

Co-formation of the disc and the stellar halo★

Hollman Daniel Quintero Salazar

Septiembre 2022

* *Descripción:* El presente reporte se basa en el trabajo de Belokurov, V et al. (2018). "Co-formation of the disc and the stellar halo★". En: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 478.1, pp. 611-619.

En general, el trabajo citado tenía como objetivo principal intentar deducir el origen dinámico del halo galáctico en las proximidades del Sol (~ 10 kpc) midiendo la metalicidad y velocidades peculiares galactocéntricas de las estrellas a distintos valores de Z (coordenada galactocéntrica). Del mismo modo, se contrastó la información obtenida con modelos cosmológicos que integraban la creación del disco y el halo bajo distintos escenarios.

En primera instancia, el equipo investigador utilizó poblaciones estelares que pertenecieran únicamente a la secuencia principal rechazando estrellas gigantes tipo K o asociadas. Los datos espectroscópicos fueron obtenidos de la muestra SDSS DR9, mientras que los movimientos propios fueron obtenidos realizando un *cross-match* con los catálogos de SDSS y *Gaia*.

Por otra parte, se usaron mapas de polvo para estimar la magnitud aparente haciendo *de-reddening*. Las distancias a cada estrella, al igual que las velocidades radiales y tangenciales galactocéntricas fueron calculadas por el equipo investigador asumiendo una velocidad para el LSR (*Local Standard of Rest*) de 235 km s^{-1} . Las incertidumbres para la modelación de los datos y demás tratamiento estadístico se estimó usando

Monte Carlo. Según los propios investigadores, los datos tenían un nivel de *bias* bastante aceptable en concordancia con el objetivo planteado, no obstante, se hace hincapié en la influencia que pueden tener la existencia de sistemas binarios no catalogados dentro de los datos utilizados.

Una vez obtenida la información de interés (distancia Z , velocidad radial, velocidad tangencial y metalicidad) para cada estrella, el equipo procedió en realizar submuestreos de la información separando grupos de acuerdo a su metalicidad y valor Z , una vez hecho esto, se graficó la componente de velocidad tangencial versus la componente de velocidad radial para cada submuestra. En el artículo esta información se presenta como la Figura 2 en la cual se observan 15 paneles donde, de izquierda a derecha (en valor $[\text{Fe}/\text{H}]$) aumenta la metalicidad, y, de arriba abajo, aumenta el valor Z con respecto al plano galáctico.

La gráfica es muy dicente en el sentido que muestra patrones cinemáticos muy claros como función de la metalicidad y el valor Z , por ejemplo, el panel de la esquina superior derecha, aquel que tiene mayor valor de metalicidad y está más cerca al plano galáctico, evidencia que estas estrellas tienen un sesgo de velocidad tangencial cuyo pico es de aproximadamente $\sim 200 \text{ km s}^{-1}$.

Por otra parte, estrellas con menor metalicidad no muestran un sesgo prominente. Además de lo anterior, se tiene que las estrellas con menor

metalicidad y más alejadas del plano galáctico (panel de la esquina inferior izquierda) no presentan sesgo aparente. Otra característica importante de la Figura 2 es que muestra el elipsoide de velocidad del halo estelar. Se demuestra que la distribución del halo se estira dramáticamente en la dirección radial para estrellas en el rango de alta metalicidad, es decir, para $-1.7 < [\text{Fe}/\text{H}] < -1$. Sin embargo, a menor metalicidad, evoluciona rápidamente a una forma casi esférica.

El equipo también calculó los componentes promedio de velocidad tangencial para distintos valores de Z , al igual que la dispersión de velocidades para cada componente en un marco de coordenadas galactocéntricas bajo coordenadas cilíndricas y, además, las anisotropías radiales (β). El valor de anisotropía refleja la cantidad de movimiento en la dirección radial en comparación con la tangencial, este valor es un buen indicador de las propiedades simétricas del sistema. Las variables previamente mencionadas se plasmaron en la figura 4 la cual consta de tres paneles graficando de manera correspondiente la metalicidad en función de las variables previamente mencionadas.

Al igual que la figura 2, la figura 4 también mostró resultados interesantes. Por ejemplo, se observa que la rotación de las estrellas pobres en metales disminuye en función de z , de $\sim 50 \text{ km s}^{-1}$ cerca del plano a $< 15 \text{ km s}^{-1}$ en $5 < z < 9$ (kpc). Aparentemente, el halo parece describirse como una superposición de dos poblaciones con propiedades bastante distintas. De igual manera, en el segundo panel se puede observar un cambio brusco en el valor de anisotropía en función de la metalicidad.

A partir de la información obtenida y los patrones visualizados se concluyó que en el halo

hay dos poblaciones estelares (según metalicidad) con propiedades rotacionales distintas, esto es claramente observable al analizar las figuras 2 y 4 del artículo. Este resultado, aunado a otros citados por los autores, son la base observacional para poner a prueba los distintos modelos de evolución de la Vía Láctea.

Los autores refieren dos posibles hipótesis sobre la formación del halo estelar. (I) Acreción y ruptura de múltiples satélites, y (II) formación *in situ* de un halo giratorio inflado a través del calentamiento del disco. Según plantean los autores, sería difícil comprender cómo la anisotropía (β) observada podría reconciliarse con cualquiera de estos escenarios sin ninguna modificación.

Con ánimo de falsear o comprobar las hipótesis de evolución de la Vía Láctea, los autores corrieron un modelo numérico-cosmológico (figura 5) de formación del halo, se dedujo entonces que la anisotropía observada es inconsistente con la interacción continua de la Vía Láctea con satélites de menor tamaño.

Por el contrario, la conclusión a la que llegan los autores es que las componentes estelares del halo son residuos (o escombros tal como lo mencionan en el artículo) depositados en un evento de acreción importante por un satélite con $M_{vir} > 10^{10} M_{\odot}$ alrededor de la época de la formación del disco galáctico, hace aproximadamente 8 y 11 giga años¹. Los valores observados de anisotropía para el halo serían el resultado de dos factores distintos: **1.** Una órbita con componente radial muy elevado del objeto que chocó con la Vía Láctea (en el momento del impacto) y **2.** el hecho de que el halo y el disco se formaran relativamente al unísono.

¹A modo de comentario personal, (por demás innecesario) quisiera hacer hincapié en lo sorpresivo que resulta imaginar que el halo y el disco se formaran prácticamente al mismo tiempo