

# ¿Pueden ser las interacciones el principal mecanismo para la formación estelar en las galaxias Wolf-Rayet?



Ángel R. López-Sánchez y César Esteban

Instituto de Astrofísica de Canarias, La Laguna, Tenerife, España

## RESUMEN

Las interacciones pueden ser un mecanismo importante que dispara la formación estelar en las galaxias Wolf-Rayet, especialmente en las enanas cuando se observan con suficiente resolución y profundidad. Algunas de ellas presentan varias colas de marea conectadas a pequeños agregados estelares. Presentamos imágenes CCD y espectroscopia óptica de resolución intermedia de varias galaxias Wolf-Rayet y los objetos que las rodean para estudiar su interrelación. Analizamos la morfología de estos sistemas, su cinemática y la composición química del gas ionizado.

### Mrk 1087

Mrk 1087 podría ser una galaxia Wolf-Rayet (Schaerer et al. 1999). Se sitúa a 111 Mpc, y tiene una galaxia compañera (K72 103a) a 81 kpc hacia el SO. Keel (1998) propuso que el objeto es una galaxia en formación rodeada por filamentos de gas ionizado. Hemos obtenido espectroscopia de rendija larga de resolución intermedia (4.2m WHT – ISIS) cubriendo la mayoría de los objetos del sistema, siguiendo el estudio de Méndez & Esteban (2000), además de imagen CCD en banda V (2.1m CAHA – CAFOS) del grupo (figura 1). Nuestra imagen muestra una nueva y débil galaxia compañera ( $M_V \sim -18.2$ ) justo al norte de Mrk 1087. Tiene forma elíptica y muestra emisión nebulosa, poseyendo una velocidad radial de  $+117 \text{ km s}^{-1}$  con respecto a la parte central de Mrk 1087. Parece claro que ambos objetos están físicamente asociados, a una distancia de unos 60 kpc.

Hemos detectado emisión nebulosa débil en los objetos #1, #3 y #7, pero no en #12, mientras que los objetos #2 y #11 no fueron observados. #1 y #3 tienen velocidades radiales parecidas a la velocidad sistemática de Mrk 1087. Keel (1988) interpretó #7 como un objeto compañero externo interactuando con el cuerpo principal, pero nosotros lo confirmamos este resultado. De hecho, #7 parece seguir muy de cerca el patrón general de rotación del gas ionizado. Al no detectar la línea de [OIII] 4363 Å en ninguno de los espectros, hemos calculado las abundancias iónicas a partir de calibraciones empíricas. En particular hemos usado el parámetro  $R_{23}$  (Pilyugin 2000) y la relación [NII] 6584 Å / H $\alpha$  (Denicoló et al. 2002). Las magnitudes absolutas de las galaxias indican que todas, excepto el principal, pueden ser tratadas como enanas.

	centro	compañero	#7	#1	#3
$M_B$	-21.7	-	-17.3	-16.2	-16.9
$M_V$	-21.9	-18.2	-17.4	-16.5	-17.3
$\Delta v \text{ (km/s)}^2$	0	+117	-144	-63	-10
$12+\log O/H$	8.70 <sup>1</sup>	8.30 <sup>2</sup>	8.55 <sup>2</sup>	8.70 <sup>2</sup>	8.70 <sup>1</sup>
[NII]/H $\alpha$	0.33	0.07	0.14	0.28	0.24
N/O <sup>3</sup>	-0.99	-1.55	-1.15	-	-

<sup>1</sup>Velocidad radial con respecto al centro de Mrk 1087  
<sup>2</sup>A partir de las calibraciones empíricas  $R_{23}$  y [NII]/H $\alpha$   
<sup>3</sup>Sólo a partir de la calibración empírica [NII]/H $\alpha$

El cociente O/H estimado para #1 y #3 es similar al de la galaxia principal (8.7), y mayor que la abundancia esperada según la relación metalicidad-luminosidad de las enanas clásicas (Richer & McCall, 1995). Esto indica que #1 y #3 podrían considerarse como *tidal dwarves* (enanas de marea) originadas a partir de material expulsado de Mrk 1087. El objeto #7 muestra cocientes O/H y N/O algo inferiores a los de la galaxia principal, pero la abundancia de O/H es mayor que la esperada para una galaxia de su luminosidad, por lo que interpretamos #7 como una zona de formación estelar intensa en las afueras de Mrk 1087. El cociente O/H obtenido para el objeto compañero ( $12+\log O/H = 8.3$ ) es menor que el del cuerpo principal y consistente con la relación luminosidad-metalicidad de las galaxias enanas. Además, N/O<sup>3</sup> es también menor, y del orden del valor típico para galaxias enanas (-1.55, para la galaxia principal es -0.99). Así, este compañero podría interpretarse como una galaxia enana cercana e independiente que probablemente está interactuando con Mrk 1087. Esto podría explicar la presencia de, al menos, la *tidal dwarf* #1 y su puente asociado, que está casi alineado con la galaxia compañera. Como conclusión, podríamos considerar Mrk 1087 como un grupo compacto de galaxias en interacción.

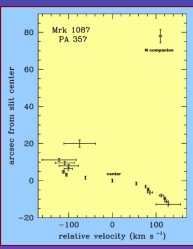
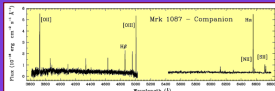
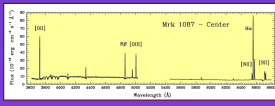


Figura 1: Imagen CCD profunda en banda V de Mrk 1087 y sus alrededores



### Haro 15

Haro 15 (Mrk 960) se encuentra a una distancia de 85 Mpc. Fue clasificada por Mazzarella, Bothun & Boronson (1991) como "dos galaxias separadas fuertemente interactuantes, o un solo sistema altamente perturbado que puede ser un *merger* avanzado". Se pueden distinguir dos partes más brillantes (el núcleo y el compañero del ESE) en la parte interna del objeto. Otro máximo de emisión se detecta al NE de la galaxia. Haro 15 fue catalogada como galaxia Wolf Rayet por Schaerer et al. (1999). Hemos realizado espectroscopia de rendija larga de resolución intermedia (2.5m INT – IDS) cubriendo estas tres zonas. La imagen CCD en banda V (figura 2) es del archivo del UKT, y fue tomada en 1990. La fotometría preliminar realizada sobre esta imagen indica que el compañero al NE es una galaxia enana ( $M_V \sim -17.9$ ). Tiene forma elíptica y muestra emisión nebulosa, poseyendo una velocidad radial de  $+89 \text{ km s}^{-1}$  con respecto a la parte central de Haro 15, y encontrándose a una distancia de unos 9 kpc de ésta.

	centro	compañero ESE	compañero NE
$M_B$	-20.65	-	-
$M_V$	-20.87	-20.25	-17.95
$\Delta v \text{ (km/s)}^2$	0	-17	-69
$12+\log O/H$	8.50 <sup>1</sup>	8.10 <sup>1</sup> - 8.17 <sup>2</sup>	8.30 <sup>1</sup>
[NII]/H $\alpha$	0.20	0.03	0.10
$R_{23}$	5.90	9.84	7.50

<sup>1</sup>Velocidad radial con respecto al centro de Haro 15  
<sup>2</sup>A partir de las calibraciones empíricas  $R_{23}$  y [NII]/H $\alpha$   
<sup>3</sup>A partir de métodos directos

El compañero al ESE se encuentra a una distancia de 4 kpc del centro. Hemos estimado una magnitud absoluta en la banda V de  $M_V \sim -20.25$  para este objeto. Su velocidad radial con respecto al centro es de  $-17 \text{ km s}^{-1}$ . Los espectros obtenidos de los tres objetos poseen emisión nebulosa. Para el compañero ESE se consiguió observar la línea de [OIII] 4363 Å, por lo que hemos podido conocer la temperatura electrónica del gas y así calcular las abundancias iónicas de forma directa. Hemos comparado este resultado con el obtenido a través de las calibraciones empíricas de Pilyugin (2000) y Denicoló et al. (2002).

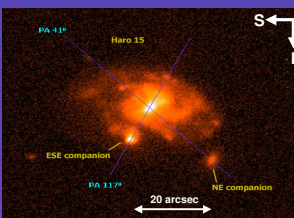
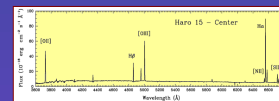
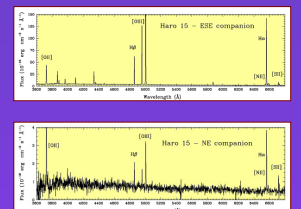
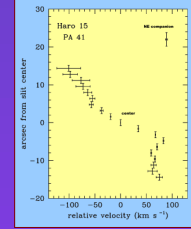
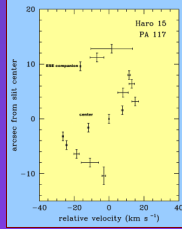


Figura 2: Imagen CCD profunda en banda V de Haro 15 (Mrk 960) y sus alrededores

Observamos una clara diferencia entre el cociente O/H de ambos objetos (8.50 para el centro, 8.10 para el compañero ESE), al igual que en la relación [NII] / H $\alpha$ , lo que nos sugiere pensar que han tenido distinta evolución y, por ende, son galaxias distintas que están interactuando fuertemente. Esta hipótesis es compatible con el resultado de la curva de velocidad para un AP de 117°. Por el contrario, la galaxia enana al NE tiene una metalicidad intermedia ( $12+\log O/H = 8.30$ ) aunque se encuentra más alejada del centro, y la curva de rotación del sistema para este objeto (AP de 41°) indica claramente su interacción con Haro 15.



### Mrk 1199

Este objeto muestra un claro ejemplo de interacción entre galaxias. Mrk 1199 fue incluida como galaxia del tipo Wolf-Rayet por Schaerer et al. (1999), y se encuentra a 54 Mpc. El cuerpo principal es una espiral de tipo Sb, interactuando al NE con un objeto más pequeño de forma elíptica, situado a unos 7 kpc del centro de Mrk 1199.

Hemos realizado espectroscopia de rendija larga de resolución intermedia (2.5m INT – IDS) cubriendo las zonas más brillantes del sistema, e imágenes CCD en banda V (figura 3) y en H $\alpha$  (figura 4) (2.1m CAHA – CAFOS). La fotometría preliminar realizada indica que el objeto al NE es una galaxia enana ( $M_V \sim -17.9$ ). Al igual que la zona central, tiene una importante emisión nebulosa. Posee una velocidad radial de  $-36 \text{ km s}^{-1}$  con respecto al centro del sistema. La emisión en H $\alpha$  muestra claramente las zonas más intensas de Mrk 1199.

	centro	compañero NE	zona NE
$M_B$	-20.18	-	-
$M_V$	-20.85	-17.9	-
$\Delta v \text{ (km/s)}^2$	0	-36	-
$12+\log O/H$	9.09 <sup>1</sup>	8.55 <sup>2</sup>	8.87 <sup>1</sup>
[NII]/H $\alpha$	0.47	0.15	0.45
$R_{23}$	1.70	4.61	5.32

<sup>1</sup>Velocidad radial con respecto al centro de Mrk 1199  
<sup>2</sup>A partir de las calibraciones empíricas  $R_{23}$  y [NII]/H $\alpha$   
<sup>3</sup>A partir de métodos directos  
<sup>4</sup>A partir de las calibraciones empíricas  $R_{23}$  y [NII]/H $\alpha$   
<sup>5</sup>Sólo a partir de la calibración empírica [NII]/H $\alpha$

El espectro de la zona central muestra la línea de [OIII] 4363 Å. Así, hemos podido conocer de forma directa las abundancias iónicas, aunque también las hemos estudiado mediante las calibraciones empíricas de Pilyugin (2000) y Denicoló et al. (2002). Nuestros resultados muestran una clara diferencia entre las abundancias de la parte central de Mrk 1199 y la galaxia enana: mientras que para la primera la relación  $12 + \log O/H$  es de 9.05, para la segunda este valor es de 8.55. La región HII intermedia localizada en el brazo N presenta un cociente de  $12 + \log O/H = 8.87$ . Así, pensamos que se tratan de dos sistemas distintos y en fuerte interacción. Posiblemente, las regiones HII observadas han sido en parte debidas a la interacción entre las dos galaxias.

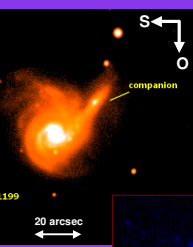
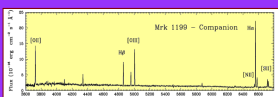
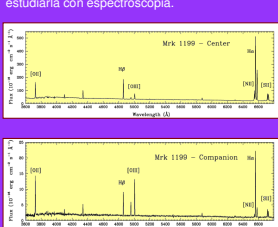
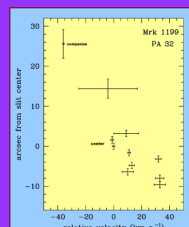


Figura 3: Imagen CCD profunda en banda V de Mrk 1199 y sus alrededores



Figura 4: Imagen CCD en filtro H $\alpha$  de Mrk 1199

Además del núcleo y la galaxia enana, destacan varias regiones HII en el brazo N, en la dirección del objeto NE. Una de ellas hemos podido estudiarla con espectroscopia.



### Tol 9

Tol 9 (ESO 436-42) es una galaxia con líneas de emisión que es recogida por Schaerer et al. (1999) como sospechosa de ser galaxia Wolf Rayet. A una distancia de 43 Mpc, es del tipo E4. Nuestras observaciones comprenden espectroscopia de rendija larga de resolución intermedia (2.5m INT – IDS) e imagen CCD en banda V (2.5m NOT – ALFOSC) (figura 5). Tol 9 posee una galaxia compañera a 10 kpc al SO, también de tipo elíptica. Nuestra nueva imagen desvela que ambos objetos pueden estar en interacción, al encontrar material que conecta aparentemente a ambas galaxias. Mientras que Tol 9 no puede considerarse estrictamente como enana ( $M_V \sim -18.85$ ), la fotometría preliminar realizada indica que esta galaxia compañera al SO sí lo es ( $M_V \sim -17.45$ ).

	centro	compañero
$M_B$	-18.45	-
$M_V$	-18.85	-17.45
$12+\log O/H$	8.61 <sup>(1)</sup>	-
[NII]/H $\alpha$	0.25	-
$R_{23}$	4.91	-

<sup>1</sup>A partir de las calibraciones empíricas  $R_{23}$  y [NII]/H $\alpha$   
<sup>2</sup>No se detectaron líneas de emisión

Sólo hemos podido obtener el espectro de la parte central de Tol 9, pues la galaxia compañera no presenta líneas de emisión. Al no detectar la línea de [OIII] 4363 Å, sólo hemos podido calcular las abundancias iónicas mediante las calibraciones empíricas de Pilyugin (2000) y Denicoló et al. (2002). El cociente O/H para esta galaxia es de  $12 + \log O/H = 8.61$ .

Tol 9 pertenece al complejo cúmulo de galaxias de Hydra I. En la imagen CCD en banda V ampliada (figura 6) podemos contar varias decenas de galaxias, destacando la preciosa espiral CD(rs)b ESO 436-0646 hacia el E. También podemos destacar hacia el NO la galaxia [R99b] 154, del tipo SO, y casi a la misma velocidad radial que Tol 9.

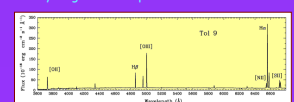


Figura 5: Imagen CCD profunda en banda V de Tol 9 y su galaxia compañera

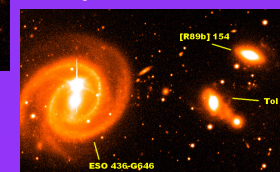
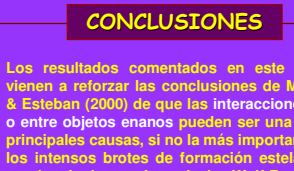


Figura 6: Imagen CCD profunda en banda V de Tol 9 y otras galaxias del cúmulo de Hydra I

## CONCLUSIONES

Los resultados comentados en este póster vienen a reforzar las conclusiones de Méndez & Esteban (2000) de que las interacciones con o entre objetos enanos pueden ser una de las principales causas, si no la más importante, de los intensos brotes de formación estelar que pueden dar lugar a las galaxias Wolf-Rayet.

## REFERENCIAS

- Denicoló et al. 2002, MNRAS 330, 69
- Keel, W.C. 1988, A&A 202, 41
- Mazzarella, J.M., Bothun G.D., & Boronson, T.A. 1991, AJ, 101, 2034
- Méndez, D.I., Esteban, C. 2000, A&A 359, 493
- Pilyugin, 2000, A&A 362, 325
- Richer, M.G. & McCall, M.L., 1995, ApJ 445, 642
- Schaerer et al. 1999, A&AS 335, 85