

**Resumen de la Tesis Doctoral de Ángel R. López Sánchez,  
Formación de estrellas masivas en galaxias Wolf-Rayet enanas  
defendida en la Universidad de La Laguna, el lunes 4 de diciembre de 2006.**

En esta Tesis presentamos un estudio morfológico, fotométrico y espectroscópico detallado de una muestra de **20 galaxias Wolf-Rayet (WR)**. Las galaxias WR son un subtipo de las galaxias H II cuyo espectro integrado muestra líneas de emisión propias de estrellas WR, indicando la presencia de una población importante de estrellas masivas y la juventud del brote de formación estelar. El principal objetivo es el estudio de la **formación estelar y de las poblaciones de estrellas O y WR** en estos objetos, así como comprender el papel que tienen las **interacciones entre objetos compañeros de bajo brillo superficial** en el disparo de los brotes de formación estelar.

Empleamos **imágenes profundas** con resolución espacial en filtros **ópticos** y del **infrarrojo cercano (NIR)** de banda ancha e interferenciales (**H $\alpha$**  y **continuo adyacente**) para estudiar la morfología estelar y del gas ionizado en cada galaxia, analizando el contenido de estrellas ionizantes, la edad de los brotes y la población de estrellas viejas subyacente. También se ha usado **espectroscopia de rendija larga o echelle** para estudiar las **condiciones físicas** (densidades y temperaturas electrónicas, enrojecimiento, naturaleza de la ionización), las **abundancias químicas** y la **cinemática del gas ionizado**, así como para determinar el contenido de estrellas masivas y su localización espacial en cada objeto. Este análisis ha permitido discernir entre la naturaleza pre-existente o de marea (TDG) de los objetos enanos encontrados alrededor de las galaxias estudiadas.

Queremos enfatizar en la **calidad de las observaciones** (algunas imágenes profundas obtenidas con 2.56m NOT tienen *seeing* del orden de 0.6" y los espectros profundos echelle obtenidos en el VLT de NGC 5253) y del **proceso de reducción y análisis de datos**, que nos ha permitido realizar un análisis coherente de la extinción sufrida en cada galaxia o región. Por destacar **algunos resultados individuales**, detectamos intensa emisión H $\alpha$  en IRAS 08208+2816, UM 420 y SBS 0948+532, un doble núcleo en SBS 0926+606A (posiblemente como consecuencia de una fusión de galaxias), un posible viento galáctico en Tol 9, una (¿dos?) galaxias enanas con formación estelar en torno a Tol 1457-262, una galaxia enana independientemente interactuando con Haro 15, una intensa corriente de marea en IRAS 08208+2816 y varios candidatos a TDGs en Arp 252.

De especial interés es el estudio de los **grupos de galaxias HCG 31** y **Mkn 1087**, donde se necesitan interacciones a varios cuerpos para explicar las colas, puentes, fusiones de galaxias y enanas de marea encontradas. Incluimos también el detallado análisis de la **historia de formación estelar y las poblaciones estelares** de la galaxia **IRAS 08339+6517**, donde observamos por primera vez el rasgo WR y que también se encuentra interactuando con un objeto enano independientemente cercano. No obstante, uno de los principales logros de esta Tesis es la detección de las **débiles líneas de recombinación de O II y C II** en nuestros espectros profundos de VLT de la galaxia enana **NGC 5253**, encontradas por primera vez en un *starburst*. Las abundancias iónicas calculadas con estas líneas resultan ser mayores que las obtenidas con líneas prohibidas de excitación colisional, resultado que también se encuentra en otras regiones H II Galácticas y extragalácticas. Además, encontramos un **enriquecimiento localizado de nitrógeno y helio**, consistente con el esperado por la contaminación de las estrellas WR detectadas.

El rasgo **WR azul** (alrededor de 4650 Å) es detectado sólo en 16 de las galaxias, siendo a veces muy débil. El rasgo **WR rojo** (alrededor de 5808 Å) no es detectado en ningún objeto, pese a que otros autores con espectros con menor S/N lo observan en 9 de nuestras galaxias. Concluimos que **efectos de apertura y la posición de la rendija** juegan un papel fundamental a la hora de la detección de los rasgos WR. El cociente WR/(WR+O) obtenido con nuestras observaciones es sistemáticamente inferior a las predicciones dadas por los modelos de síntesis de poblaciones. No encontramos ninguna relación entre el cociente WR/(WR+O) y la metalicidad, aunque es esperable puesto que la masa mínima para la formación de una estrella WR decrece con la metalicidad.

Completamos nuestras observaciones en óptico y NIR con datos en **rayos-X, infrarrojo lejano (FIR)** y **radio** (H I a 21 cm y continuo a 1.4 GHz) extraídos de la literatura para obtener una visión más completa de la formación estelar y la evolución de cada objeto. Finalmente, presentamos unos resultados generales de toda la muestra de galaxias, buscando relaciones entre las magnitudes fotométricas, espectroscópicas y las encontradas en otras longitudes de onda. Utilizando nuestros **30 objetos con medidas directas de la abundancia de oxígeno**, hemos comparado con las predicciones de las calibraciones empíricas más comunes, encontrando que aquellas basadas en modelos de fotoionización proporcionan resultados  $\sim 0.2-0.3$  sistemáticamente mayores que los obtenidos de forma directa. Este resultado es similar a la diferencia de abundancia obtenida empleando líneas de recombinación y líneas de excitación colisional en NGC 5253 y en otros objetos Galácticos y extragalácticos, lo que podría sugerir la existencia de **fluctuaciones de temperatura en el gas ionizado**. Esta conclusión es de vital importancia, puesto que si es real habría que realizar una importante revisión de las abundancias químicas en objetos extragalácticos.

El **ritmo de formación estelar (SFR)** es determinado de forma coherente usando diversas técnicas multifrecuencia, proporcionando una nueva calibración basada en la luminosidad de rayos-X para este tipo de objetos. Las masas estimadas de gas ionizado, gas neutro, cúmulo estelar ionizante, polvo, masa kepleriana y masa dinámica se incrementan con la luminosidad de la galaxia. Encontramos una **buena relación entre la masa de polvo** (estimada con datos FIR) **y el coeficiente de enrojecimiento** a partir del decremento Balmer, indicando que la extinción se produce en el *starburst*.

Concluimos que la gran mayoría de las galaxias analizadas (16 de 20,  $\sim 80\%$  de los sistemas estudiados) muestran rasgos de interacción (morfologías y cinemáticas perturbadas, diferencias de abundancias, pérdidas de gas neutro, etc), confirmando la hipótesis de que **las interacciones con o entre objetos enanos es el mecanismo principal que dispara la formación estelar** en galaxias del tipo Wolf-Rayet.

Con respecto al trabajo futuro, actualmente disponemos de **nuevos datos fotométricos y espectroscópicos de otras 15 galaxias Wolf-Rayet**. Nuestro objetivo es estudiar detalladamente todas estos objetos aprovechando los conocimientos y procedimientos adquiridos durante la realización de la Tesis; el análisis preliminar sugiere que casi todos también presentan rasgos de interacción. Las observaciones en la línea de **21 cm de H I** son vitales a la hora de entender el papel de las interacciones en la evolución de las galaxias, permitiendo dilucidar la historia dinámica de los sistemas involucrados. Así, el nuevo trabajo de Á.R. L-S (postdoc en *Australia Telescope National Facility*) está muy enfocado en el análisis del gas atómico en galaxias cercanas, usando tanto los interferómetros ATCA (Australia) como VLA (EE.UU.). Ya se han obtenido mapas de radio de tres galaxias WR (Tol 30, Tol 9 y NGC 5253) cuyos interesantes resultados se publicarán en breve. Asimismo, se está elaborando un cartografiado del contenido del gas H I en galaxias enanas del Hemisferio Sur usando la antena de 64m de Parkes (Australia). Por otro lado, estamos profundizando en el aspecto de la **localización de las estrellas WR** en *starbursts* cercanos usando **espectroscopia 3D** (OASIS en 4.2m WHT y PMAS en 3.5m Calar Alto) cuyos resultados también son muy interesantes, especialmente en la zona central de la galaxia *starburst* del Grupo Local IC 10 donde quizás también existe contaminación de N por las estrellas WR. Finalmente, estamos realizando un análisis profundo de la **cinemática del gas ionizado de candidatos a TDGs** en colas de marea (como en Arp 188) para confirmar definitivamente la naturaleza y evolución de estos objetos enanos.

## Publicaciones y contribuciones a congresos derivadas de la Tesis Doctoral de Ángel R. López-Sánchez, Formación de estrellas masivas en galaxias Wolf-Rayet enanas

### PUBLICACIONES

1. *Massive star formation and tidal structures in HCG 31*  
**López-Sánchez, Á.R.**, Esteban, C. & Rodríguez, M., 2004 ApJS, 153,
2. *The tidally disturbed luminous compact blue galaxy Mkn 1087 and its surroundings*,  
**López-Sánchez, Á.R.**, Esteban, C. & Rodríguez, M., 2004, A&A, 428, 425
3. *Star formation and stellar populations in the Wolf-Rayet(?) luminous compact blue galaxy IRAS 08339+6517*  
**López-Sánchez, Á.R.**, Esteban, C. & García-Rojas, J., 2006, A&A, 448, 997
4. *The localized chemical pollution in NGC 5253 revisited: Results from deep echelle spectrophotometry*  
**López-Sánchez, Á.R.**, Esteban, C., García-Rojas, J., Peimbert, M. & Rodríguez, M. 2007, ApJ, 656, 168
5. *Massive star formation in Wolf-Rayet galaxies: I. Optical and NIR photometric results*  
**López-Sánchez, Á.R.** & Esteban, C. 2008, submitted to A&A
6. *Massive star formation in dwarf Wolf-Rayet galaxies: II Optical Spectroscopy results*  
**López-Sánchez, Á.R.**, & Esteban, C. 2008, in preparation to submit to A&A (translating from Spanish to English and adapting the PhD Thesis).
7. *Massive star formation in dwarf Wolf-Rayet galaxies: III. Multiwavelength global analysis*  
**López-Sánchez, Á.R.**, & Esteban, C. 2008, in preparation to submit to A&A (translating from Spanish to English and adapting the PhD Thesis).

### CONTRIBUCIONES A CONGRESOS

1. *Interaction and star formation activity in Wolf-Rayet galaxies*, **López-Sánchez, Á.R.** & Esteban, C. 2007, proceedings of "Young Massive Star Clusters: initial conditions and environments", Springer, in press.
2. *Interaction and starburst activity in galaxy groups*  
**López-Sánchez, Á.R.**, Esteban, C., Koribalski, B. & Hibbard, J. 2007, proceedings of "Galaxies in the Local Volume", Springer, in press.
3. *Interaction and star formation activity in Wolf-Rayet galaxies*, **López-Sánchez, Á.R.** & Esteban, C. 2007, proceedings of "Galaxies in the Local Volume", Springer, in press.
4. *The ionized and neutral gas in the starburst galaxy NGC 5253*, **López-Sánchez, Á.R.**, Esteban, C., Koribalski, B. & García-Rojas, J. 2007, proceedings of "Galaxies in the Local Volume", Springer, in press.
5. *Interaction and star formation activity in Wolf-Rayet galaxies*, **López-Sánchez, Á.R.** & Esteban, C. 2007, proceedings of "Pathway Through an Eclectic Universe", SAP, in press.
6. *The Calibration of the O/H Abundance Indicators for Extragalactic H II Regions based on O II Recombination Lines*, Peimbert, M.; Peimbert, A.; Esteban, C.; García-Rojas, J.; Bresolin, F.; Carigi, L.; Ruiz, M. T.; **López-Sánchez, Á. R.** 2007, Proceeding of "First Light Science with the Gran Telescopio de Canarias", RevMexAA (serie de conferencias), 29, 72
7. *Massive star formation in Wolf-Rayet galaxies*  
**López-Sánchez, Á.R.** & Esteban, C. 2006, "Highlights of Spanish Astrophysics IV" Proceedings of the VII Scientific Meeting of the Spanish Astronomical Society (SEA) held in Barcelona, September 12-15, 2006, Springer,
8. *The finding of Wolf-Rayet and interaction features in IRAS 08339+6517*, **López-Sánchez, Á.R.**, Esteban, C. & García-Rojas, J., Proceedings of JENAM 2004, Astrophysics Review, Edited by J.C. del Toro-Iniesta et al. SAP
9. *On the nature of dwarf galaxies in the interacting group HCG 31*, **López-Sánchez, Á.R.**, Esteban, C. & Rodríguez, M., 2004 in *IAU Symp 217: Recycling intergalactic and interstellar matter*, P.A. Duc, J. Braine & E. Brinks (Eds.), IAUS 217E, 27L
10. *Tidal dwarfs in Wolf-Rayet galaxies*, **López-Sánchez, Á.R.** & Esteban, C. 2004, in *Satellites and tidal streams*, F. Prada, D. Martínez-Delgado & T.J. Mahoney (eds), ASP conference series proceedings, 327, pp165-168
11. *The interacting Wolf-Rayet galaxy Haro 15*, **López-Sánchez, Á.R.** & Esteban, C., 2003, in *8th Tex-Mex Conferences in Astrophysics, Revista Mexicana de Astronomía*, M. Reyes-Ruiz & E. Vázquez-Semadeni (Eds.), RMxAC, 18, 48L
12. *Can interaction be the main star formation mechanism in Wolf-Rayet galaxies?*, **López-Sánchez, Á.R.** & Esteban, C., 2002 in *V Reunión Científica de la SEA en Toledo*, Gallego, J., Zamorano, J., Cardiel, N. (Eds.)
13. *The ionized gas in and around the Wolf Rayet galaxy NGC 1741*, **López-Sánchez, Á.R.**, Esteban, C. & Rodríguez, M., 2003, in *IAU Symp. 212, A Massive Star Odyssey, from Main Sequence to Supernova*, K.A. van der Hucht, A. Herrero, C. Esteban (Eds.), ASP, 728
14. *Mrk 1087: a puzzling suspected Wolf Rayet galaxy*, Esteban, C., **López-Sánchez, Á.R.** & Rodríguez M., 2003 in *IAU Symp. 212, A Massive Star Odyssey, from Main Sequence to Supernova*, K.A. van der Hucht, A. Herrero, C. Esteban (Eds.), ASP, 712

**NOTA:** Dada la importancia que Á.R. L-S proporciona a las **actividades de divulgación astronómica** por parte de los propios científicos, se adjunta el **Capítulo Cero** de la Tesis Doctoral, con título "**El Universo Sobre Mí**", introducción personal en el que se intenta dar una versión sencilla y divulgativa sobre los objetivos de la Tesis Doctoral uniéndolos con los conocimientos básicos sobre evolución estelar y galaxias. Quedó fuera de la versión final por motivos de espacio.