

Dr. Rodney Delgado-Serrano

Laboratorio GEPI
París, Francia

La evolución de la secuencia de Hubble

Estudio comparativo de galaxias próximas y lejanas.



El presente artículo tiene como objetivo hacer una introducción de los resultados recientemente publicados por Delgado-Serrano et al. (2010). En dicho trabajo se realiza, por primera vez, un estudio comparativo de galaxias próximas y lejanas. Las galaxias lejanas de las cuales hablamos se encuentran a una distancia media de 6 mil millones de años luz (aproximadamente $5,68 \times 10^{22}$ km, es decir, un 5 seguido de 22 ceros de kilómetros). Lo que quiere decir que la luz que recibimos de dichas galaxias fue emitida hace 6 mil millones de años, una época en que nuestro Sol, y mucho menos nuestro planeta Tierra, no se había formado aún. Entre sus implicaciones están un conocimiento observacional más preciso de cuál era la forma y estructura (morfología) de las galaxias hace 6 mil millones de años en el pasado, y de esta forma comprender como se han formado las galaxias actuales. Si bien, este artículo es a título introductorio (con el objetivo de llegar a la mayor cantidad de personas posible), próximamente un segundo artículo será publicado en la revista Prisma Tecno-

lógico con un enfoque más especializado.

En primera instancia debemos entender qué es la "Secuencia de Hubble". Ésta es un diagrama confeccionado por Edwin Hubble en 1926 y desarrollado con mayor detalle por estudios posteriores (Hubble 1936, Sandage 1961). Este diagrama divide las galaxias en cuatro grupos principales: elípticas (E), lenticulares (S0), espirales (S) e irregulares (Irr). La división en estos grupos está basada en la forma y estructura de las galaxias, tal como podían ser apreciadas en las placas fotográficas de las observaciones realizadas hasta ese entonces. Atlas más recientes han enriquecido el número de galaxias observadas (Sandage and Tammann 1981, Sandage and Bedke 1988, Sandage and Bedke 1994). No obstante, toda esta clasificación ha sido siempre realizada utilizando catálogos de galaxias relativamente cercanas. De modo que, hasta el presente, los límites tecnológicos y técnicos han hecho difícil una clasificación similar para una muestra representativa de galaxias lejanas. Un punto crucial

ha sido, efectivamente, que la tecnología para la obtención de imágenes ha cambiado enormemente en las últimas décadas.

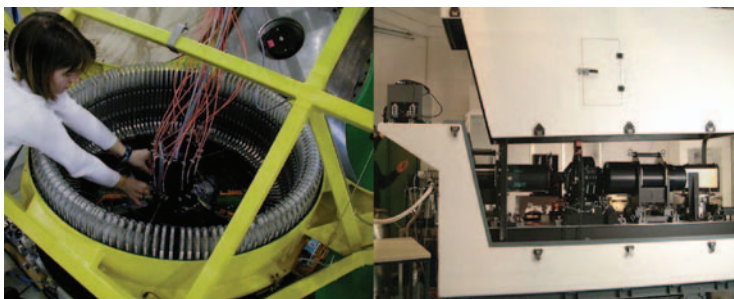
Con la llegada del telescopio espacial Hubble y los instrumentos en él embarcados, hemos podido estudiar mejor la forma de las galaxias distantes. Sin embargo, muchos son los artículos sobre los modelos y simulaciones informáticas que tratan de explicar la formación del Universo actual, pero pocos son los estudios observacionales sobre cómo eran las galaxias en el pasado y cuáles eran sus proporciones (Lilly et al. 1998, van den Bergh, S. 2002, Neichel et al. 2008). Hasta ahora, ningún estudio había podido aún reconstruir la secuencia de Hubble para las galaxias lejanas y compararla con la actual, debido a problemas de metodología y a la falta de muestras representativas.

Antes de continuar, debo hacer un alto para enfatizar en un detalle básico, pero esencial. Debemos recordar que entre más lejos observamos, dada la velocidad constante de la luz, más nos adentramos

en el pasado del Universo. Por ende, si, por ejemplo, observamos una galaxia que posee un "redshift" de 0,65, estamos observando dicha galaxia tal como ella era aproximadamente 6 mil millones de años en el pasado. Es por ello, que si determinamos una secuencia de Hubble para las galaxias distantes, entonces podemos decir también, que es una secuencia de Hubble en el pasado del Universo.

Regresando a nuestro estudio, es importante comentar algunos trabajos anteriores para los cuales nuestro equipo ha combinado medios observacionales espaciales y terrestres. Por ejemplo, Flores et al. (2006) y Yang et al. (2008) estudian, por primera vez, la cinemática interna de las galaxias a redshift $\sim 0,6$. Para ello, se observaron 98 galaxias distantes utilizando el espectrógrafo multi-fibras GIRAFFE, instalado en uno de los telescopios del "Very Large Telescope" (VLT). Este instrumento permite recuperar la espectroscopía integral de campo de 15 objetos a la vez, y es por ello que a tal tecnología se le conoce como espectroscopía integral de campo multi-objetos.

La misma funciona tal como se muestra en la Figura 2. La luz proveniente de una galaxia es dividida espacialmente, a través de microlentes, de forma a poder obtener el espectro, y con éste el movimiento, de las diferentes partes en que ha sido dividida la galaxia. Esta tecnología multi-objetos ha sido desarrollada durante los últimos años por el laboratorio GEPI del Observatorio de París, quienes construyeron



ron GIRAFFE.

Así, el movimiento interno de las galaxias distantes fue decriptado y se pudieron entonces clasificar en tres tipos: galaxias en rotación, galaxias que presentan una rotación perturbada y objetos con una cinemática compleja.

Ahora, ¿cómo se relacionan la cinemática y la morfología? Una gran cantidad de estudios realizados en las últimas 8 décadas, muestran que las galaxias espirales locales se caracterizan cinemáticamente por un movimiento de rotación a gran escala, lo cual permite su estado de equilibrio dinámico. Por otra parte, las galaxias elípticas y lenticulares son dinámicamente estables gracias, principalmente, al movimiento de dispersión de los elementos que las componen (principalmente estrellas). En estas galaxias, el movimiento de rotación es insignificante (y en algunos casos prácticamente nulo), con respecto a la dispersión, para que juegue un papel importante en el equilibrio dinámico de tales galaxias. Finalmente, las galaxias irregulares presentan un movimiento interno complejo, pues éstas son el producto de choques entre objetos y no se encuentran aún en equilibrio. Es así entonces que podemos hablar de una relación morfocinemática. De esta

manera, Neichel et al. (2007), prueba que, sólo en el caso en que se aplica un árbol de decisión paso a paso y que toma en cuenta tanto parámetros matemáticos como astrofísicos para determinar la morfología de las galaxias distantes (redshift $\sim 0,6$), la morfología encontrada coincide con la dinámica de la galaxia. Por el contrario, en el caso de los métodos automáticos, la morfología y la cinemática no coinciden en un alto porcentaje. Este último resultado con respecto a los métodos automáticos ha sido notado también por Conselice et al. (2003, 2005, ver también Kassin et al. 2007).

A partir de estos resultados, nos consagramos a estudiar la forma y estructura de las galaxias tanto locales como lejanas, utilizando como base la secuencia de Hubble. Para ello, se fabricó una muestra de galaxias locales observadas por el "Sloan Digital Sky Survey" (SDSS) y una muestra de galaxias lejanas observadas por el "Hubble Space Telescope" (HST). Ambas muestras son representativas de la población total de galaxias en cada época respectiva. Esta representatividad se pudo establecer gracias a la existencia de curvas de población galáctica en donde se toman en cuenta decenas de miles de galaxias para cada época. Luego, se aplicó

una metodología estructurada en un árbol de decisión. Éste, está basado en los resultados antes mencionados, y el cual utiliza una cantidad de información y parámetros físicos relevantes sobre las galaxias sin precedentes. Así, encontramos que las galaxias actuales están formadas por 3% de elípticas, 15 % de lenticulares, 72 % espirales y 10 % peculiares. En cambio, las galaxias distantes están compuestas por 4 % de elípticas, 13 % lenticulares, 31 % espirales y 52 % peculiares. Dentro de los errores estadísticos (Poisson), podemos concluir entonces que la fracción de galaxias E/S0 no ha cambiado. Muy por el contrario, la fracción de espirales ha aumentado en un factor 2,3, mientras que la de peculiares ha disminuido, a través del tiempo. Esto implica que, por lo menos, la mitad de las galaxias espirales actuales provienen de las galaxias peculiares que existían hace aproximadamente 6 mil millones de años. Además, siendo las galaxias peculiares el resultado de choques entre objetos más distantes, y tomando en cuenta los resultados de Hammer et al. (2007), podríamos concluir también que nuestra galaxia, la Vía Láctea, ha escapado a estos choques galácticos durante los últimos 8 mil millones de años.