

Un estudio comparativo de procesos de Formación Estelar en distintos entornos

Guillermo F. Hägele

guille.hagele@uam.es

Esta tesis trata del estudio de dos entornos muy diferentes donde está teniendo lugar formación estelar a gran escala. Uno, asociado con galaxias irregulares enanas de baja metalicidad, llamadas galaxias HII, contiene gas de baja densidad, temperatura relativamente alta y muestra al menos un episodio de formación estelar violenta. Por el contrario, el segundo ambiente, asociado con regiones circunucleares de formación estelar (CNSFRs) en patrones anulares localizados en las zonas centrales (~ 1 kpc) de algunas galaxias espirales barradas de tipo temprano, contiene gas de temperatura baja y densidad relativamente alta, rico en metales.

Hemos propuesto una metodología para realizar un análisis autoconsistente de las propiedades físicas del gas emisor en galaxias HII adecuado a los datos que se pueden obtener con la tecnología del siglo XXI. Esta metodología requiere la producción y la calibración de relaciones empíricas entre las diferentes temperaturas de línea que debería reemplazar los actualmente utilizados basados en secuencias de modelos de fotoionización excesivamente simples y pobremente contrastados.

Como primer paso para alcanzar esta meta hemos obtenido espectros de rendija larga simultáneos desde el azul hasta el rojo lejano de 10 galaxias utilizando espectrógrafos de doble brazo. Estos espectros cubren el rango desde ~ 3200 hasta ~ 10500 Å, incluyendo las líneas de [OII] $\lambda\lambda 3727, 29$ Å, el doblete [SIII] $\lambda\lambda 9069, 9532$ Å como también varias líneas aurorales débiles tales como [OIII] $\lambda 4363$ Å y [SIII] $\lambda 6312$ Å.

El análisis de estas observaciones nos ha permitido definir una metodología para obtener abundancias elementales precisas de oxígeno, azufre, nitrógeno, neón, argón y hierro en el gas ionizado. Para todos los objetos se han medido por lo menos cuatro temperaturas de línea: $T_e([\text{OIII}])$, $T_e([\text{SIII}])$, $T_e([\text{OII}])$ and $T_e([\text{SII}])$, y una densidad electrónica, $N_e([\text{SII}])$. Con estas medidas y un tratamiento cuidadoso y realista de los errores observacionales, se obtuvieron abundancias totales de oxígeno con una precisión entre 5 y 9%.

Posteriormente presentamos un estudio de las líneas de emisión colisionales intensas en el óptico de Ne y Ar en una muestra heterogénea de nebulosas gaseosas ionizadas para las cuales es posible derivar directamente la temperatura electrónica y por lo tanto las abundancias químicas de neón y argón. Se han calculado nuevos factores de corrección de ionización para estos dos elementos químicos utilizando un conjunto de modelos de foto-ionización y se ha estudiado el comportamiento de los cocientes de abundancias Ne/O y Ar/O con la metalicidad. Mientras que se ha encontrado un valor constante para Ne/O, parece haber alguna evidencia de la existencia de un gradiente radial negativo de Ar/O en

los discos de algunas espirales cercanas.

En la siguiente parte de nuestro trabajo presentamos medidas de la dispersión de velocidades en 17 regiones de formación estelar circunucleares y los núcleos de tres galaxias espirales barradas: NGC 2903, NGC 3310 y NGC 3351 a partir de espectros de alta dispersión. Las dispersiones estelares han sido obtenidas de las líneas del triplete de CaII (CaT) a $\lambda\lambda 8494, 8542, 8662$ Å, mientras que las dispersiones de velocidades del gas han sido medidas mediante ajustes gaussianos a las líneas de H β $\lambda 4861$ Å y de [OIII] $\lambda 5007$ Å. Utilizando las dispersiones de velocidades estelares y los tamaños derivados a partir de observación del HST, hemos derivado las masas dinámicas para los complejos de formación estelar completos y para los cúmulos estelares individuales.

Hemos encontrado indicaciones de la presencia de dos componentes cinemáticas diferentes en el gas ionizado de las regiones. La componente estrecha parece tener un valor relativamente constante para todas las CNSFRs estudiadas y podría identificarse con gas ionizado en un disco rotante, mientras que las estrellas y la fracción de gas (responsable de la componente ancha) relacionadas con las regiones de formación estelar, estarían mayormente soportadas por presión dinámica.

Como última parte de la tesis se presentan observaciones de rendija larga en el óptico y en el infrarrojo cercano de 12 regiones HII circunucleares en las galaxias espirales de tipo temprano: NGC 2903, NGC 3351 and NGC 3504 con el propósito de derivar sus abundancias químicas. Sólo para una de las regiones, se detectó la línea [SIII] $\lambda 6312$ Å proporcionando un valor de la temperatura electrónica de $T_e([\text{SIII}])$. Se presenta un método semi-empírico para la derivación de las abundancias en el régimen de alta metalicidad.

Usando este método, se han obtenido abundancias que son comparables con las encontradas en regiones HII de disco de alta metalicidad, con medidas directas de temperaturas electrónicas y son consistentes con valores solares dentro de los errores. La región con la abundancia de oxígeno más alta tiene alrededor de 1.6 veces solar y la abundancia más baja es de alrededor de 0.6 veces la solar. En todas las CNSFRs observadas la abundancia de O/H está dominada por la contribución de O^+/H^+ , como es también el caso para las regiones HII de disco de alta metalicidad. Sin embargo, para nuestras regiones observadas, también el cociente S^+/S^{2+} es mayor que uno, contrario a lo que se encuentra en las regiones HII de disco de alta metalicidad para las cuales, en general, la abundancia de azufre está dominada por S^{2+}/H^+ .

Las CNSFRs también muestran parámetros de ionización menores que los de sus contrapartidas de disco, como se deriva a partir del cociente [SII]/[SIII]. Sus estructuras de ionización también parecen ser diferentes: las CNSFRs muestran propiedades del campo de radiación más similares a las galaxias HII que a las regiones HII de disco de alta metalicidad.

Publicaciones derivadas de esta tesis:

Esta tesis doctoral ha dado lugar a la publicación directa de ocho artículos en revistas internacionales con arbitraje, y 12 proceedings de conferencias. El impacto de los artículos arbitrados es de un total de 32 citas (excluyendo las autocitas).

Del trabajo futuro planteado directamente a partir de los resultados de la presente tesis ya existe un artículo aceptado por MNRAS (un estudio de las metalicidades y la historia de formación estelar en las galaxias HII estudiadas en esta tesis haciendo uso de los datos presentados en ésta y utilizando modelos de fotoionización), un artículo enviado a MNRAS (un cartografiado con alta resolución espacial en el continuo de radio en y alrededor de NGC 3351), y otro que está en proceso de preparación para enviar a MNRAS (un estudio diferencial de las propiedades físicas en brotes múltiple de formación estelar en dos de las galaxias HII estudiadas por nosotros y haciendo uso de los datos presentados en la tesis).

Por otro lado, el trabajo desarrollado durante mi tesis doctoral ha dado lugar a la co-dirección por mi parte, junto al Dr. Guillermo Bosch, de la Tesis Doctoral de la Lic. Verónica Firpo en la Universidad Nacional de La Plata, Argentina. Dicha tesis es, en gran parte, la aplicación al estudio de regiones de formación estelar gigantes en galaxias espirales y galaxias HII cercanas en las cuales podemos resolver los distintos nudos que las componen, de las distintas técnicas que hemos desarrollado y los métodos que hemos implementado durante mi tesis doctoral. Esto ya ha dado como resultado indirecto de mi tesis el envío de un artículo que esta en proceso de arbitraje en MNRAS y de otros dos que están en preparación.

Artículos directos:

1. **The temperature and ionization structure of the emitting gas in HII galaxies: Implications for the accuracy of abundance determinations.** G. F. Hägele, E. Pérez-Montero, A. I. Díaz, E. Terlevich and R. Terlevich. 2006, MNRAS, 372, 293.
2. **Kinematics of gas and stars in the circumnuclear starforming ring of NGC 3351** G. F. Hägele, A. I. Díaz, M. V. Cardaci, E. Terlevich and R. Terlevich. 2007, MNRAS, 378, 163.
3. **Neon and Argon optical emission lines in ionized gaseous nebulae: Implications and applications.** E. Pérez-Montero, G. F. Hägele, T. Contini and A. I. Díaz. 2007, MNRAS, 381, 125.
4. **The metal abundance of circumnuclear star forming regions in early type spirals. Spectrophotometric observations.** A. I. Díaz, E. Terlevich, M. Castellanos and G. F. Hägele. 2007, MNRAS, 382, 251.
5. **Precision abundance analysis of bright HII galaxies.** G. F. Hägele, A. I. Díaz, E. Terlevich, R.

Terlevich, E. Pérez-Montero and M. V. Cardaci. 2008, MNRAS, 383, 209.

6. **On the derivation of dynamical masses of the stellar clusters in the circumnuclear region of NGC 2903.** G. F. Hägele, A. I. Díaz, M. V. Cardaci, E. Terlevich and R. Terlevich. 2007, MNRAS, 396, 2295.
7. **The circumnuclear environment of the peculiar galaxy NGC 3310.** G. F. Hägele, A. I. Díaz, M. V. Cardaci, E. Terlevich and R. Terlevich. MNRAS en prensa.
8. **Circumnuclear star-forming regions in early type spiral galaxies.** G. F. Hägele, A. I. Díaz, M. V. Cardaci, E. Terlevich and R. Terlevich. En preparación para enviar a MNRAS.

Artículos derivados de los resultados de la tesis:

1. **Disentangling the metallicity and star formation history of HII galaxies through tailor-made models.** E. Pérez-Montero, R. García-Benito, G. F. Hägele and A. I. Díaz. Aceptada por MNRAS.
2. **Sub-arcsecond radio continuum mapping in and around NGC 3351 using MERLIN.** G. F. Hägele, Y. Ascasibar, A. Richards, M. V. Cardaci, J. Vázquez, A. I. Díaz, D. Rosa-González, R. Terlevich and E. Terlevich. Enviada a MNRAS el 1 de febrero de 2010.
3. **Abundance determinations of multiple knots in two SDSS galaxies.** G. F. Hägele, R. García-Benito, E. Pérez-Montero, A. I. Díaz, M. V. Cardaci, V. Firpo, E. Terlevich and R. Terlevich. En preparación para enviar a MNRAS.

Artículos indirectos:

1. **Giant HII Regions in NGC 7479 and NGC 6070.** V. Firpo, G. Bosch, G. F. Hägele and N. Morrell. Enviada a MNRAS el 14 de octubre de 2009.
2. **Haro 15, really a Blue Compact Dwarf galaxy?** V. Firpo, G. Bosch, G. F. Hägele, A. I. Díaz, R. Díaz and N. Morrell. En preparación para enviar a MNRAS.
3. **Internal kinematic and physical properties in a BCD galaxy: Haro 15 in detail.** V. Firpo, G. Bosch, G. F. Hägele, A. I. Díaz and N. Morrell. En preparación para enviar a MNRAS.