en el rango del infrarrojo medio (MIR), en los filtros Qa ($18.3 \mu\text{m}$), Si-2 ($8.7 \mu\text{m}$), [NeII] ($12.8 \mu\text{m}$) y [NeII] (continuo en $13.1 \mu\text{m}$), totalizando dos horas de tiempo de observación con *overheads* incluidos.

3. Resultados

En la Figura 1 (arriba) se muestra la imagen en banda H de la región central, en la cual se puede ver la estructura de la barra, bulbo y disco circunnuclear. En el *zoom* de la Figura 1 (abajo) se marcaron en la imagen en banda Ks las posiciones de la radiofuente más intensa de NGC 253, TH2, sugerida como principal candidato a núcleo de NGC 253 y el pico o máximo de emisión en el infrarrojo cercano (IRC). La estructura circunnuclear de NGC 253 en el rango MIR se presenta en la Figura 1 (*der.*), la cual se obtuvo a partir de la técnica de *unsharp masking*, aplicándola a la suma de los filtros de T-ReCS listados antes. Una estructura en forma de arco, que rodea al IRC, es visible en [NeII] (continuo sustraído) y se hace evidente en la Figura 1 (*der.*; ver *zoom*). Empero, la mencionada estructura no se ve en banda Qa . Esta estructura no puede ser debida al polvo caliente ya que no está presente en la emisión en $13.1 \mu\text{m}$, por lo que podemos vincularla con certeza a las emisiones de gas ionizado. También hemos obtenido mapas de color en NIR. La estructura más distintiva en ellos es una de tipo disco, probablemente asociada al *starburst*. El origen del filamento más extenso se encuentra cerca del centro de simetría de dicha estructura. Al *knot* asociado a IRC lo hemos denominado A1-1, siendo una fuente muy compacta con FWHM de $\sim 0.2''$ ($\sim 3.4 \text{ pc}$) en la imagen Qa . A $\sim 7 \text{ pc}$ SO de IRC se puede ver una subestructura (A1-2) la cual se encuentra al final del arco o *shell* mencionado. Hemos llamado A1 al complejo A1-1 + A1-2.

En la parte izquierda de la Figura 2 se muestran mapas de color donde se destacan estructuras como barra, brazos y *starburst* nuclear. Los rasgos más notorios son los conocidos filamentos de polvo, los cuales se apartan de la región nuclear en direcciones radiales.

Las imágenes en banda Ks son las menos afectadas por el polvo y siendo que este rango espectral está dominado por la contribución de la población estelar más vieja, resulta apropiado para trazar la masa. Por ende, hemos estimado el ángulo

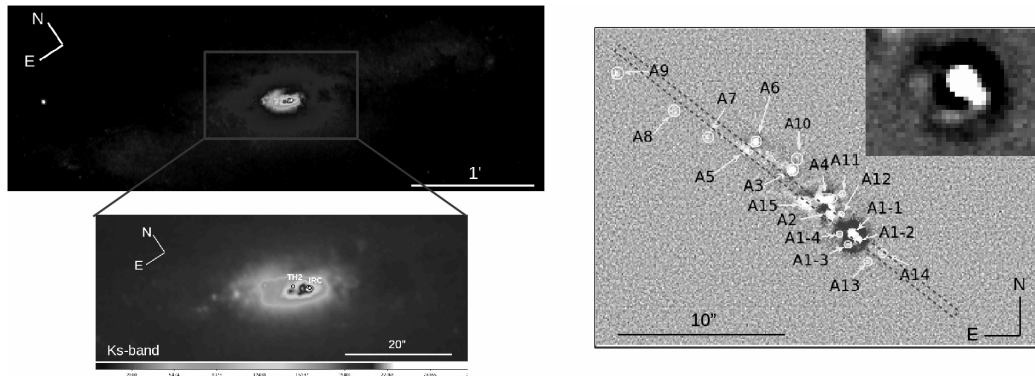


Figura 1: *Izquierda-arriba*: imagen en banda H de NGC 253. La intensidad se muestra en escala logarítmica. *Izquierda-abajo*: imagen en banda Ks de la región nuclear de NGC 253. *Derecha*: imagen T-ReCS obtenida a partir de la técnica de *unsharp mask*. Se indican las regiones/*knots* identificados, y la posición del eje mayor de NGC 253. En el *zoom* de la parte superior derecha se puede ver la región que incluye A1-1 (IRC es el pico de mayor brillo), A1-2 y la estructura de arco. El tamaño del inserto es de $3.6'' \times 2.6''$.

de posición (AP) de la barra, $AP = 71.6^\circ$, y extraído el perfil de brillo (ancho de extracción de $16''$) a lo largo de esta dirección (Fig. 2, *der.-arriba*). El perfil radial es un promedio del brillo a lo largo del corte. Identificamos la componente bulbo, que presenta el brillo más intenso ($\sim 11.4 \text{ mag/arcsec}^2$), y la barra, que tiene una magnitud cercana a constante ($\sim 15.4 \text{ mag/arcsec}^2$), con un decaimiento lineal hacia afuera. Hemos determinado el centro de simetría de las estructuras. Para identificarlos, la barra y el disco fueron caracterizados por líneas rectas en escala logarítmica. Además, el bulbo se ajustó con un perfil de brillo $r^{1/4}$. Los extremos de la barra se definen donde el brillo decae en media magnitud. La longitud de la barra resulta ser de $\sim 302''$ (diámetro deproyectado) con un centro de simetría ubicado a $1.4''$ ($2''$ posición deproyectada) hacia el NE del IRC. El disco queda bien representado con una longitud de escala de $28.6'' \equiv 486 \text{ pc}$, con un centro de simetría ubicado $1.4''$ hacia el este del IRC, consistente con el centro de la barra. Sin embargo, el centro de simetría de la componente bulbo está posicionado $2.6''$ ($3.7''$ posición deproyectada) hacia el este del IRC.

También hemos podido caracterizar la morfología usando perfiles radiales de color. En el perfil del color $Y - Ks$, la barra está identificada con la región cuyo color oscila alrededor del valor promedio $Y - Ks = 1.17$, mientras que el disco presenta un pronunciado decrecimiento hacia afuera. La estructura central de color la podemos asociar con la estructura tipo disco visible en el mapa de color (Fig. 2, *der.-abajo*), probablemente relacionado al proceso de *starburst* circunuclear. Suponemos que

esta estructura de color tiene un crecimiento lineal de color hacia el centro, con un centro de simetría a $4.8''$ ($6.9''$ posición deproyectada) hacia el SO, desde el IRC. En la misma imagen, se señalan los picos de color asociados con las estructuras de *ansae* de la barra (regiones más brillantes en los extremos de barras). La posición del centro de simetría de los *ansae* se ubica a $1.5''$ al NE del IRC, casi coincidente con la obtenida en el perfil de la barra en banda K_s (a $1.4''$ NE del IRC).

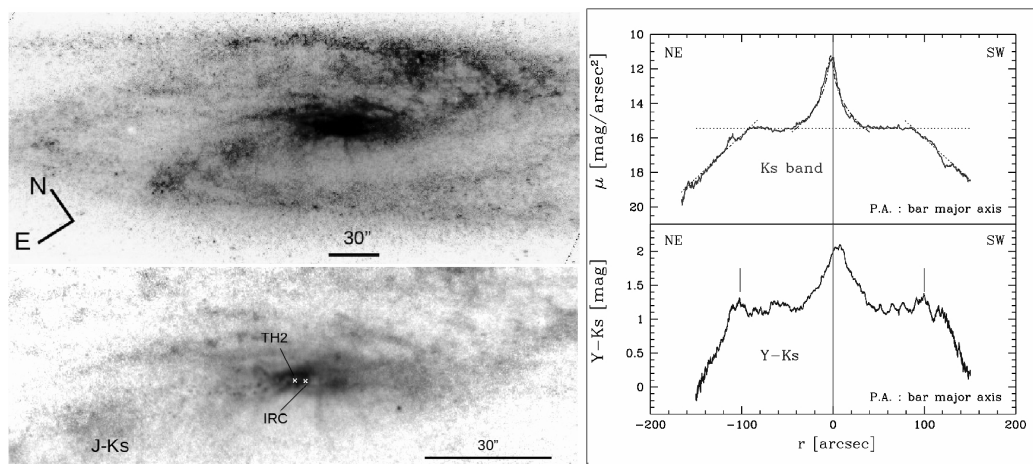


Figura 2: *Izquierda-arriba*: imagen $Y - K_s$, en la cual se aprecian las principales estructuras, así como los filamentos de polvo que se originan en la región central. *Izquierda-abajo*: imagen $J - K_s$ en la cual se indican las posiciones de IRC y TH2. *Derecha-arriba*: perfil de brillo en banda K_s a lo largo del eje mayor de la barra. Los valores de magnitudes han sido normalizados a los que corresponderían al pico en brillo superficial, o sea, a los valores que resultarían de hacer una extracción de 1 pixel de ancho. El origen se fija en la posición del IRC. La componente bulbo se ajusta con una línea punto-rayo y el ajuste del disco con línea de puntos. *Derecha-abajo*: perfil del color $Y - K_s$ a lo largo del eje mayor de la barra.

Referencias

- Fernández-Ontiveros, J. A., Prieto, M. A. & Acosta-Pulido, J. A. 2009, MNRAS, 392, L16
 Müller-Sanchez, F., Gonzalez-Martin, O., Fernández-Ontiveros, J. A., Acosta-Pulido, J. A. & Prieto, M. A. 2010, ApJ, 716, 1166
 Turner, J. L., & Ho, P. T. P. 1985, ApJ, 299, L77

Correlación planeta-metalicidad en estrellas M

Emiliano Jofré^{1,2}, Romina Petrucci^{1,2}, Melissa Hobson¹, Luciano García¹,
Mercedes Gómez^{1,2}

¹ Observatorio Astronómico de Córdoba (OAC)

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

Resumen

Con el objetivo de establecer si la correlación planeta-metalicidad se extiende a las enanas rojas, en esta contribución describimos las etapas iniciales de un proyecto para determinar metalicidades de precisión en estrellas M a partir de espectros de resolución moderada en las bandas *H* y *K* del infrarrojo cercano, obtenidos con el instrumento GNIRS de Gemini Norte.

1. Introducción

Actualmente es un hecho ampliamente aceptado que la probabilidad de que las estrellas enanas de secuencia principal de tipo FGK alberguen planetas gigantes aumenta fuertemente con la metalicidad estelar. Esto se conoce usualmente como la *correlación planeta-metalicidad* (Fischer & Valenti 2005). De esta manera, la metalicidad estelar sería uno de los parámetros que controlan la formación planetaria, aunque otros estudios indican que la masa estelar también podría tener un rol importante (Johnson et al. 2010). Así, para separar los efectos de la metalicidad y masa estelar sobre la frecuencia de planetas y determinar si la correlación se extiende a estrellas de baja masa, es necesario derivar con precisión las metalicidades de las estrellas M. Sin embargo, el método espectroscópico clásico no es aplicable en este tipo de objetos debido a que sus espectros muestran bandas moleculares complejas, que no dejan un nivel de continuo definido, y al conocimiento limitado de los valores de opacidad de las líneas moleculares. Varios grupos han intentado calibrar sus características espectrales, infiriendo sus metalicidades a partir de su asociación con compañeras binarias primarias de tipo espectral FGK (Martinache et al. 2009), o a partir del modelado directo de líneas atómicas usando espectros de alta resolución (Bean et al. 2006). Desafortunadamente, estos esfuerzos están limitados a algunas estrellas específicas y/o de baja metalicidad. Otra aproximación hace uso de calibraciones fotométricas de banda ancha (Schlaufman & Laughlin 2010), las cuales dependen de magnitudes *V* precisas y paralajes trigonométricas. Más recientemente, se ha propuesto una técnica espectroscópica alternativa que requiere de espectros de resolución moderada en las bandas *H* y *K* del infrarrojo cercano (Rojas-Ayala et al. 2010, 2012; Terrien et al. 2012). Esta técnica provee

estimaciones confiables de metalicidad para estrellas M distantes con una precisión comparable o incluso mejor que la provista por las calibraciones fotométricas. En esta contribución describimos las etapas iniciales del proyecto para obtener metalicidades precisas de una muestra de enanas M con y sin planetas a partir de espectros infrarrojos utilizando el instrumento GNIRS de Gemini Norte.

2. Observaciones y reducción de los datos

Durante 2012B y 2013A hemos obtenido espectros en el infrarrojo cercano (NIR) para un total de 15 enanas M, incluyendo 10 con planetas, utilizando el espectrógrafo GNIRS en el telescopio Gemini Norte de 8.1 metros ubicado en Mauna Kea (Hawaii). Los espectros fueron tomados en el modo de dispersión cruzada para cubrir el rango $1.2 - 2.5 \mu\text{m}$ con $R \sim 2000$. Para obtener esta cobertura espectral y resolución utilizamos la red de $32 \text{ l/mm} + \textit{short camera blue}$ ($0.15''/\text{pix}$) + *short camera cross-dispersing prism* (SXD) y una ranura de 0.30 arcsec . Actualmente, para reducir las observaciones, estamos trabajando con el programa XDGNIRS v2.0¹. El código corre bajo el paquete de programas IRAF y es capaz de tomar una lista de archivos de ciencia y calibración, identificar los tipos de archivo, reducir los datos y dar como resultado un espectro 1D corregido por absorciones telúricas y calibrado en flujo. En la Figura 1 mostramos una porción del espectro de la estrella GJ1214 reducido con el programa XDGNIRS.

3. Determinación de [Fe/H]

Para determinar la metalicidad ([Fe/H]) de las estrellas M de nuestra muestra emplearemos las calibraciones espectroscópicas de metalicidad en la banda *K* del NIR de Rojas-Ayala et al. (2012; RA12 de aquí en adelante) y en las bandas *H* y *K* de Terrien et al. (2012; TE12 de aquí en adelante). Ambas calibraciones se obtuvieron a partir de estrellas enanas M pertenecientes a sistemas binarios visuales de amplia separación, con compañeras primarias de tipo solar FGK. En ambos casos se supuso que las metalicidades de las estrellas M son similares a las de las componentes primarias del sistema², cuyos valores de [Fe/H] fueron determinados a través del método clásico. De este modo, se construyeron las ecuaciones de calibración mencionadas a partir de una regresión lineal sobre los índices y anchos equivalentes (EW) medidos a través de espectros en el NIR para obtener los valores

¹<http://drforum.gemini.edu/topic/gnirs-xd-reduction-script/>

²Esta suposición está justificada si ambas componentes se formaron juntas en la misma nube molecular.

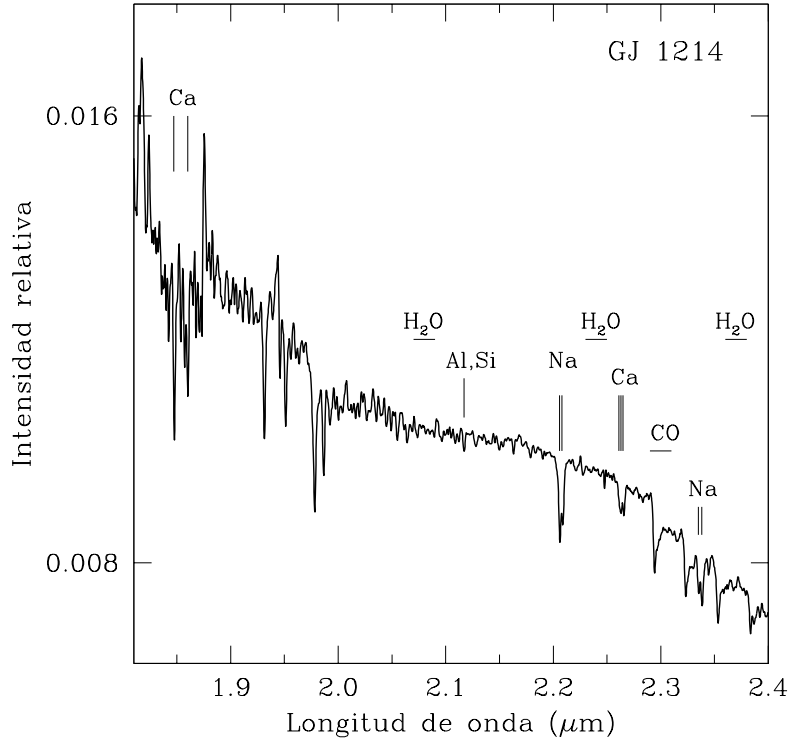


Figura 1: Porción de un espectro GNIRS en dispersión cruzada de la estrella GJ1214 reducido con el programa XDNIRS.

de $[\text{Fe}/\text{H}]$ de las estrellas M. Por un lado la calibración RA12, que está basada en características espectrales en la banda K del NIR, viene dada por:

$$[\text{Fe}/\text{H}] = 0.142 (\text{Na}_{\text{IEW}}) + 0.011 (\text{Ca}_{\text{IEW}}) + 2.541 (\text{H}_2\text{O} - K) - 3.132$$

donde Na_{IEW} y Ca_{IEW} representan los anchos equivalentes de las líneas de Na I ($2.205 \mu\text{m}$) y Ca I ($2.263 \mu\text{m}$), mientras que $\text{H}_2\text{O} - K$ es un índice espectral sensible a la temperatura que se determina a partir de mediciones de flujo en las regiones $2.07 - 2.09$, $2.23 - 2.25$ y $2.36 - 2.38 \mu\text{m}$. Por otro lado, las calibraciones de TE12 emplean tanto características espectrales en la banda H como en la banda K , y están dadas por:

$$[\text{Fe}/\text{H}]_{\text{K-band}} = 0.132 (\text{Na}_{\text{IEW}}) + 0.083 (\text{Ca}_{\text{EW}}) - 0.403 (\text{H}_2\text{O} - K) - 0.616$$

$$[\text{Fe}/\text{H}]_{\text{H-band}} = 0.340 (\text{Ca}_{\text{EW}}) + 0.407 (\text{K}_{\text{IEW}}) + 0.436 (\text{H}_2\text{O} - H) - 1.485$$

donde Ca_{EW} corresponde a la suma de los anchos equivalentes de las líneas 1.6159 y $1.6203 \mu\text{m}$ del Ca I, K_{IEW} es el ancho equivalente de la línea de K en $1.5171 \mu\text{m}$,

mientras que H_2O-K y H_2O-H son índices espectrales definidos de forma similar al de RA12.

4. Trabajo a futuro

Planeamos finalizar próximamente con el proceso de reducción de los datos para luego determinar metalicidades a partir de las calibraciones mencionadas, como también aplicar calibraciones empíricas para determinar temperaturas efectivas, luminosidades bolométricas y radios estelares. Por otro lado, esperamos poder comparar las metalicidades obtenidas con este método con las resultantes de las calibraciones fotométricas y las nuevas calibraciones empíricas que hacen uso de espectros ópticos de alta resolución. Estas mediciones de metalicidad nos permitirán analizar la correlación planeta-metalicidad para una gran fracción de estrellas M con planetas detectados por la técnica de velocidad radial. La confirmación de una correlación planeta-metalicidad en el rango de las estrellas de baja masa será de gran importancia para poder identificar los mejores candidatos a incluir en los relevamientos de búsqueda de planetas alrededor de estrellas frías.

Referencias

- Bean, J. L., Benedict, G. F., Endl, M. 2006, ApJ, 653, L65
Fischer, D. & Valenti, J. 2005, ApJ, 622, 1102
Johnson, J. A., Aller, K. M., Howard, A. W. et al. 2010, PASP, 122, 905
Martinache, F., Rojas-Ayala, B., Ireland, M. J. et al. 2009, ApJ, 695, 1183
Rojas-Ayala, B., Covey, K. R., Muirhead, P. S. et al. 2010, ApJ, 720, 113
Rojas-Ayala, B., Covey, K. R., Muirhead, P. S. et al. 2012, ApJ, 748, 93
Schlaufman, K. C. & Laughlin, G. 2010, A&A, 519, 105
Terrien, R., Mahadevan, S., Bender, C. et al. 2012, ApJ, 747, 38

Estudio del material circunestelar en la supergigante A[e] HD 62623: cinemática del CO

M. F. Muratore¹, M. L. Arias^{1,2}, L. Cidale^{1,2}, M. Kraus³

¹ Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, Argentina

² Instituto de Astrofísica de La Plata (CONICET-UNLP), Argentina

³ Astronomický ústav, Akademie věd České Republiky, República Checa

Resumen

HD 62623 es una estrella supergigante A que presenta el fenómeno B[e], lo que significa que muestra evidencias observacionales de la presencia de gas atómico y polvo en el medio circunestelar. Las observaciones interferométricas sugieren que este material se encuentra ubicado en un disco en rotación kepleriana. La detección de CO en el entorno de esta estrella a partir de datos espectroscópicos presenta una herramienta adicional para investigar este escenario. Para estudiar la cinemática de este material, que se encontraría ubicado entre el gas atómico y el polvo, nos propusimos obtener observaciones de alta resolución espectral utilizando el espectrógrafo infrarrojo GNIRS, perteneciente al Observatorio Gemini. El modelado preliminar de los datos indicaría que el CO también se encuentra confinado en un disco en rotación kepleriana, siendo compatible con el escenario derivado de los datos interferométricos. Este resultado es importante, ya que la presencia de estructuras estables, como discos o anillos en rotación kepleriana, ha sido reportada en numerosas estrellas B[e].

1. Introducción

HD 62623 es una supergigante A galáctica que presenta el fenómeno B[e] (Meilland et al. 2010). Esto significa que las observaciones ópticas e infrarrojas de esta estrella muestran evidencias de la presencia de gas atómico y polvo en el medio circundante. En base a estudios interferométricos, Millour et al. (2011) concluyeron que este material se encuentra ubicado en un disco en rotación kepleriana. La detección de bandas de CO en emisión en el espectro infrarrojo de esta estrella abrió una nueva posibilidad para investigar el entorno de este objeto, y en particular la cinemática del material circunestelar, ya que debido al rango de temperaturas a las que puede encontrarse cada una de las componentes, se espera que el CO esté ubicado entre el gas atómico y el polvo. A partir del tamaño angular de cada región derivado de los datos interferométricos, y la distancia a la estrella reportada en la literatura, se puede estimar la ubicación del CO. Teniendo en cuenta los parámetros fundamentales de la estrella, podemos estimar la velocidad de rotación kepleriana

y la velocidad de expansión correspondientes a esa distancia. Dado que, para una distancia promedio, estas velocidades son aproximadamente de 80 y 160 km s⁻¹ respectivamente, modelando la emisión de CO podríamos distinguir entre los dos posibles escenarios. Es importante aclarar que en este trabajo consideraremos la velocidad de expansión dada por las soluciones de viento lento de Curé et al. (2011), ya que estas podrían originar estructuras tipo disco alrededor de estrellas A supergigantes.

2. Observaciones

Las observaciones de HD 62623 fueron obtenidas en abril de 2012 utilizando el espectrógrafo GNIRS (*Gemini Near-Infrared Spectrograph*), montado en el telescopio del Observatorio Gemini Norte (programa GN-2012A-Q-21). La configuración instrumental fue elegida de manera de obtener una resolución espectral $R \sim 18000$ en la banda K . La longitud de onda central seleccionada nos permitió cubrir el rango 2.28 – 2.34 μm , que incluye las dos primeras cabezas de banda del CO. Las observaciones se realizaron utilizando un patrón de *nodding* ABBA a lo largo de la ranura para remover la emisión del cielo. Con el fin de realizar la corrección telúrica, es decir, para poder remover del espectro las líneas originadas en la atmósfera terrestre, se observaron también estrellas estándar telúricas de tipo espectral B. Las líneas telúricas también fueron utilizadas como referencia para realizar la calibración en longitud de onda. El procesamiento de los datos fue realizado con tareas de IRAF. Luego de aplicar las correcciones por velocidad heliocéntrica y sistémica el espectro se normalizó, y finalmente se le restó el continuo para obtener el espectro de emisión que se muestra en la Fig. 1. La estructura que se observa corresponde a las bandas vibro-rotacionales de CO incluidas en este rango espectral.

3. Resultados

Con el fin de obtener espectros sintéticos que permitan reproducir la emisión de CO en los casos de discos en rotación y en expansión se utilizó el código desarrollado por Kraus et al. (2000). En la Fig. 2 se pueden ver los modelos obtenidos para una velocidad de rotación $v_{\text{rot}} = 80 \text{ km s}^{-1}$ (gris), y para una velocidad de expansión $v_{\text{exp}} = 160 \text{ km s}^{-1}$ (gris, línea a trazos), junto con el espectro de emisión observado (negro). Para resaltar más fácilmente la diferencia en el ensanchamiento producido por las dos velocidades se muestra sólo la región correspondiente a la primer cabeza de banda.

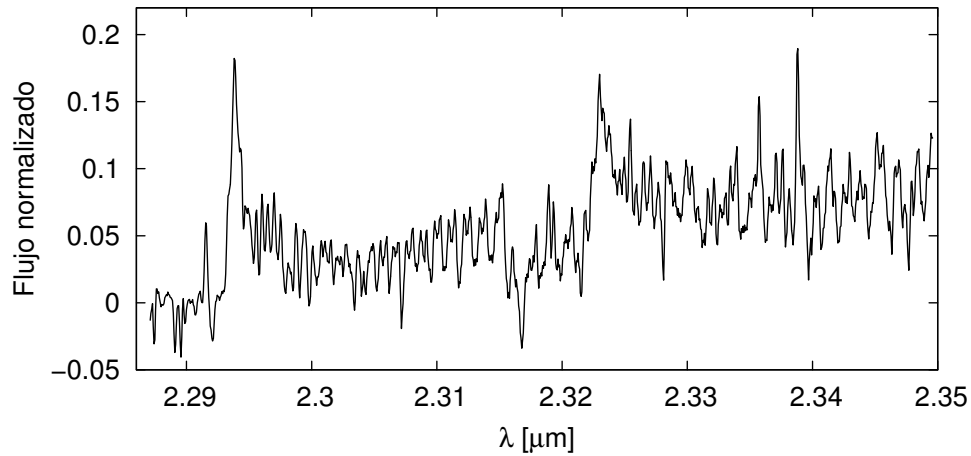


Figura 1: Espectro de emisión de HD 62623 en la banda K , obtenido normalizando el espectro observado y sustrayendo el continuo.

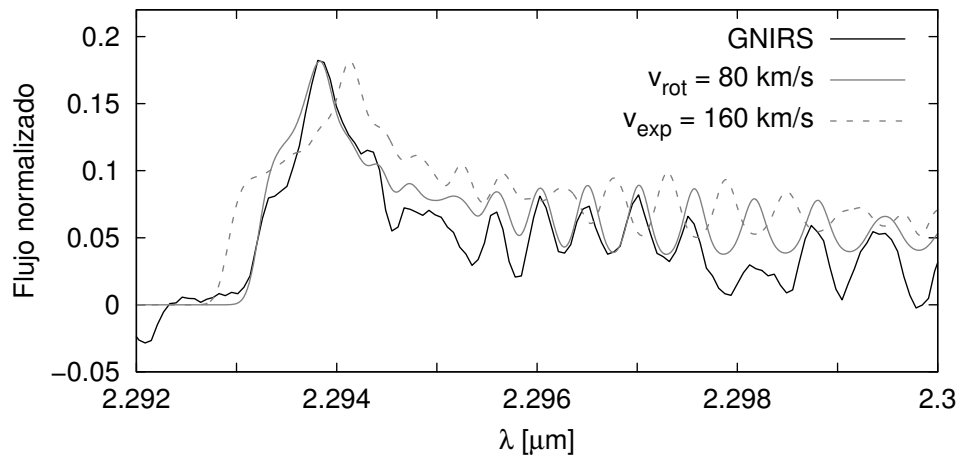


Figura 2: Comparación entre el espectro de emisión observado (negro) y dos espectros teóricos correspondientes a la emisión de CO, obtenidos considerando, respectivamente, una velocidad de rotación de 80 km s^{-1} (gris), y una velocidad de expansión de 160 km s^{-1} (gris, línea a trazos). Se muestra sólo la región de la primera cabeza de banda de CO para facilitar la comparación.

Si bien el modelado es preliminar y se deben revisar los valores de los otros parámetros para reproducir mejor las estructuras que se observan, dado que este ensanchamiento se debe principalmente a la velocidad del gas, es evidente que el modelo que corresponde a la rotación kepleriana produce un mejor ajuste que el correspondiente a la expansión del material. Esto nos lleva a confirmar, en

principio, que el escenario de un disco en rotación kepleriana sería el más adecuado para describir la estructura y cinemática del material circunestelar que rodea a la supergigante A[e] HD 62623. La importancia de este resultado reside en que este tipo de estructuras ha sido observado en otras estrellas supergigantes B[e], por lo que podría estar relacionado de alguna manera con el origen o la presencia de este fenómeno.

Agradecimientos

Esta investigación fue realizada en el marco de los proyectos PIP 0177 de CONICET y PICT 0885/2011 de la ANPCyT, el Programa de Incentivos G011/137 de la UNLP, y el Programa de Cooperación Científico-Tecnológica ARC/13/12 entre MINCYT (Argentina) y MEYS (Rep. Checa).

Referencias

- Curé, M., Cidale, L., & Granada, A. 2011, *ApJ*, 737, 18
- Kraus, M., Krügel, E., Thum, C., & Geballe, T. R. 2000, *A&A*, 362, 158
- Meilland, A., Kanaan, S., Borges Fernandes, M., Chesneau, O., Millour, F., Stee, Ph., & Lopez, B. 2010, *A&A*, 512, A73
- Millour, F., Meilland, A., Chesneau, O., Stee, Ph., Kanaan, S., Petrov, R., Mourard, D., & Kraus, S. 2011, *A&A*, 526, A107

Estado evolutivo de la estrella B[e] MWC 137

M. F. Muratore¹, M. Kraus², M. E. Oksala³, M. L. Arias^{1,4}, L. Cidale^{1,4},
M. Borges Fernandes⁵, A. Liermann⁶

¹ Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, Argentina

² Astronomický ústav, Akademie věd České Republiky, República Checa

³ LESIA, Observatoire de Paris, Francia

⁴ Instituto de Astrofísica de La Plata (CONICET-UNLP), Argentina

⁵ Observatório Nacional, Brasil

⁶ Leibniz-Institut für Astrophysik Potsdam (AIP), Alemania

Resumen

El estado evolutivo de las estrellas B[e] es difícil de establecer debido a la incerteza en la determinación de sus parámetros fundamentales. En el caso de MWC 137, una estrella B[e] galáctica, las clasificaciones incluyen fases tanto de pre como de post secuencia principal, abarcando un gran rango de luminosidades. Para investigar el estado evolutivo de este objeto, estudiamos la emisión circunestelar de CO utilizando datos obtenidos con el espectrógrafo infrarrojo GNIRS, perteneciente al Observatorio Gemini. El modelado de estos espectros de alta resolución permitió no sólo obtener propiedades físicas y cinemáticas del gas molecular, sino también determinar la presencia de ¹³CO en el entorno de esta estrella. El cociente de abundancias ¹²C/¹³C obtenido a partir del modelado implica un enriquecimiento del material circunestelar que no es compatible con una fase de pre secuencia principal. Este importante resultado permite descartar la clasificación de la estrella como Herbig Be, aportando una restricción al estado evolutivo de este peculiar objeto.

1. Introducción

Las estrellas B[e] se caracterizan por presentar líneas de emisión permitidas y prohibidas en su espectro óptico, además de un fuerte exceso infrarrojo. En algunos casos se observan también bandas moleculares en emisión, entre las cuales se encuentran las bandas vibro-rotacionales de CO observables en el infrarrojo cercano. La presencia de emisión en los distintos rangos espectrales dificulta la estimación de los parámetros fundamentales de estas estrellas, lo cual a su vez afecta la determinación de su estado evolutivo. Este es el caso de MWC 137, una estrella B[e] rodeada por una nebulosa óptica. Este objeto tiene diversas clasificaciones, entre las que se incluyen Herbig Ae/Be (p. ej. Hillenbrand et al. 1992), supergigante B (p. ej. Esteban & Fernández 1998), y nebulosa planetaria (p. ej. Perek & Kohoutek 1967). Con el fin de investigar el estado evolutivo de esta estrella estudiamos la

emisión de CO proveniente del medio circunestelar, analizando en particular la presencia de bandas de ^{13}CO . Dado que la abundancia del isótopo ^{13}C aumenta a lo largo de la evolución estelar, el cociente de abundancias $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ derivado del modelado de la emisión de CO puede brindar información acerca de la edad del objeto (Kraus 2009).

2. Observaciones

Se obtuvieron observaciones de MWC 137 en la banda K con una resolución $R \sim 18000$ utilizando el espectrógrafo GNIRS (Gemini Near-Infrared Spectrograph), montado en el telescopio del Observatorio Gemini Norte. En el año 2011 (GN-2011B-Q-24) se observaron las dos primeras cabezas de banda del ^{12}CO ($2.28 - 2.34 \mu\text{m}$) para estudiar la cinemática y las propiedades físicas del gas. En el año 2014 (GN-2013B-Q-11) se observó un rango más amplio ($2.28 - 2.39 \mu\text{m}$) con el fin de confirmar la presencia de emisión de ^{13}CO , además de investigar la variabilidad de las bandas de ^{12}CO . Las observaciones se tomaron realizando un patrón de *nodding* ABBA a lo largo de la ranura para remover la emisión del cielo. Se observaron estrellas estándar telúricas de tipo espectral B para eliminar la contaminación producida por las líneas generadas en la atmósfera terrestre. Se aplicaron las correcciones por velocidad heliocéntrica y sistémica, se normalizaron los espectros y se les restó el continuo. Tanto la reducción como el procesamiento de los datos fueron realizados con tareas de IRAF. Los espectros de emisión obtenidos se muestran en la Fig. 1.

3. Resultados

En ambos espectros se observan claramente las bandas de ^{12}CO en emisión, mientras que en el espectro obtenido en 2014 se evidencia además la presencia de líneas en emisión de la serie de Pfund. Para obtener espectros sintéticos que permitieran reproducir la emisión de ^{12}CO y de Pfund se utilizaron códigos desarrollados por Kraus et al. (2000). Para modelar el espectro de 2014, el código de CO fue modificado por Kraus (2009) y Oksala et al. (2013) para incluir ^{13}CO . A continuación se mencionan los principales resultados:

- Los espectros obtenidos en las dos épocas son muy similares, lo que sugiere que durante este período la estructura en la que se origina la emisión de CO se mantuvo relativamente estable. Los modelos de ^{12}CO y de Pfund que ajustan estas observaciones son los mismos, aunque el nivel de intensidad de la emisión de Pfund es mayor en el espectro de 2014.

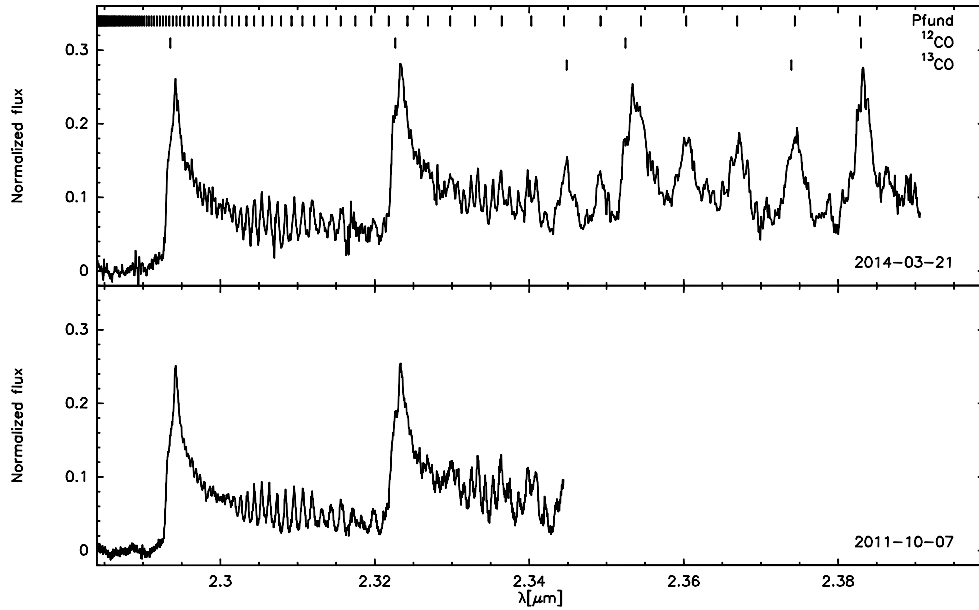


Figura 1: Espectros obtenidos con GNIRS en 2011 (panel inferior) y en 2014 (panel superior). En ambos casos se normalizó el espectro y se sustrajo el continuo. Las marcas indican la posición de las cabezas de banda de ^{12}CO y ^{13}CO , y las longitudes de onda correspondientes a las líneas de Pfund.

- La temperatura derivada del modelado, $T_{\text{CO}} = 1900 \pm 100 \text{ K}$, está muy por debajo de la temperatura de disociación del CO ($\sim 5000 \text{ K}$). Esto sugiere que el material se encuentra relativamente separado de la estrella, es decir, que se distribuye en un anillo en lugar de un disco.
- En la Fig. 2 se muestran los modelos que mejor ajustan el espectro observado en 2014, considerando cocientes de abundancias $^{12}\text{C}/^{13}\text{C} = 90$ (panel superior) y $^{12}\text{C}/^{13}\text{C} = 25$ (panel inferior). Estos valores corresponden a fases de pre secuencia principal y de post secuencia principal respectivamente. La comparación entre ambos ajustes pone en evidencia la naturaleza evolucionada del objeto, permitiendo descartar la clasificación de Herbig Ae/Be.

Estos resultados, junto con un análisis del posible estado evolutivo de MWC 137 basado en el valor obtenido para el cociente de abundancias, fueron publicados por Muratore et al. (2015). Las figuras fueron extraídas de ese trabajo.

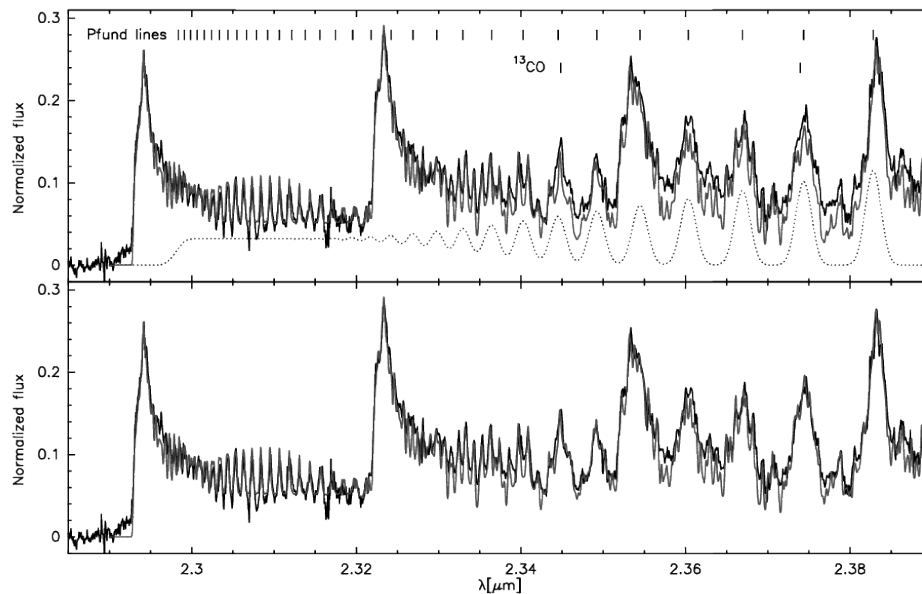


Figura 2: Espectros sintéticos correspondientes a la emisión de Pfund + CO (gris) superpuestos al espectro observado en 2014 (negro). Los modelos fueron obtenidos utilizando $^{12}\text{C}/^{13}\text{C} = 90$ (panel superior) y $^{12}\text{C}/^{13}\text{C} = 25$ (panel inferior) respectivamente. En el panel superior se muestra el modelo de Pfund utilizado (línea punteada), y se indican las posiciones de las cabezas de banda de ^{13}CO y de las transiciones de Pfund.

Agradecimientos

Esta investigación fue realizada en el marco de los proyectos PIP0177 de CONICET y PICT0885/2011 de la ANPCyT, el Programa de Incentivos G011/137 de la UNLP, y los Programas de Cooperación Científico-Tecnológica ARC/11/10 y ARC/13/12 entre MINCyT (Argentina) y MEYS (Rep. Checa).

Referencias

- Esteban, C., & Fernández, M. 1998, MNRAS, 298, 185
 Hillenbrand, L. A., Strom, S. E., Vrba, F. J., & Keene, J. 1992, ApJ, 397, 613
 Kraus, M. 2009, A&A, 494, 253
 Kraus, M., Krügel, E., Thum, C., & Geballe, T. R. 2000, A&A, 362, 158
 Muratore, M. F., Kraus, M., Oksala, M. E., Arias, M. L., Cidale, L., Borges Fernandes, M., & Liermann, A. 2015, AJ, 149, 13
 Oksala, M. E., Kraus, M., Cidale, L. S., Muratore, M. F., & Borges Fernandes, M. 2013, A&A, 558, A17
 Perek, L., & Kohoutek, L. 1967, in Acad. Publ. House of the Czech. Acad. Sci., 1-276

Cinemática gaseosa de la región nuclear de la galaxia activa SDSSJ 093643.13+505249.6 obtenida con GMOS-IFU

G. Oio¹, D. Ferreiro^{1,2}, L. Vega^{1,2,3}, E. Schmidt¹

¹ Instituto de Astronomía Teórica y Experimental (CONICET)

² Observatorio Astronómico Córdoba - UNC

³ Secretaría de Ciencia y Técnica - UNC

Resumen

Presentamos los resultados preliminares de la reducción de datos espectroscópicos GMOS-N IFU en el modo *2-slits* del núcleo galáctico activo (AGN) del tipo *Narrow-Line Seyfert 1* (NLS1) SDSSJ 093643.13+505249.6, seleccionado del *Sloan Digital Sky Survey* (SDSS) en base a las asimetrías observadas en sus líneas de emisión atribuidas a la presencia de intensos vientos (*outflows*) provenientes de su núcleo. La resolución espacial alcanzada (0.2 arcsec) nos permite estudiar en detalle la región nuclear (5×7 arcsec), lo cual era imposible de realizar a partir de espectros del SDSS (fibra de 3 arcsec). Nuestras observaciones nos permitirán identificar la cinemática y el estado de ionización asociados a diferentes regiones centrales del AGN.

1. Introducción

Las galaxias del tipo *Narrow-Line Seyfert 1* (NLS1) son una subclase interesante de AGN definida a partir de sus características en el espectro óptico: $\text{FWHM } H\beta \leq 2000 \text{ km/s}$, $[\text{OIII}]\lambda 5007/H\beta \leq 3$ (lo cual distingue Seyfert 1 de Seyfert 2) y emisiones intensas de multipletes de hierro (Komossa et al. 2008). De acuerdo al “modelo unificado” para las galaxias Seyfert, las líneas anchas (permitidas) y angostas (permitidas y prohibidas) se emiten en las regiones de líneas anchas (BLR) y angostas (NLR) respectivamente. Las NLS1s presentan algunas características cinemáticas de Seyfert 1 pero con BLRs más pequeñas. Por consiguiente, en las NLS1 se han encontrado los agujeros negros supermasivos con menor masa asociados con las más altas tasas de acreción, lo que sugiere que podrían estar en las etapas tempranas de evolución de AGN (Wang & Zhang, 2007). La cinemática del gas en la BLR está determinada por el potencial gravitacional del agujero negro supermasivo central (Peterson & Wandel, 2000). La cinemática de la NLR se encuentra dominada por el potencial del *bulge*, i.e. la dispersión de velocidades estelares, trazada por las líneas del triplete del calcio. (Vega et al. 2009) o por el

gas ionizado, trazado por $[\text{OIII}]\lambda 5007$ (Nelson & Whittle, 1996) y $[\text{SIII}]\lambda 9069$, solo luego de remover la componente asimétrica debida a *outflows* de gas ionizado.

2. Observaciones y reducción de los datos

SDSSJ 093643.13+505249.6 fue observado con el telescopio Gemini Norte en el modo GMOS-IFU. El rango espectral fue $4300 - 5429 \text{ \AA}$ ($\sim 0.46 \text{ \AA}/\text{pixel}$) y el FoV de $7 \times 5 \text{ arcsec}^2$ ($\text{spaxel} = 0.2 \text{ arcsec} \Rightarrow \sim 200 \text{ pc}$ a $\sim 220 \text{ Mpc}$). La reducción de los datos se llevó a cabo utilizando tareas genéricas de IRAF y algunas otras desarrolladas específicamente para datos de GMOS dentro del paquete *gemini.gmos*. Los pasos de reducción consistieron en recortar las imágenes, corregir por *bias* y *flat-field*, limpiar de rayos cósmicos cada *frame*, alinear e interpolar los datos, realizar la extracción del espectro, calibrar en longitud de onda, calibrar por flujo, substraer el cielo y combinar las 10 exposiciones ($\sim 8 \text{ h}$ de integración total).

En la Figura 1 se presenta la emisión de $[\text{OIII}]\lambda 5007$, donde puede verse que muestra un perfil isótropo al tratarse de una especie de alta ionización, y la intensa emisión de los multipletes del Fe característica de los NLS1s. Obsérvese que detectamos la estructura de la emisión de Fe en el núcleo activo, extendiéndose hasta $\sim 500 \text{ pc}$ del centro.

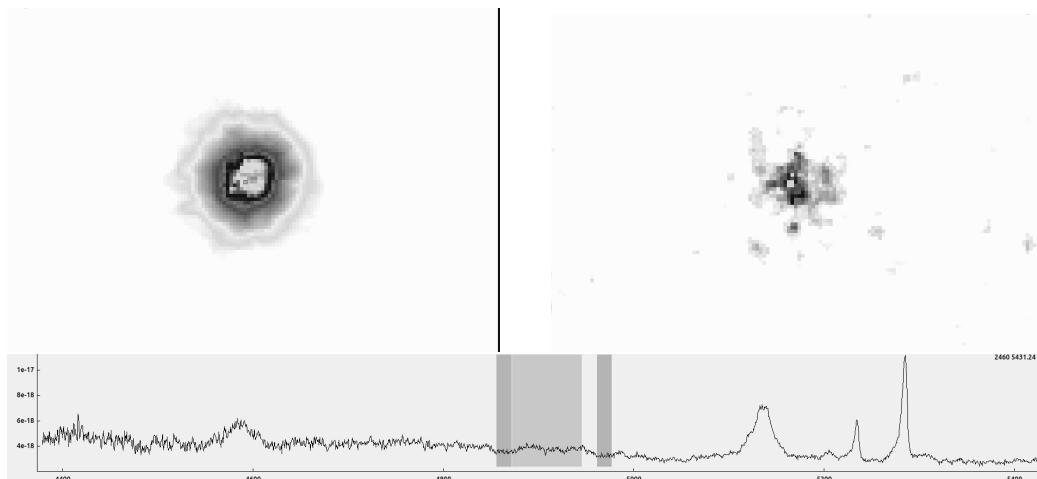


Figura 1: *Arriba izq.*: emisión integrada de $[\text{OIII}]\lambda 5007$. *Arriba derecha*, emisión integrada de multipletes de Fe en la región espectral $4434 - 4684 \text{ \AA}$. *Abajo*: espectro correspondiente al arcsec central, señalando los multipletes de hierro, exceptuando $\text{HeII} \lambda 4686$ y descontando el continuo adyacente.

3. Mediciones cinemáticas

Las velocidades radiales (V_{gas}) y las dispersiones de velocidades radiales (σ_{gas}) fueron obtenidas ajustando una sola gaussiana a cada una de las líneas $H\beta$ y $[OIII]\lambda 5007$. Este ajuste fue realizado con el programa *QFitsView* usando la tarea *velmap*. A partir de estos ajustes obtenemos la posición del pico de emisión y el FWHM de cada línea, los cuales se utilizan para calcular V_{gas} y σ_{gas} , respectivamente ($\text{FWHM} = 2.355 \sigma$).

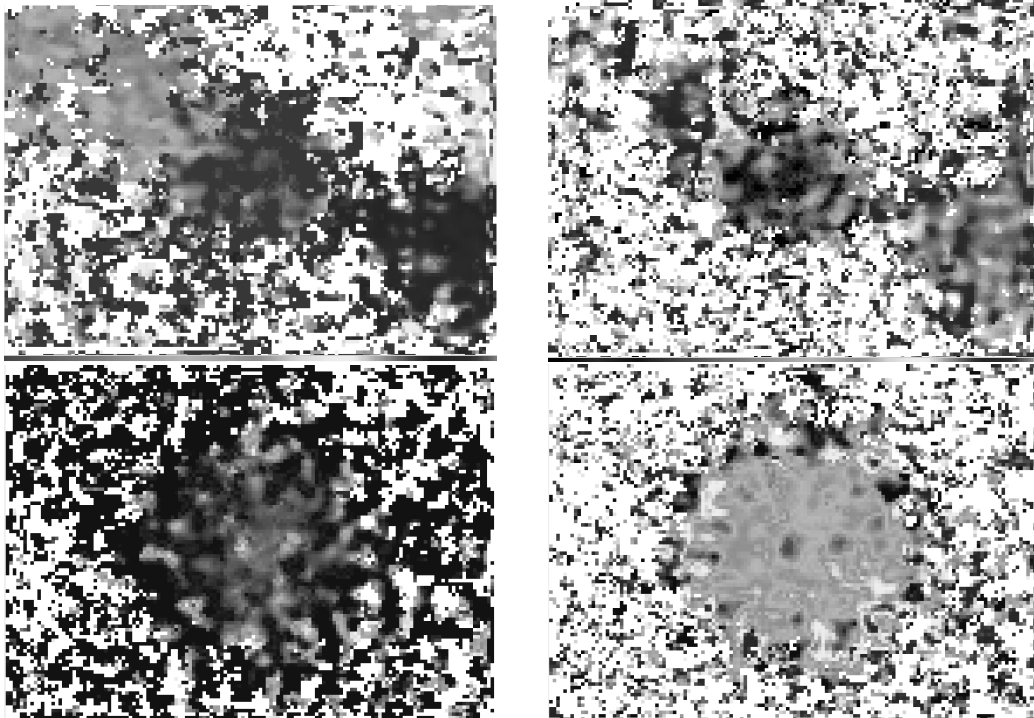


Figura 2: Arriba: distribución de las velocidades radiales del máximo de emisión (*izq.*) y FWHM (*der.*) de las gaussianas ajustadas a $H\beta$. Abajo: mapas de emisión y FWHM correspondientes a la línea $[OIII]\lambda 5007$. Las figuras cubren todo el FoV de 7×5 arcsec

En la Figura 2 se presentan mapas 2D de la cinemática del gas de la región nuclear de la galaxia. Se observa en $H\beta$ el movimiento de rotación del gas, más evidente en las regiones exteriores al núcleo. La diferencia de las velocidades radiales de $H\beta$ es de ~ 150 km/s, mientras que σ_{gas} va desde los 200 km/s hasta casi 600 km/s en la región más central. La región más interna contiene una componente ancha que no es totalmente tenida en cuenta en estos mapas, y se extiende hasta aproximadamente 1.2 kpc del centro. Se podrán estimar en forma más exacta el

tamaño y dinámica de la misma después de realizar una descomposición de las líneas en sus componentes ancha y delgada.

La emisión de $[\text{OIII}]\lambda 5007$ presenta menos estructura que $\text{H}\beta$, con $\sigma_{[\text{OIII}]}$ de casi 200 km/s. Sin embargo, su cinemática es asimismo muy compleja, con diversas componentes asimétricas (*outflows*) principalmente hacia el azul (obsérvese el perfil de $[\text{OIII}]$ en la Figura 1. De igual manera que con $\text{H}\beta$, estamos en proceso de obtener dichas componentes cinemáticas a través de la descomposición en gaussianas de los perfiles de $[\text{OIII}]\lambda 5007$ correspondientes a cada spaxel.

Referencias

- Komossa, S., Xu, D., Zhou, H., Storchi-Bergmann, T., & Binette, L. 2008, ApJ, 680, 926
Nelson, C. H., & Whittle, M., 1996, ApJ, 465, 96
Peterson B. M., & Wandel A., 2000, ApJ, 540 L13
Vega, L. R., Asari, N. V., Cid Fernandes, R., Garcia-Rissmann, A., Storchi-Bergmann, T., González Delgado, R. M., Schmitt, H. 2009, MNRAS, 393, 846
Wang, J.-M., & Zhang, E.-P. 2007, ApJ, 660, 1072

El sistema de cúmulos globulares de NGC 1395: ¿pistas de un evento de fusión reciente?

Leandro A. Sesto^{1,2,3}, Carlos G. Escudero^{1,2,3}, Nélida M. González^{1,2},
Favio R. Faifer^{1,2,3}, Analía Smith Castelli^{1,2,3}, Juan Carlos Forte^{3,4}

¹ Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas - UNLP

² Instituto de Astrofísica La Plata (CONICET-UNLP)

³ CONICET

⁴ Planetario Galileo Galilei

Resumen

Presentamos los primeros resultados fotométricos del estudio de candidatos a cúmulos globulares (CG) de la galaxia elíptica NGC 1395. Dicho análisis fue realizado sobre imágenes de dos campos profundos obtenidos con la cámara *Gemini Multi-Object Spectrograph* (GMOS). Como resultado de una fotometría de ajuste de *psf*, se construyeron diagramas color-magnitud, color-color y de distribución espacial. Finalmente, se realizó un análisis de la distribución de colores integrados, con el fin de identificar las diferentes subpoblaciones de CG presentes en dicha galaxia.

1. Supergrupo Eridanus y NGC 1395

El supergrupo Eridanus está compuesto por tres diferentes subgrupos: el más masivo, asociado con la galaxia elíptica NGC 1407, el subgrupo centrado en NGC 1332 y el subgrupo asociado a la galaxia elíptica masiva NGC 1395 (Brough et al. 2006).

NGC 1407 fue extensamente estudiada en los últimos años por diferentes autores. Sin embargo, NGC 1395 y NGC 1332 permanecen inexploradas. La galaxia elíptica NGC 1395, la cual se encuentra clasificada como E2, está ubicada a una distancia aproximada de 21 Mpc.

2. Observaciones

Se observaron dos campos profundos y un campo de comparación en los filtros g' , r' , i' y z' (Fukugita et al. 1996), empleando la cámara GMOS de Gemini Sur. Las observaciones pertenecen al programa GS-2012B-Q-44, PI: Juan Carlos Forte. Las imágenes fueron obtenidas utilizando un *binning* de 2×2 (el cual da una escala de 0.146 arcsec/pixel) y se realizó un proceso de *dithering* entre las exposiciones.

3. Reducción

Los datos crudos fueron procesados utilizando las rutinas GEMINI-GMOS en IRAF (ej. GPREPARE, GBIAS, GIFLAT, GIREDUCE, GMOSAIC), aplicando las correcciones por *bias* y campo plano (*flat fielding*). Los *bias* y *flats* fueron adquiridos del Gemini Science Archive (GSA). Es conocido el efecto de *fringing* que presentan las imágenes obtenidas con GMOS en los filtros i' y z' . Para eliminarlo fue necesario crear un patrón de *fringing* y sustraerlo utilizando la tarea GIRMFEDGE.

4. Fotometría y selección de candidatos a CG

La detección de fuentes y el modelado del halo de NGC 1395 se realizaron utilizando el algoritmo de búsqueda y clasificación del software SExtractor (Bertin & Arnouts 1996). Se obtuvieron magnitudes *psf* para todos los objetos detectados por SExtractor utilizando el paquete Daophot dentro de IRAF. Finalmente, se observó un campo de estrellas estándares durante la misma noche que el campo central del mosaico, con el que se obtuvieron las calibraciones al sistema estándar.

A la distancia de NGC 1395 se espera que los CG sean fuentes no resueltas. Por lo tanto, se utilizó el índice de estelaridad de SExtractor (0 para fuentes resueltas y 1 para las no resueltas) para llevar a cabo una primera selección de candidatos. Consideramos objetos puntuales a aquellos con índice de estelaridad mayor a 0.5. Por otra parte, solo se consideraron objetos más brillantes que $r' = 24$ mag. Para ese valor obtenemos una completitud mayor al 80 % y errores en $(g' - i')$ menores a 0.1 mag. Finalmente, adoptamos los rangos de color presentados en la Tabla 1. Esos valores garantizan una muestra limpia que incluye a la mayoría de los CGs “clásicos” (Faifer et al. 2011). Adoptando los criterios de selección antes mencionados, obtenemos una muestra de 802 candidatos a CGs.

Tabla 1: Rangos de colores adoptados para los candidatos a CG.

Color [mag]			
0.50	<	$(g' - i')_0$	< 1.40 mag
0.30	<	$(g' - r')_0$	< 0.95 mag
0.00	<	$(r' - i')_0$	< 0.60 mag
0.55	<	$(g' - z')_0$	< 1.80 mag

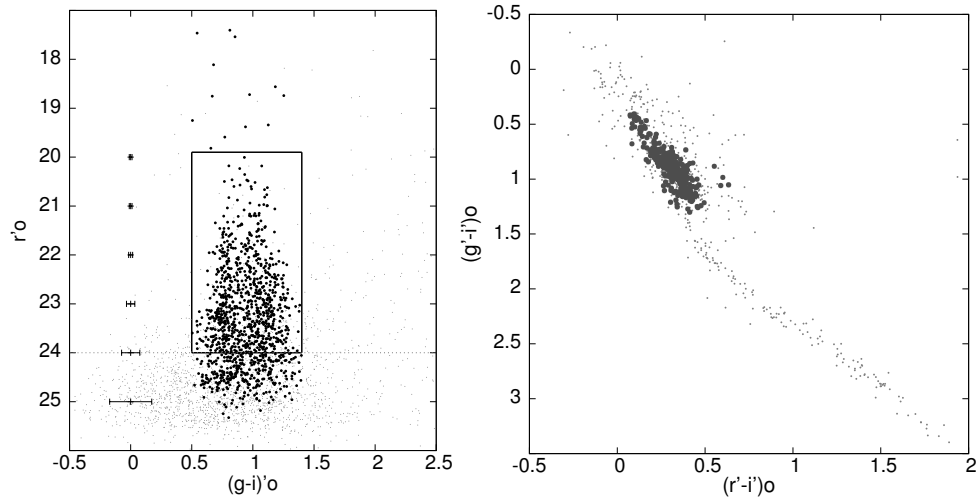


Figura 1: *Izquierda*: diagrama color-magnitud de todas las fuentes puntuales detectadas en los dos campos (puntos grises), y la muestra de candidatos a CG seleccionados por rangos de color e índice de estelaridad (puntos negros). Las barras representan la media de los errores fotométricos en $(g' - i')_0$. La caja indica los límites usados para definir la muestra de candidatos a CGs. *Derecha*: diagrama color-color. Los puntos negros representan los candidatos a CG.

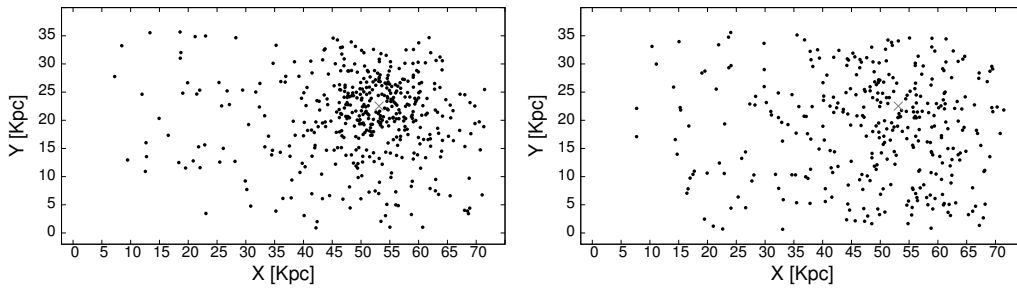


Figura 2: Distribución espacial proyectada de candidatos a CG rojos (*Izquierda*) y azules (*derecha*). Las cruces indican el centro de la galaxia. Como se esperaba, a diferencia de la subpoblación azul, la subpoblación roja presenta una fuerte concentración hacia la galaxia. No se detecta ninguna elongación significativa de los candidatos a CGs en torno a la galaxia.

5. Distribución de colores integrados

Debido al gran número de candidatos a CG presentes en la muestra, podemos construir histogramas contando objetos en intervalos de color de 0.05 mag.

El análisis de los histogramas de colores integrados muestra evidencia clara de

bimodalidad. La Figura 3 muestra el pico azul y el rojo en $(g' - i')_0 = 0.78$ y $(g' - i')_0 = 1.01$, respectivamente. Separamos la muestra considerando como CG azules a aquellos con $(g' - i')_0 < 0.9$ y como rojos a los que presentan $(g' - i')_0 > 0.9$.

A pesar de que la galaxia muestra evidencias de una fusión (estructuras de *shell* en su distribución de brillo), su sistema de CG resulta bimodal en este primer análisis. Es decir, no se ha detectado una presencia significativa de CGs con colores entre los picos azul y rojo, cuyos colores integrados puedan ser interpretados como una tercera subpoblación. Esto puede ser consistente con un escenario en el que la galaxia experimentó lo que se denomina fusión “seca” con un objeto de menor masa. Esto es, una fusión en la que no hubo gas disponible para formar una masa significativa de estrellas y/o cúmulos.

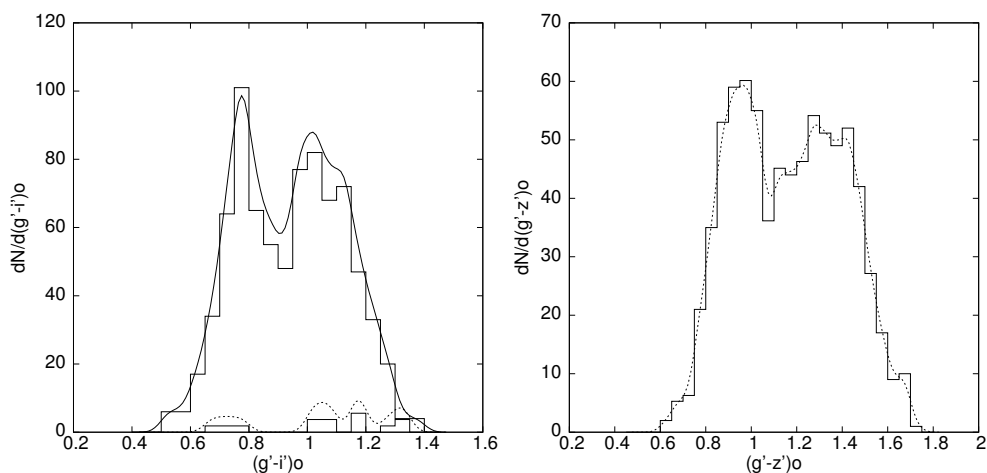


Figura 3: *Izquierda*: histograma de color en $(g' - i')_0$ para los candidatos a CG de la muestra y del campo de comparación (línea de puntos), para magnitudes entre $20.4 < r'_0 < 24$. La línea continua representa la distribución de color suavizada. Es notable la baja contaminación presente en estos campos. *Derecha*: histograma de color en $(g' - z')_0$ corregida por contaminación y su distribución suavizada.

Referencias

- Bertin, E., Arnouts, S. 1996, A&AS, 117, 393
 Brough, S., Forbes, D., Kilborn, et al., 2006, MNRAS, 369, 1351
 Faifer, F., Forte, J. C., Norris, M., et al., 2011 MNRAS, 416, 155
 Fukugita, M., Ichikawa, T., Gunn, et al., 1996, AJ, 111, 1748

Estudio fotométrico del blazar MAGIC J2001+435 y su galaxia anfitriona

M. S. Sosa^{1,2}, S. A. Cellone^{1,2}, I. Andruchow^{1,2}

¹ Instituto de Astrofísica La Plata (CONICET-UNLP)

² Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (UNLP)

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo principal medir las propiedades fotométricas del blazar MAGIC J2001+435 y de su galaxia anfitriona. Este es un blazar detectado recientemente a altas energías; aún no se conoce su corrimiento al rojo (z) como tampoco se han medido los parámetros estructurales de la galaxia anfitriona. Hemos obtenido datos de este objeto con GMOS-N en su modo imagen con el propósito de estimar los parámetros morfológicos de la galaxia anfitriona. Actualmente se está trabajando con datos fotométricos en diferentes colores y debido a que poseen buena calidad esto nos permitirá hacer una cuidadosa separación entre estrellas y galaxias que usaremos luego en un futuro estudio espectroscópico del entorno con GEMINI.

1. Introducción

La fuente de rayos gamma 1FGL J2001.1+4351 ($l = 79^\circ 04' 04''$; $b = 7^\circ 06' 33''$) ha sido detectada a energías en el rango de 0.1 – 1 GeV por el satélite *Fermi* (Abdo et al. 2009). También ha sido identificada (Bassani et al., 2009) con la fuente de rayos X XMMSL1 J200112.7+435255 detectada a 0.2 – 12 keV por *XMM-Newton* (Saxton et al. 2008) y con la radio fuente de espectro plano MG4 J200112+4352. Análisis realizados en espectroscopía óptica muestran un espectro uniforme típico de blazares; la reconstrucción de su distribución de energía espectral sugiere que esta fuente es de tipo *Intermediate-Synchrotron Peaked* o ISP.

La fuente MAGIC J2001+435 (ver Fig. 1) detectada recientemente a muy altas energías (VHE; > 100 GeV), por el telescopio tipo Cherenkov *MAGIC* (Mariotti 2010) ha sido asociada con esta misma fuente.

Poco se conoce sobre MAGIC J2001+435. En la literatura se encontró cierta información sobre rangos de magnitudes: $V = 16.86 - 17.82$ y $R = 14.12 - 16.03$ mag (Bassani et al. 2009). El espectro óptico publicado de este blazar fue obtenido con un telescopio de 1.5 m, y la baja S/N no permitió medidas confiables del z del objeto. Sin embargo, se estimó un valor de $z \sim 0.2$, basado en un cambio de pendiente en el continuo uniforme (Bassani et al. 2009). Si se supone que su galaxia anfitriona

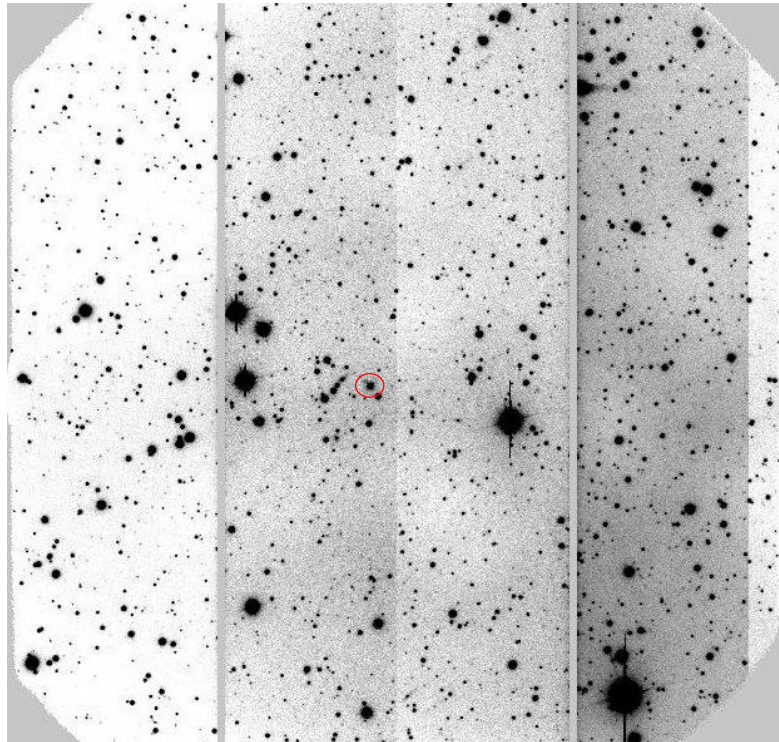


Figura 1: El blazar MAGIC J2001+435 en el centro del campo ($\approx 5 \times 5$ minutos de arco).

es de tipo elíptica luminosa, podemos estimar un valor de la magnitud aparente de la galaxia anfitriona de $R_{\text{host}} \sim 17 + A_R \simeq 18.2$ mag (Sbarufatti et al. 2005). El hecho de que esta fuente haya sido detectada a VHE sugiere que este objeto es relativamente cercano, porque los fotones- γ son absorbidos eficientemente por la componente infrarroja de la luz extragaláctica de fondo (*Extragalactic Background Light*, EBL). Los fotones de rayos γ son aniquilados mediante la producción de pares con los fotones infrarrojos de la EBL: $\nu_{\text{VHE}} + \nu_{\text{EBL}} \rightarrow e^+ + e^-$ (Gould & Schröder 1967). A VHE, la absorción debida a la EBL causa una disminución en el flujo observado y un ablandamiento del espectro observado. La profundidad óptica ($\tau(z, E)$) puede calcularse si existe un modelo de la EBL y si además se conoce su corrimiento al rojo y la energía de los fotones γ (E). El hecho de poder determinar τ nos puede permitir estimar el flujo intrínseco de la fuente, una vez deabsorbido. Sin embargo, una precisa determinación de z es crucial para obtener el espectro de los fotones originales de la fuente. De esta manera, poder estimar el correcto z de una fuente es algo crucial para la cosmología y astrofísica de los núcleos de galaxias activas.

2. Objetivos

Como primer paso, a partir de las imágenes del campo centradas en la fuente obtenidas por GEMINI, nos proponemos tener mayor conocimiento del blazar MAGIC J2001+435 y de los restantes objetos extragalácticos del campo. En el mejor de los casos, nos será posible detectar la galaxia anfitriona, y eventualmente estimar sus parámetros estructurales. Dado que MAGIC J2001+435 es uno de los blancos del estudio polarimétrico de blazares de rayos γ que venimos desarrollando hace tiempo con nuestro grupo, la determinación de estos parámetros es importante para evaluar los efectos introducidos por la galaxia anfitriona del blazar en las curvas de luz polarizada (Andruchow et al. 2008; Sosa 2012). La detección de un grupo/cúmulo de galaxias en el entorno de MAGIC J2001+435 será también un resultado muy importante, incluso si no es posible detectar la galaxia anfitriona.

3. Observaciones

Hemos obtenido imágenes ópticas con Gemini GMOS de MAGIC J2001+435 y sus alrededores. Dado que el blazar está localizado cerca del plano Galáctico, con $E_{B-V} = 0.496$ (Schlafly & Finkbeiner 2011) las imágenes se tomaron en tres bandas diferentes: g' , r' y z' , donde la extinción es menor para esta última ($A_z = 0.709$). Esto nos permitirá tener un primer conocimiento de la región que nos será útil en caso de que se nos otorgue el pedido de turno para realizar espectroscopía con GMOS. Además, dado que el campo es bastante poblado, un análisis detallado de las imágenes obtenidas nos permitirá realizar una separación confiable galaxias-estrellas.

4. Trabajo a futuro

Si es posible estimar los parámetros estructurales de la galaxia anfitriona podremos modelar la misma con el fin de obtener los flujos intrínsecos del núcleo y de la galaxia. Además hemos solicitado un pedido de turno en el Telescopio de 2.2 m de Calar Alto, España para observar este blazar. Con toda esta información esperamos obtener un valor de la polarización intrínseca del núcleo y tener una medida de cuanto influye la galaxia anfitriona en las mediciones.

Agradecimientos

Lic. M. S. Sosa agradece a la Oficina Gemini de Argentina, en particular al Lic. Gabriel Ferrero.

Referencias

- Abdo, A. A., Ackermann, M., Ajello, M., et al. 2009, *ApJS*, 183, 46
- Andruchow, I., Cellone, S. A., Romero, G. E. 2008, *MNRAS*, 388, 1766
- Bassani, L., Landi, R., Masetti, N., Parisi, P., Bazzano, A., Ubertini, P. 2009, *MNRAS*, 397, L55
- Gould, R. J., Schréder, G. P. 1967, *Physical Review*, 155, 1408
- Mariotti, M. 2010, *The Astronomer's Telegram*, 2753
- Saxton, R. D., Read, A. M., Esquej, P., Freyberg, M. J., Altieri, B., Bermejo, D. 2008, *A&A*, 480, 611
- Sbarufatti, B., Treves, A., Falomo, R. 2005, *ApJ*, 635, 173
- Schlafly, E. F., Finkbeiner, D. P. 2011, *ApJ*, 737, 103
- Sosa, M. S., 2012, Tesis de Grado, FCAG-UNLP

Espectroscopía Flamingos 2 de candidatos a YSOs: ¿Un nuevo objeto Haro-Herbig?

María Mercedes Vazzano¹, Guillermo Bosch^{2,3}, Cristina Elisabet Cappa^{1,3}

¹ Instituto Argentino de Radioastronomía, CONICET, CCT La Plata, C.C.5, 1894, Villa Elisa, Argentina

² Instituto de Astrofísica La Plata, CONICET, Paseo del Bosque, 1900, La Plata, Argentina

³ Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de la Plata, Paseo del Bosque, 1900, La Plata, Argentina

Resumen

En esta contribución presentamos datos de espectroscopía de ranura larga obtenidos con Flamingos 2 en la región de la fuente WISE asociada con IRAS 10349–5824. Se utilizó la red de alta resolución en la banda *K* combinada con una ranura de 4 pixeles de ancho, redundando en una resolución $R = 1500$. Reportamos la detección de emisión Brackett gama vinculada con dos fuentes puntuales, una de las cuales exhibe emisión infrarroja difusa. Hemos detectado también emisión extendida de la transición roto-vibracional del hidrógeno molecular, la cual sugiere la presencia de gas chocado como se espera en el caso de flujos protoestelares en interacción con el gas molecular. Los resultados son complementados con observaciones de la línea $^{12}\text{CO}(2-1)$ obtenidas con el telescopio APEX.

1. Motivación y observaciones

Utilizando catálogos de fuentes puntuales infrarrojas, Vazzano et al. (2014a) y Cappa et al. (2008) identificaron numerosos candidatos a objetos estelares jóvenes (YSOs) asociados a la fuente IRAS 10349–5824 y ubicados en los bordes de la región HII Gum 31.

Los YSOs están generalmente asociados a *jets* detectables en las bandas ópticas e IR, emisión de H_2 en el NIR, y la presencia de objetos Haro-Herbig (HH). En particular, la banda de $4.5\ \mu\text{m}$ de Spitzer-IRAC incluye, además de emisión de $\text{Br}\alpha$ y $\text{Pfund}\beta$, líneas vibracionales de H_2 y rotovibracionales de CO, típicas de gas chocado (Watson et al. 2008). Esta emisión extendida de líneas moleculares es frecuente en YSOs y define la existencia de EGOs (*Extended Green Objects*), sugiriendo la presencia de flujos bipolares (Cyganowski et al. 2008), que se detectan también en la emisión del CO. La región había sido previamente observada en $^{12}\text{CO}(2-1)$, $^{13}\text{CO}(2-1)$ y $\text{C}^{18}\text{O}(2-1)$ con APEX (Vazzano et al. 2014b) con una resolución angular de $20''$.

A fin de estudiar las características y el estado evolutivo de algunos de estos candidatos a YSOs llevamos a cabo observaciones en el IR utilizando el instrumento Flamingos 2 de Gemini Sur, haciendo uso de la red de alta resolución en la banda K combinada con una ranura de 4 pixeles de ancho, redundando en una resolución $R = 1500$. Nuestro objetivo era detectar la línea rotovibracional de H_2 en $2.16 \mu\text{m}$ y líneas nebulares presentes en la misma banda IR.

2. Resultados

En el panel izquierdo de la Figura 1 se muestran los contornos correspondientes a la emisión de $4.5 \mu\text{m}$ de Spitzer-IRAC superpuestos a la imagen óptica de HST. La emisión en $4.5 \mu\text{m}$ es evidencia de la existencia de gas chocado y su distribución elongada hacia el sudeste podría ser indicio de la existencia de flujos protoestelares en esa dirección. En círculos se indican las posiciones de fuentes WISE clasificadas como clase II según criterio de Koenig et al. 2012. En el panel central se muestra la distribución de ^{12}CO a -23.0 km s^{-1} , que revela tres nubes moleculares que delimitan una cavidad en la que se encuentra ubicada la fuentes WISE 103648.97-584010.7. Esta coincide además con el máximo de emisión en $4.5 \mu\text{m}$, lo que sugiere que ha sido la responsable de modificar el entorno. En el panel derecho de la Figura 1 se muestra la imagen de adquisición de Flamingos 2 donde se superpone la posición de la ranura larga utilizada para espectroscopía en la banda K . Se identifica la posición de fuentes puntuales (PS) con emisión de continuo y fuentes extendidas (ES) con emisión de líneas discretas.

En la Figura 2 se muestra en el panel izquierdo la extracción para el objeto PS2, identificado como el candidato a YSO, que exhibe emisión de continuo—normalizado— junto con fuerte emisión de $\text{Br}\gamma$ y, posiblemente CO , en emisión, mientras que a la derecha se puede ver el espectro de ES2, sin contribución de continuo, pero con numerosas líneas de diversas transiciones de H_2 . El ancho de las cajas definidas con línea punteada en la Figura 1 delimita aproximadamente el área que abarca la extracción de señal para obtener el espectro unidimensional de las ES, mientras que para las PS se realizó la extracción convencional de fuentes puntuales.

Evidencia adicional está dada por la presencia de gas molecular en las alas roja y azul de los espectros de CO a lo largo del la ranura, ubicadas a -20.5 km s^{-1} (rojo) y a -25.0 km s^{-1} (azul) que podrían representar flujos moleculares bipolares originados en PS2.

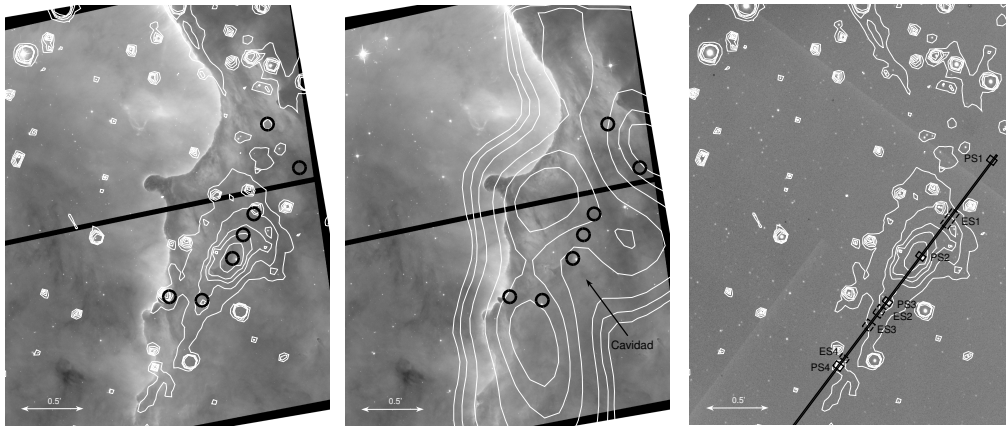


Figura 1: *Izquierda*: contornos correspondientes a la emisión de $4.5 \mu\text{m}$ de Spitzer-IRAC ($4, 6, 8, 10, 15 \text{ MJy sr}^{-1}$) superpuestos a la imagen óptica de HST. Los círculos indican la posición de fuentes WISE identificadas como YSOs clase II. *Centro*: contornos correspondientes a la emisión de $^{12}\text{CO}(2-1)$ a -23.0 km s^{-1} ($2, 3, 5, 10, 15, 20 \text{ K}$) superpuestos a la imagen óptica de HST. *Derecha*: imagen de adquisición en banda H de Flamingos 2 donde se superpone la posición de la ranura larga utilizada para espectroscopía en banda K y la posición de las fuentes puntuales (PS) y extendidas (ES) identificadas.

3. Conclusiones

La coincidencia de la fuente puntual PS2 con una fuente WISE clasificada como YSO clase II, con emisión extendida en $4.5 \mu\text{m}$, con la cavidad en gas molecular y con emisión en $\text{Br}\gamma$ nos permite inferir que se trataría de una estrella masiva en formación. El mínimo en la distribución de gas molecular sugiere que el gas ha sido disociado, mientras que la emisión en $\text{Br}\gamma$ indica que ha sido posteriormente ionizado.

Las fuentes extendidas ES1, ES2 y ES3, detectadas en H_2 en $2.16 \mu\text{m}$, están mostrando la presencia de gas chocado y se originarían en flujos protoestelares interactuando con el gas molecular, denotando la presencia de objetos HH en los extremos del *jet*.

Esta hipótesis es apoyada por la presencia de gas molecular en las alas roja y azul de los espectros de CO a lo largo del la ranura, que pueden interpretarse como flujos moleculares bipolares. La extensión hacia el sudeste de la emisión en $4.5 \mu\text{m}$ es una evidencia adicional de la existencia de los flujos protoestelares (Looney et al. 2007).

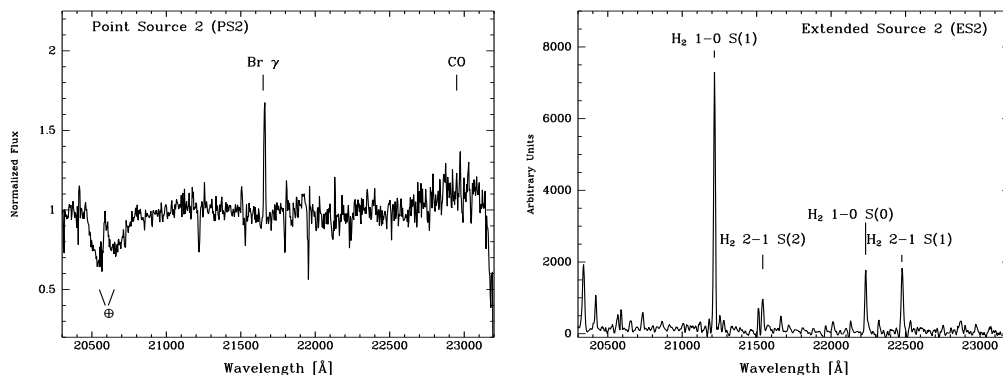


Figura 2: Extracciones para los objetos PS2 (*izquierda*), identificado como el candidato a YSO, y para ES2 (*derecha*).

Agradecimientos

M. M. Vazzano y C. E. Cappa son miembros de los subsidios a la investigación G120 de UNLP y PIP0356 de CONICET, por medio de los cuales se ha llevado a cabo este trabajo.

Referencias

- Cappa, C., Niemela, V. S., Amorín, R., & Vasquez, J. 2008, *A&A*, 477, 173
- Cyganowski, C. J., Whitney, B. A., Holden, E., Braden, E., Brogan, C. L., Churchwell, E., Indebetouw, R., Watson, D. F., Babler, B. L., Benjamin, R., Gomez, M., Meade, M. R., Povich, M. S., Robitaille, T. P. & Watson, C. 2008, *AJ*, 136, 2391
- Koenig, X. P., Leisawitz, D. T., Benford, D. J., Rebull, L. M., Padgett, D. L. & Assef, R. J. 2012, *ApJ*, 744, 130
- Looney, L. W., Tobin, J. J. & Kwon, W. 2012, *ApJ*, 670, 131
- Vazzano, M. M., Cappa, C. E., Vasquez, J., Rubio, M. & Romero, G. A. 2014a, *A&A*, 570, 109
- Vazzano, M. M., Vasquez, J., Cappa, C. E. & Rubio, M. 2014b, *BAAA*, 57, 206
- Watson, C., Povich, M. S., Churchwell, E. B., Babler, B. L., Chunev, G., Hoare, M., Indebetouw, R., Meade, M. R., Robitaille, T. P. & Whitney, B. A. 2008, *ApJ*, 681, 1341

Index of Authors

- Agüero, María Paz, 47, 59, 147
Albrecht, Simon, 121
Alonso, M. Victoria, 1, 51
Andruchow, Ileana, 117
Arias, María Laura, 55, 129, 155, 159
Arnal, E. Marcelo, 125
- Barbá, Rodolfo, 81
Bassino, Lilia, 7, 69, 105, 137
Borges Fernandes, Marcelo, 159
Bosch, Guillermo, 59, 81, 91, 147, 175
- Calderón, Juan Pablo, 69
Camperi, Javier A., 59, 147
Cappa, Cristina Elisabet, 175
Cardaci, Mónica V., 91
Cardwell, Andrew, 35
Carrasco, Rodrigo, 17
Caso, Juan Pablo, 69
Cellone, Sergio A., 11, 95, 105, 117, 121, 171
Cichowolski, Silvina, 125
Cidale, Lydia, 11, 55, 63, 129, 155, 159
Cochetti, Yanina, 129
Cúneo, Virginia A., 133
- Díaz, Rubén J., 23, 29, 47, 59, 91, 147
Dors, Oli, 91
Dottori, Horacio, 91
Dreizler, Stefan, 121
- Escudero, Carlos G., 69, 73, 77, 95, 137, 167
Escudero, Jorge, 145
- Faifer, Favio R., 69, 73, 77, 95, 105, 109, 137, 167
Fariña, Cecilia, 81
Feinstein, Carlos, 99
Ferreiro, Diego L., 163
Ferrero, Leticia, 87
Firpo, Verónica, 91
Forte, Juan Carlos, 73, 77, 95, 105, 109, 167
- Gómez, Mercedes N., 87, 133, 141, 151
Gamen, Roberto, 125
García Lambas, Diego, 51
García, Luciano H., 141, 151
Girola, Rafael, 145
Gomez, Percy L., 59, 147
Gómez, Mercedes N., 87, 133, 141, 151
González, Nélica, 95, 167
- Granada, Anahí, 55, 129
Günthardt, Guillermo I., 59, 87, 147
- Hägele, Guillermo F., 91
Hibon, Pascale, 35
Hobson, Melissa, 151
- Jofré, Emiliano, 133, 151
- Kannappan, Sheila J., 73
Kraus, Michaela, 55, 155, 159
- Liermann, Adrienne, 159
- Martioli, Eder, 41
Muratore, María Florencia, 155, 159
Muriel, Hernán, 51
- Nilo Castellón, José Luis, 51
Norris, Mark A., 73, 77
- Oio, Gabriel A., 163
Oksala, Mary E., 159
Ortega, Martín E., 81, 125
- Parón, Sergio, 81
Petrucci, Romina, 151
Pineault, Serge, 125
Pintado, Olga, 133
- Racchiusa, Norma, 145
Rantakyrö, Fredrik T., 35
Reynaldi, Victoria, 99
- Santos, Marta, 145
Scalia, María Cecilia, 105
Schirmer, Mischa, 47, 59, 147
Schmidt, Eduardo, 163
Sesto, Leandro A., 77, 95, 109, 167
Smith Castelli, Analía V., 77, 95, 105, 113, 167
Sosa, Marina S., 171
Suad, Laura A., 125
- Torres Zafra, Juanita, 117
Torres, Andrea, 55
- Valotto, Carlos, 51
Vazzano, María Mercedes, 175
Vega Luis R., 163
von Essen, Carolina, 121