

# EVOLUCIÓN QUÍMICA DE GALAXIAS EN UNIVERSOS JERÁRQUICOS

M.E. De Rossi<sup>(A)</sup>, P.B. Tissera<sup>(A)</sup>, G. De Lucia<sup>(B)</sup>, y G. Kauffmann<sup>(B)</sup>

(A) Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE) - Universidad de Buenos Aires (UBA) - CONICET  
CC 67 – SUC 28 - (1428) – Ciudad Autónoma de Buenos Aires - Argentina  
e-mail: [derossi@iafe.uba.ar](mailto:derossi@iafe.uba.ar)

(B) Max-Planck-Institut für Astrophysik (MPA)  
Karl-Schwarzschild-Str. 1, D-85748 – Garching - Alemania

En este trabajo, empleamos la Simulación del Millennium, la cual constituye la mayor simulación de formación de la estructura llevada a cabo hasta el momento, para estudiar las implicaciones del proceso de agregación jerárquica de la estructura en la formación y evolución química y dinámica de galaxias elípticas masivas, enanas irregulares y semejantes a la Vía Láctea.

In this work, we employ the Millennium Simulation, which constitutes the largest simulation of structure formation carried out so far, to study the implications of the hierarchical aggregation of the structure on the formation and, chemical and dynamical evolution of massive elliptical, dwarf irregular and Milky Way-type galaxies.

## I. INTRODUCCIÓN

En la última década, ha habido un importante progreso en el estudio de la historia de enriquecimiento químico del Universo en gran parte debido al desarrollo de relevamientos observacionales más sofisticados, los cuales, no sólo han permitido la exploración de regiones más amplias del espectro, sino que también posibilitaron la exploración del Universo lejano. Más aún, con la implementación de códigos numéricos y modelos semi-analíticos más complejos que incorporan tratamientos detallados de la evolución estelar, ha sido posible comenzar el análisis de los procesos físicos asociados a la evolución química de galaxias.

En el Universo local, existe una clara correlación entre la masa estelar y el contenido químico de las galaxias de tal manera que los sistemas más masivos se encuentran más enriquecidos químicamente<sup>(1)</sup>. Más aún, esta correlación tiende a evolucionar con el tiempo de forma que, a una dada masa estelar, las galaxias presentan menores abundancias en el pasado<sup>(2)</sup>.

En particular, recientes estudios basados en simulaciones numéricas hidrodinámicas dentro de un escenario  $\Lambda$ -CDM<sup>(3,4)</sup> sugieren que la relación masa-metalicidad (MZR) en galaxias resulta una consecuencia natural del proceso de agregación jerárquica de la estructura.

En el presente trabajo, utilizamos la Simulación del Millennium, la cual constituye la mayor simulación de formación de la estructura llevada a cabo hasta el momento, para comparar la evolución química y dinámica de galaxias elípticas masivas, enanas irregulares y sistemas semejantes a la Vía Láctea.

## II. LA SIMULACIÓN Y EL CATÁLOGO DE GALAXIAS

En el presente trabajo, utilizamos los catálogos de galaxias generados a partir de Simulación del Millennium<sup>(5)</sup>, la cual permite seguir la evolución de  $2160^3$  partículas con una resolución en masa de  $8.6 \times 10^8 M_{\odot} h^{-1}$ . El volumen simulado corresponde a una caja cúbica periódica de  $500 \text{ Mpc } h^{-1}$  de lado, con una resolución espacial de  $5 \text{ kpc } h^{-1}$ . El modelo cosmológico es consistente con los resultados del primer año de WMAP:  $\Omega_m=0.25$ ,  $\Omega_b=0.045$ ,  $h=0.73$ ,  $\Omega_{\Lambda}=0.75$ ,  $n=1$ , y  $\sigma_8=0.9$ .

El catálogo de galaxias fue generado a partir del modelo semi-analítico (SAM) descrito en (6) y (7). Éste incluye tratamientos para la formación estelar, el enfriamiento de gas, el enriquecimiento químico, las fusiones entre galaxias, *feedback* de supernovas y núcleos activos de galaxias (AGNs), entre otros.

Para este estudio, seleccionamos las galaxias centrales de los halos de materia oscura, y definimos tres muestras de sistemas galácticos:

- Una muestra de sistemas semejantes a la Vía Láctea (MWS), compuesta por aquellos sistemas con  $200 < V_c < 240 \text{ km s}^{-1}$ , y  $1.5 < \Delta M < 2.6$  con  $\Delta M = M_{\text{bulge}} - M_{\text{total}}$ <sup>(8)</sup>, donde  $V_c$  representa la velocidad circular del halo de materia oscura y,  $M_{\text{bulge}}$  y  $M_{\text{total}}$  corresponden a las magnitudes del bulbo y total del sistema respectivamente.
- Una muestra de galaxias enanas irregulares (DIS), conformada por galaxias con masas estelares entre  $10^9$  y  $10^{9.5} M_{\odot}$ . Debido a que no hay evidencia acerca de la presencia de un núcleo en galaxias enanas irregulares típicas, restringimos la DIS a sistemas sin bulbo.

\* Autor a quién debe dirigirse la correspondencia.

Finalmente, consideramos para el análisis sólo aquellos objetos residentes en halos con más de 100 partículas.

- Una muestra de galaxias elípticas gigantes (GES), compuesta por galaxias con masas estelares mayores a  $10^{11} M_{\odot}$  y  $\Delta M < 0.4$ .

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Nuestros resultados<sup>(9)</sup> indican que las galaxias generadas a partir del SAM<sup>(7)</sup> exhiben una correlación bien definida entre las abundancias de la fase gaseosa y la metalicidad estelar. La metalicidad tiende a crecer linealmente con la masa estelar para masas menores que  $10^{11} M_{\odot}$ . Para los sistemas más masivos, se mantiene aproximadamente constante alrededor del valor solar. Este comportamiento se debe (al menos parcialmente) al fuerte *feedback* de AGNs adoptado en el modelo con el fin de suprimir los flujos de enfriamiento de gas en halos relativamente masivos. El fuerte *feedback* de los AGNs combinado con un relativamente fuerte *feedback* de supernovas, agotan el combustible necesario para la formación estelar en escalas de tiempo relativamente pequeñas y, de esta forma, inhiben una evolución química posterior significativa.

Las galaxias tipo Vía Láctea, con masas estelares promedio de  $M_{*} \sim 10^{11} M_{\odot}$ , presentan una dispersión de alrededor de 0.1 dex a corrimiento al rojo  $z=0$ . Sin embargo, la MWS cubre un amplio rango del plano masa-metalicidad a  $z>0$ . En particular, a  $z=3$  esta muestra posee metalicidades entre -1 y 0.7 dex, y masas estelares entre  $10^8$  y  $10^{11} M_{\odot} h^{-1}$ , pero la dispersión disminuye considerablemente hacia  $z=0$ . Analizando los árboles de fusión de estas galaxias, encontramos que este hecho se halla relacionado con la diferente evolución que sufren los progenitores más masivos respecto de los más pequeños. Los sistemas más masivos a  $z=3$  evolucionan más suavemente dada su baja eficiencia de formación estelar, debido al hecho de que ya han transformado la mayor parte de su gas en estrellas. Por otro lado, los sistemas más pequeños exhiben mayores fracciones de gas y tasas de formación estelar más altas, las cuales conducen a una más importante evolución química a  $z>1$ . También, hallamos que los progenitores pobres en gas a  $z=3$  ya han completado la mayor parte de su historia de acreción a este corrimiento al rojo, mientras que los sistemas ricos en gas acretan el doble de masa estelar que los primeros a  $z>0$ .

Estudiando la historia de acreción media de las galaxias tipo Vía Láctea encontramos que, a  $z=0$ , la masa estelar total proveniente de acreciones corresponde a aproximadamente el 15% de su masa estelar actual, lo cual significa que más del 80% de su masa estelar a  $z=0$  se ha formado en los progenitores principales de estos sistemas. También, encontramos que estos sistemas no sufren interacciones significativas a lo largo de sus historias de formación. Por lo tanto, los sistemas tipo

Vía Láctea pueden describirse como un progenitor principal que evoluciona acretando estructuras menores. En el caso de las galaxias elípticas gigantes, hallamos que éstas incorporaron el 50% de su masa estelar a  $z=0$  mediante acreciones de estructuras menores, mientras que las enanas irregulares no presentan una historia de fusiones importante.

Estos diferentes escenarios de formación obtenidos para las tres muestras estudiadas (MWS, GES y DIS), tienen importantes implicaciones en la evolución química de estos sistemas. Las galaxias elípticas gigantes alcanzan  $z=0$  con fracciones de gas despreciables, lo cual significa que sólo podrán evolucionar en el plano masa-metalicidad vía fusiones con otros sistemas. Por otro lado, las galaxias enanas irregulares presentan fracciones de gas entre 0.2 y 0.8 a  $z=0$ , por lo que pueden considerarse galaxias formadoras de estrellas activas capaces de sufrir importantes cambios en su contenido químico. En el caso de los sistemas similares a la Vía Láctea, obtuvimos fracciones de gas de  $\sim 0.1$  a  $z=0$ , las cuales son pequeñas como para proveer el combustible necesario para un brote significativo de formación estelar.

### IV. CONCLUSIONES

En el presente trabajo, hemos estudiado tres muestras de galaxias generadas a partir de la Simulación del Millennium: galaxias semejantes a la Vía Láctea, elípticas gigantes y enanas irregulares, las cuales ocupan la región de masas estelares intermedias, y los extremos de mayor y menor masa de la MZR observada, respectivamente. Encontramos grandes diferencias en sus historias de formación. El porcentaje de masa estelar a  $z=0$  proveniente de acreciones es aproximadamente nulo en el caso de la DIS, alcanzando aproximadamente el 50% para la GES, mientras que para la MWS es de alrededor del 15%. Estas diferencias en sus historias de acreción afectan el consumo de gas y los procesos de formación estelar en los progenitores principales de estos sistemas, conduciendo a una muy diferente evolución química.

### Referencias

- 1 - Tremonti, C. A., et al. ApJ, **613**, 898-913 (2004).
- 2 - Erb, D.K., Shapley, A.E., Pettini, M., Steidel, C.C., Reddy, N.A. & Adelberger, K.L. ApJ, **644**, 813-828 (2006).
- 3 - Tissera, P.B., De Rossi, M.E. & Scannapieco, C. MNRAS, **364L**, 38-41 (2005).
- 4 - De Rossi, M.E., Tissera, P.B. & Scannapieco, C. MNRAS, **374**, 323-336 (2007).
- 5 - Springel, V., et al. Nat, **435**, 629-636S (2005).
- 6 - Croton, D.J., et al. MNRAS, **365**, 11-28 (2006).
- 7 - De Lucia, G. & Blaizot, J. MNRAS, **375**, 2-14 (2007).
- 8 - Simien, F. & de Vaucouleurs, G. ApJ, **302**, 564-578 (1986).
- 9 - De Rossi, M. E., Tissera, P. B., De Lucia, G. & Kauffmann, G., MNRAS (2008), en prensa.