Propiedades físicas del gas en regiones de formación estelar múltiples en galaxias BCDs: IIZw33 y Mrk600

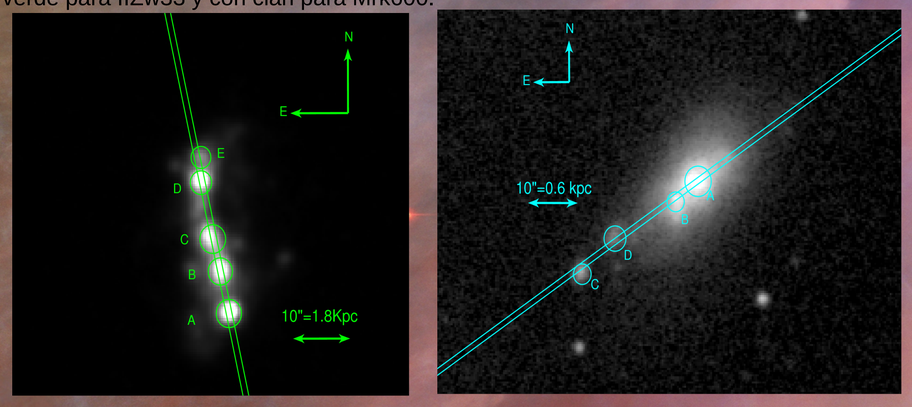
F. Campuzano-Castro[1], G. F. Hägele[1-2], M. Cardaci[1-2], G. Bosch[1-2], V. Firpo[1-3]

[1]Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de La Plata, Universidad Nacional de La Plata (FCAGLP-UNLP), [2]Instituto de Astrofísica de La Plata (IALP-CONICET), [3]Universidad de la Serena, Chile.

En este trabajo realizamos un análisis detallado de los espectros del gas ionizado de 9 regiones HII gigantes con brotes de formación estelar violenta pertenecientes a dos Galaxias Compactas Azules (BCDs: Blue Compact Dwarfs). Hemos medido una gran cantidad de líneas de recombinación y prohibidas teniendo en cuenta la presencia de la población subyacente (para lo cual debimos definir un pseudo-continuo en las líneas de emisión de hidrógeno y helio) y realizando un desdoblamiento en los casos que lo requerían. Los cálculos de los parámetros físicos del gas han sido estimados utilizando la metodología planteada por nuestro grupo en Hägele et al. (2006, 2008). En los nudos de formación estelar, dependiendo los casos, pudimos calcular: (i) el enrojecimiento a partir de las líneas de recombinación del hidrógeno en todas las regiones; (ii) las densidades electrónicas de la zona de baja excitación a partir del cociente de las líneas del azufre una vez ionizado [SII]6717A y 6731A; (iii) utilizando las líneas aurorales presentes en los espectros de varias de nuestras regiones pudimos determinar temperaturas electrónicas utilizando el método directo (ver Hägele et al. 2008) y relaciones empíricas y de modelos de foto-ionización (ver Hägele et al. 2006, 2008, Pérez-Montero 2005): T_e([OII]), T_e([OIII]), T_e([SII]), T_e([SIII])], y T_e([NII]) dependiendo de la calidad de los espectros y las líneas medidas en ellos; (iv) abundancias iónicas de He^+, O^+, O^{2+}, S^+, S^{2+}, N^+, Ne^{2+}, Ar^{2+} y del Ar^{3+} en la mayoría de los nudos de formación estelar, excepto el último que sólo pudo ser medido para algunos objetos; (v) las abundancias químicas totales de O, S, N, Ne y Ar; (vi) el grado de ionización del gas nebular perteneciente a estas regiones de formación estelar a partir del parámetro η.

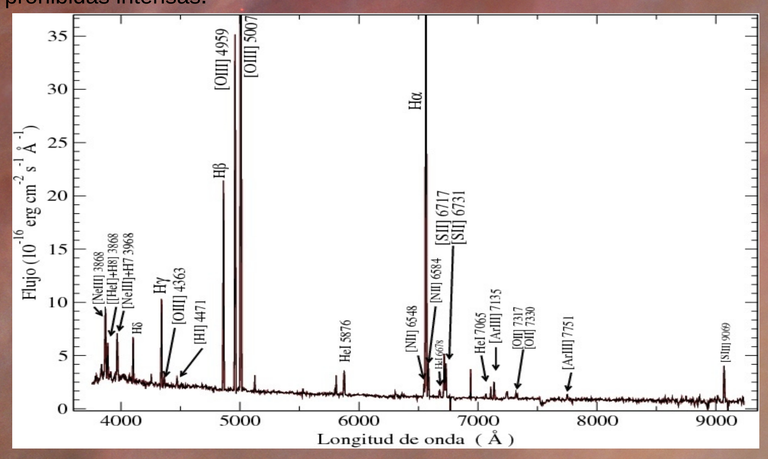
Observación:

Los espectros de rendija larga (de 1 arcsec de ancho), de resolución media (R≃900) (Δλ=7.5Å en λ=6700Å) fueron tomados con el CCD de campo amplio del telescopio Irénée Du Pont (2.5 mts) en el Observatorio Las Campanas, Chile. El detector TEK5 fue utilizado en el rango de longitud de onda λ3800-9200Å, centrado en λc=6700Å. Las condiciones de observación (seeing ≃ 1arcsec) y fotométricas del cielo fueron buenas. Como estrella de calibración en flujo se utilizo a EG 131, la cual fue observada con un tiempo de exposición de 180 segundos. Las imágenes fueron procesadas y analizadas con IRAF de la manera convencional. Los espectros analizados corresponden a los nudos marcados con color verde para IIZw33 y con cian para Mrk600.



Imágenes en la banda R de las galaxias observadas con las rendijas superpuestas y los nudos de formación estelar marcados. La galaxia de la izquierda corresponde a IIZw33 y la de la derecha a MRK600.

El espectro corresponde a IIZw33A, uno de los nudos de formación estelar estudiados, que presenta una muy buena señal/ruido y en el que hemos podido medir líneas prohibidas intensas.



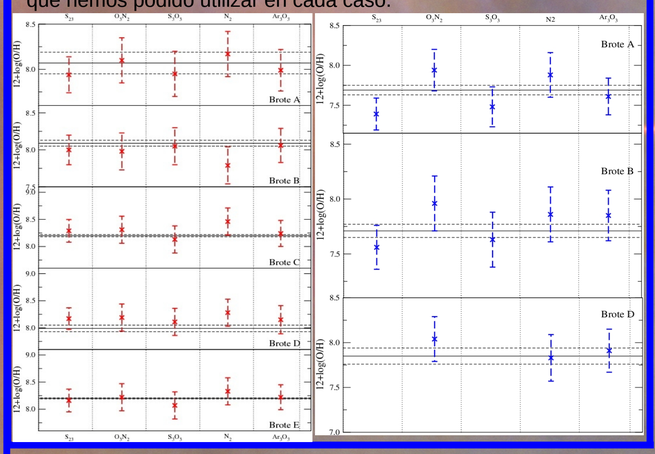
GALAXIAS	MEDIDAS: DENSIDADES Y TEMPERATURAS					
IIZw33	n_e(SII)	T_e([OIII])	T_e([OII])	T_e([SIII])	T_e([SII])	T_e([NII])
IIZw33A	40	1.16±0.10	1.24±0.06	1.24±0.06	1.02±0.25	1.24±0.06
IIZw33B	9	1.05±0.02	1.26±0.01	1.12±0.02	0.89±0.16	1.26±0.01
IIZw33C	57	1.00	1.07	0.87	1.09	1.07
IIZw33D	4	1.21±0.14	1.4±0.02	1.16±0.22	1.17±0.04	1.4±0.02
IIZw33E	10	1.00	1.21	0.87	1.21	1.21
Mrk600						
MrkA	80	1.69±0.09	1.5±0.04	1.69±0.2	1.46±0.06	1.5±0.4
MrkB	20	1.88±0.29	1.60±0.04	2.36±0.47	1.60±0.04	1.60±0.04
MrkC	147	1.00	0.99	0.87	0.99	0.99
MrkD	32	1.27±0.05	1.34±0.03	1.19±0.16	1.01±0.06	1.34±0.03

Abundancias químicas iónicas y totales:

Por medio de las ecuaciones dadas en Hägele et al. (2008) hemos podido estimar, en general, las abundancias iónicas (O^+, O^{2+}, S^+, S^{2+}, Ar^{2+}, Ne^{2+} y N^+) y las totales para el O, S, N, Ne y Ar (ver Tabla inferior).

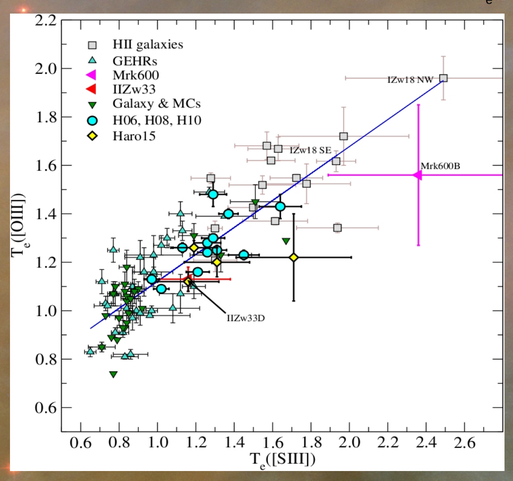
Abundancias químicas: parámetros empíricos:

Estos "métodos empíricos" se basan en las propiedades de enfriamiento de la nebulosa ionizada que se traducen en una relación entre las intensidades de emisión de las líneas y las abundancias de oxígeno. Hemos obtenido un muy buen acuerdo entre las estimaciones realizadas utilizando el método directo y las relaciones derivadas de los modelos de foto-ionización, y las estimaciones obtenidas a partir de los distintos métodos empíricos que hemos podido utilizar en cada caso.



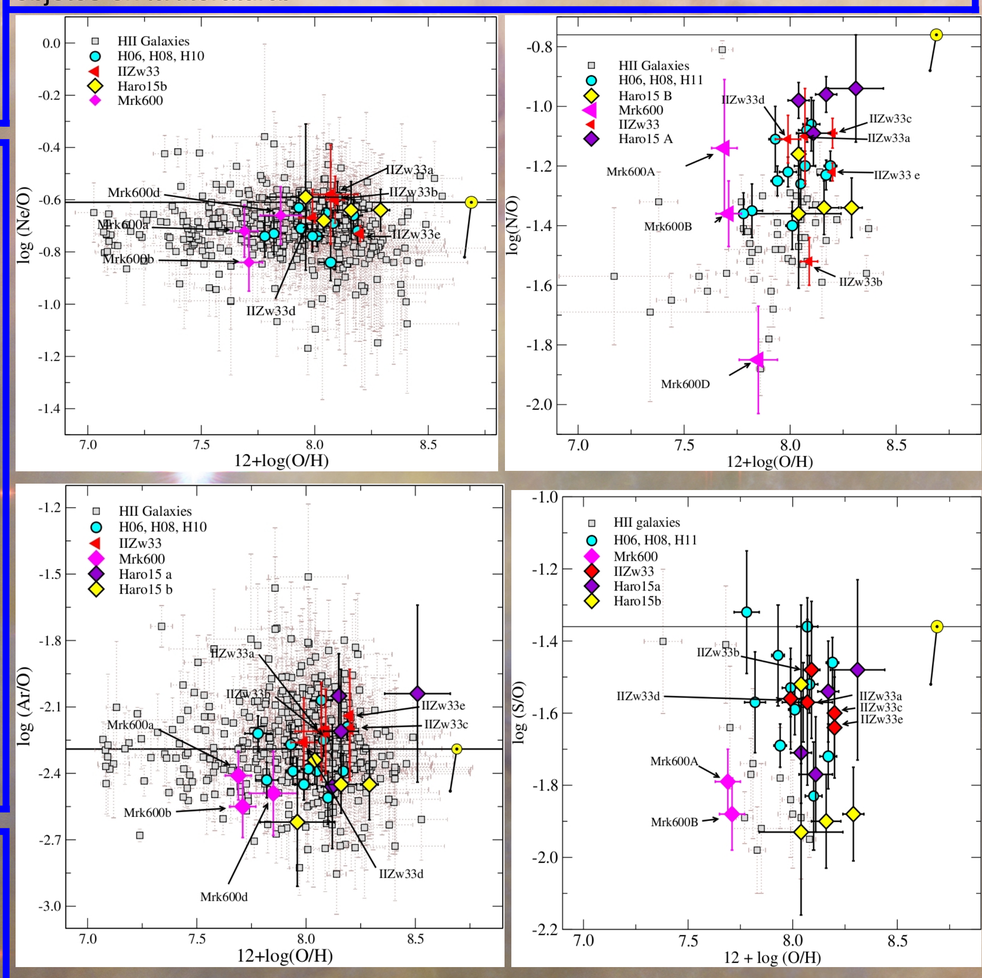
Relación empírica entre T_e([OIII]) vs. T_e([SIII]):

Utilizamos la relación entre ambas temperaturas para los casos en que no es posible medir flujo de [OIII]λ4363. Usando las temperaturas electrónicas para [SIII] determinadas con λ6312 y λ9069, damos una estimación empírica para T_e([OIII]).



Densidades y Temperaturas:

Hemos podido estimar las temperaturas correspondientes a los distintos elementos aplicando el método directo (ver el detalle del método en Hägele et al. 2008) en los casos en que contamos con la medida de las líneas aurorales, y para los casos en que la medida de alguna o de todas (asignando una T_e([OIII]) de 10000K típica de estas regiones) ellas no fue posible, obtuvimos las estimaciones de las temperaturas por medio de relaciones empíricas y modelos de foto-ionización, obteniendo temperaturas entre aproximadamente 8700 y 14000K (ver Tabla superior), rango típico que se encuentra para estos objetos en la literatura.



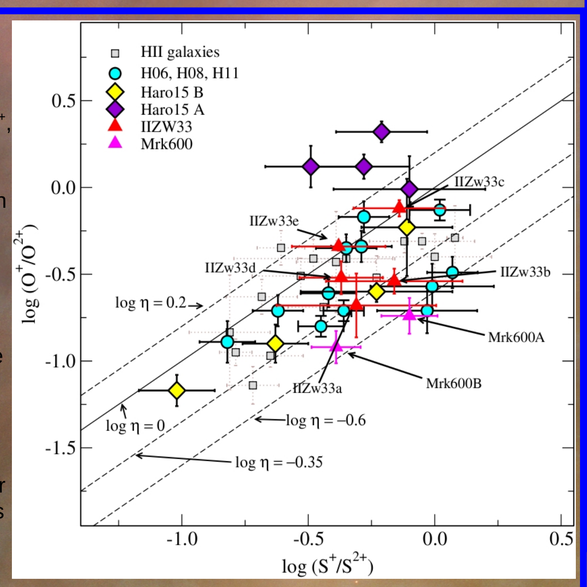
Es posible estimar algunas características globales de la evolución estelar de las regiones HII analizando los cocientes entre las abundancias totales de los elementos químicos y el oxígeno. En estas Figuras vemos que los cocientes Ne/O, Ar/O, N/O y S/O muestran valores esperables para este tipo de objetos, encontrándose dentro de los valores típicos que se pueden hallar en la literatura para las galaxias HII, por lo cual podemos deducir que su evolución, tanto desde el punto de vista químico como de las poblaciones estelares, y su estado actual no presentan anomalías destacables para este tipo de objetos.

Abundancias	IIZw33A	IIZwB	IIZwC	IIZwD	IIZwE	Mrk600A	M600B	M600C	M600D
12+log(O+/H+)	7.30±0.15	7.44±0.06	7.83±0.05	7.35±0.07	7.70±0.02	6.72±0.08	6.90±0.09	---	7.52±0.13
12+log (O2+/H+)	7.99±0.11	7.98±0.03	7.95±0.00	7.88±0.06	8.03±0.00	7.64±0.05	7.64±0.06	7.94±0.43	7.58±0.05
12+log (O/H)	8.07±0.12	8.09±0.04	8.20±0.02	7.99±0.06	8.20±0.01	7.69±0.06	7.71±0.06	---	7.85±0.09
12+log (S+/H+)	5.85±0.27	6.09±0.22	6.17±0.03	5.77±0.02	5.94±0.01	5.12±0.04	5.29±0.03	---	6.03±0.08
12+log (S2+/H+)	6.16±0.16	6.26±0.15	6.31±0.18	6.14±0.16	6.32±0.18	5.51±0.09	5.39±0.11	---	---
ICF(S+ + S2+)	1.48±0.05	1.36±0.03	1.12±0.12	1.34±0.01	1.22±0.01	1.75±0.04	1.53±0.03	---	---
12+log (S/H)	1.48±0.05	6.62±0.18	6.60±0.12	6.43±0.13	6.56±0.14	5.90±0.08	5.83±0.08	---	---
log (S/O)	-1.57±0.23	-1.48±0.19	-1.60±0.12	-1.56±0.14	-1.64±0.14	-1.79±0.09	-1.88±0.10	---	---
12+log (N+/H+)	6.20±0.07	5.92±0.52	6.74±0.02	6.24±0.03	6.48±0.02	5.58±0.22	5.55±0.07	---	5.67±0.12
12+log (N/H)	6.97±0.20	6.57±0.23	7.11±0.16	6.88±0.3	6.98±0.08	6.55±0.36	6.36±0.32	---	6.00±0.49
log (N/O)	-1.10±0.16	-1.52±0.08	-1.09±0.05	-1.11±0.08	-1.22±0.03	-1.14±0.23	-1.36±0.11	---	-1.85±0.18
12+log (Ne2+/H+)	7.45±0.15	7.46±0.08	---	7.28±0.09	7.43±0.03	6.94±0.09	6.85±0.09	---	7.13±0.07
ICF(Ne2+)	1.08±0.01	1.08±0.01	---	1.08±0.00	1.10±0.01	1.07±0.01	1.08±0.01	---	1.15±0.03
12+log (Ne/H)	7.49±0.15	7.49±0.08	---	7.32±0.09	7.47±0.03	6.97±0.09	6.88±0.09	---	7.19±0.07
log (Ne/O)	-0.58±0.19	-0.60±0.09	---	-0.67±0.11	-0.73±0.03	-0.72±0.10	-0.84±0.11	---	-0.66±0.11
12+log (Ar2+/H+)	5.77±0.18	5.82± 0.19	5.95±0.23	5.67±0.19	6.02±0.21	5.21±0.10	5.07±0.13	---	5.31±0.16
ICF(Ar2+)	1.21±0.03	1.15±0.01	1.12±0.00	1.14±0.01	1.11±0.00	---	1.24±0.02	---	1.12±0.01
12+log (Ar/H)	5.85±0.18	5.88±0.19	6.00±0.23	5.73±0.19	6.06±0.21	5.28±0.1	5.17±0.13	---	5.36±0.1

Estructura de ionización:

Hemos calculado el parámetro de blandura por medio del cociente de abundancias iónicas O^+/O^{2+} vs. S^+/S^{2+}, el que nos permite caracterizar la temperatura efectiva del campo de radiación ionizante de las estrellas en el interior de las regiones de formación.

Los nudos C, D y E de IIZw33 muestran valores del parámetro η compatibles entre sí, o sea que la temperatura efectiva de su campo de radiación ionizante es similar, siendo esta temperatura mayor a la que muestran los nudos A y B de esta galaxia. Esto implicaría que estas últimas regiones de formación estelar son objetos más evolucionados, y los nudos C, D y E serían cúmulos que contienen estrellas más tempranas.



En el caso de Mrk600, los nudos A y B, los únicos para los que pudimos determinar ambos cocientes, muestran valores de η compatibles entre sí, y un parámetro con un valor aún más bajo que para los nudos A y B de IIZw33, lo que implicaría la existencia de cúmulos un poco más evolucionados aún.

Conclusiones:

Hemos podido derivar distintas temperaturas electrónicas por medio del método directo y a través de relaciones empíricas y de modelos de fotoionización estimamos las restantes. Determinamos abundancias químicas iónicas y totales para muchos de nuestros nudos de formación estelar. Estudiamos la ionización de gas causada por las estrellas en el interior de estas regiones por medio del parámetro de blandura estimando como resultados distintas edades y durezas del campo de radiación entre los nudos.

Hemos seguido la filosofía del trabajo propuesta por Hägele et al. (2006,2008 y 2011) y continuaremos nuestro trabajo con el análisis de espectros echelle de ambas galaxias para ampliar los estudios en estas regiones y sus propiedades físicas y la cinemática que estas desarrollan.

Contacto:
fedecampu@fcaglp.unlp.edu.ar

"Si no nos salvamos nosotros como pueblo no nos salvaremos más"...
Julio Cortazar