

Capítulo 6

Conclusiones

El estudio de las propiedades de la población de enanas blancas de la Galaxia, tal y como hemos visto en la presente memoria, es muy amplio, e implica aportaciones en diferentes campos de la astrofísica, tales como evolución estelar, dinámica galáctica, estudio de la materia oscura o análisis de bases de datos, entre otros. Las enanas blancas, por otra parte, son objetos cuya configuración física es lo suficientemente estable como para permitir el desarrollo de modelos teóricos que describan con gran precisión los procesos de enfriamiento y evolución que en dichos objetos tiene lugar. Este hecho unido a la característica de tales estrellas de ser objetos muy viejos presenta al conjunto de enanas blancas como candidatos ideales para el estudio de la historia reciente y pasada de la Galaxia, tanto en su evolución dinámica como de los procesos de formación de sus diferentes estructuras (disco y halo).

Partiendo de esta base de conocimiento teórico hemos conseguido construir un modelo de la población de enanas blancas basado en las técnicas de simulación Monte Carlo, que es lo suficientemente realista y preciso como para permitir tanto la interpretación de los datos observacionales y analizar sus diversos sesgos, como para predecir o estimar futuras observaciones. A continuación presentamos un resumen de los principales resultados y conclusiones obtenidos en cada uno de los capítulos de la presente memoria:

- En el capítulo 2 hemos realizado un estudio exhaustivo de las propiedades de la población de enanas blancas del disco galáctico del entorno solar. Este estudio se ha centrado en dos grandes áreas: el análisis de las propiedades cinemáticas y el estudio de la función de luminosidad.

En primer lugar, nuestro código Monte Carlo, basado tal y como hemos mencionado anteriormente en modelos de evolución galáctica sólidamente establecidos, nos ha permitido reproducir de manera muy precisa las propiedades cinemáticas generales de la población de enanas blancas. En este sentido hemos analizado la evolución temporal de tales propiedades y hemos encontrado un

acuerdo aceptablemente preciso entre los datos observacionales y nuestras simulaciones. No obstante, hemos advertido el escaso número de enanas blancas muy viejas que presenta la muestra observacional. Motivo por el cuál hemos restringido nuestro análisis de las propiedades cinemáticas a los últimos 3.7 Gyr de la Galaxia. En cualquier caso, y pese a estas restricciones estadísticas, hemos mostrado que la forma global de las ditribuciones temporales contiene abundante información sobre las propiedades cinemáticas de la población y, por lo tanto, cabe realizar posteriores análisis conforme se obtengan muestras observacionales más numerosas. Así mismo hemos extendido nuestro análisis de las propiedades cinemáticas de la población de enanas blancas, tanto la de la muestra observacional como la de nuestra simulación Monte Carlo, a fin de poder compararlo con las propiedades de estrellas viejas de la secuencia principal del tipo F y G. Los resultados de tal comparación nos llevan a la conclusión de que nuestro modelo de evolución galáctica es completamente compatible con las propiedades de las diferentes muestras observacionales.

En segundo lugar, gracias a nuestras simulaciones Monte Carlo hemos conseguido reproducir de manera muy precisa el proceso de construcción de la función de luminosidad de las enanas blancas, poniendo especial énfasis en los criterios de selección y en el proceso de agrupación en intervalos de los datos observacionales. Mediante nuestra población sintética de estrellas hemos estimado la completitud de las muestras utilizadas en la obtención de la función de luminosidad al igual que su distribución espacial. Por otro lado, dado un conjunto de criterios de selección consistente con los procedimientos habituales de observación hemos generado diferentes realizaciones independientes de la función de luminosidad y comparado posteriormente ésta con la función de luminosidad observacional de Oswalt et al. (1996). A continuación resumimos los principales resultados obtenidos concernientes a la función de luminosidad de las enanas blancas del disco:

- i) Dados los criterios de selección adoptados por Oswalt et al. (1996), nuestras simulaciones Monte Carlo claramente indican que las muestras observacionales se pueden considerar completas hasta una magnitud aparente de 17, mientras que el criterio de selección principal para luminosidades bajas es el de movimientos propios, en buen acuerdo con los resultados de Wood y Oswalt (1998).
- ii) Las funciones de luminosidad obtenidas mediante nuestras simulaciones Monte Carlo presentan un acuerdo excelente con los datos observacionales.
- iii) Los efectos de la ley de la altura patrón no resultan en modo alguno despreciables en la distribución de las muestras. En especial, a luminosidades relativamente altas los efectos son más importantes. Así mismo, atendiendo a los objetos de las simulaciones Monte Carlo que intervienen en

la construcción de la función de luminosidad hemos podido deducir una altura patrón de aproximadamente unos 130 pc. En cualquier caso, hemos establecido que los efectos de la ley de la altura patrón son claramente evidentes en la distribución acumulada de movimientos propios. Por último, pese a que los efectos de la ley de la altura patrón en la cola de la función de luminosidad podrían ser considerados como despreciables en primera instancia, un análisis más detallado nos ha revelado que estos efectos de inflación pueden incrementar la edad del disco obtenida a partir de la función de luminosidad de las enanas blancas en una cantidad importante, típicamente unos 2 Gyr.

- iv) Mediante las técnicas de inferencia bayesianas hemos podido establecer que el procedimiento actual de asignación de barras de error de la función de luminosidad resulta razonable para una muestra de unas 200 estrellas.
- v) Finalmente, la incertidumbre estadística en la edad del disco determinada a partir del análisis bayesiano es de aproximadamente 1 Gyr, en justo acuerdo con los resultados de Wood y Oswalt (1998). Por otra parte hemos podido determinar la existencia de una tendencia sistemática debida al procedimiento de asignación en intervalos que tiene por efecto incrementar hasta un 5 % el valor asignado a la edad del disco obtenida a partir de la función de luminosidad.

En cualquier caso, y pese a la generalidad del análisis que hemos efectuado, resta por realizar una gran cantidad de trabajo futuro. En este sentido, cabe por ejemplo realizar un estudio más detallado de las propiedades cinemáticas de la muestra de enanas blancas más viejas. Para tal propósito sería muy útil disponer de muestras observacionales más numerosas. En nuestro caso esto no sólo implica disponer de muestras observacionales completas, sino también de determinaciones de las masas de las enanas blancas más precisas. Por otra parte, sería también conveniente realizar un análisis tridimensional del movimiento de la población de las enanas blancas, pese a que de momento se trata de una tarea inabordable, en especial para las enanas blancas más débiles debido a la ausencia de rasgos espectrales. Igualmente resultaría de interés efectuar un estudio de la contaminación de la muestra utilizada en la construcción de la función de luminosidad por enanas blancas pertenecientes al halo. Este hecho no es despreciable de antemano, puesto que los objetos pertenecientes a la población del halo se obtienen sobre la base de movimientos propios altos, hecho que a su vez representa el criterio dominante de selección en la región de luminosidades más débiles de la función de luminosidad.

- En el capítulo 3 hemos utilizado nuestras simulaciones Monte Carlo para examinar los efectos de un hipotético episodio de mezcla en el disco galáctico. Con objeto de imitar tal episodio de acreción incrementamos de manera artificial el

módulo de la velocidad de las enanas blancas de nuestra población de estrellas sintéticas. A partir de aquí hemos realizado diversas simulaciones abarcando un amplio rango de valores; desde episodios de mezcla donde se produce un gran empujón cinemático, o lo que es equivalente, donde la masa acretada de la galaxia satélite es importante (del orden de 4% y 16% de la masa de la Vía Láctea), hasta episodios menos eficientes o de menor magnitud de empuje cinemático. A continuación resumimos los principales resultados obtenidos en este capítulo:

- i) Hemos podido comprobar que la función de luminosidad de las enanas blancas permanece prácticamente inalterada tras un hipotético episodio de mezcla, incluso en el caso de los episodios más violentos, recientes y con mayor masa implicada. Analizando con detenimiento el proceso de mezcla hemos descubierto las razones de dicho comportamiento, siendo debidas básicamente a la combinación de tres efectos:
 - a) El procedimiento observacional habitual de descartar aquellas enanas blancas con velocidades superiores a 250 km/s a la hora de determinar la función de luminosidad del disco, implica la eliminación de una fracción considerable de enanas blancas del disco con velocidades altas resultantes de los episodios de mezcla más violentos.
 - b) Puesto que nos vemos obligados a normalizar nuestras simulaciones a la densidad numérica observacional de enanas blancas, dado que cualquier simulación Monte Carlo realista debe poseer un número semejante de objetos en la muestra final, el procedimiento computacional empaña el hecho de que aquellas simulaciones que incluyen un episodio de acreción producen un número mayor de enanas blancas con movimientos propios elevados que aquellas otras simulaciones en las que no se ha producido tal episodio.
 - c) Las enanas blancas con movimientos propios elevados, como es el caso de aquellas que se producen en un episodio de acreción importante, contribuyen en menor cuantía a la función de luminosidad dado que estas estrellas pueden ser potencialmente halladas en un volumen observacional mucho mayor.
- ii) Adicionalmente, hemos encontrado que la posición del corte de la función de luminosidad no se ve afectada por un episodio de acreción. Por tal motivo, la edad del disco galáctico obtenida mediante el ajuste de modelos teóricos al corte observacional de la función de luminosidad resulta insensible a tal episodio de mezcla siendo, por consiguiente, este procedimiento un método robusto para estimar la edad del disco galáctico.
- iii) Por el contrario, hemos hallado que las propiedades cinemáticas de la población de enanas blancas son muy sensibles a las propiedades glob-

ales de un episodio de acreción. En particular, hemos encontrado que las únicas simulaciones capaces de reproducir la distribución observacional de velocidades tangenciales son aquellas que involucran un episodio de acreción modesto, con una masa pequeña del satélite acretado y suficientemente viejo. En consecuencia cabe descartar aquellos episodios en los que los empujones cinemáticos sean de un factor superior a 3 para galaxias satélites masivas (del orden del 14 % de la masa de la Galaxia), mientras que para satélites más pequeños (del orden del 4 % de la masa de la Galaxia) los episodios de mezcla más violentos pueden ser admitidos siempre y cuando el episodio haya acontecido en los primeros estadios de formación del disco de nuestra Galaxia.

Así pues, y a pesar de que la situación actual no es del todo clara puesto que no es posible descartar episodios lo suficientemente viejos, cabe subrayar la importancia de futuras misiones astrométricas como GAIA, puesto que permitirán la recopilación de datos de alta calidad astrométrica y fotométrica de la población de enanas blancas local (Figueras et al. 1999). Hecho, que indudablemente, nos permitirá distinguir con claridad los efectos de un posible episodio de acreción previo en nuestra Galaxia.

- En el capítulo 4 hemos demostrado que la utilización de un algoritmo de inteligencia artificial es capaz de clasificar el catálogo de McCook y Sion (1987) de enanas blancas identificadas espectroscópicamente. Para ello hemos utilizado nuestras simulaciones de la población de enanas blancas (en este caso tanto del disco como del halo) como trazadoras e identificadoras de los datos observacionales. En última instancia hemos detectado diversas enanas blancas potencialmente pertenecientes a la población del halo. Algunas de estas enanas blancas pertenecían previamente a la muestra de objetos del halo propuesta por Liebert et al. (1989). Con respecto a las propiedades generales hemos encontrado que nuestros objetos candidatos al halo son brillantes y lejanos, mientras que la mayoría de ellos presentan velocidades tangenciales elevadas. Por otra parte, utilizando el método de $1/V_{\max}$ hemos calculado una función de luminosidad preliminar de las enanas blancas del halo. Este mismo método nos proporciona un valor de $\langle V/V_{\max} \rangle = 0,115$, el cual indica que nuestra función de luminosidad es aún incompleta. No obstante, nuestra función de luminosidad preliminar del halo representa una mejora substancial con respecto a su precedente, la función de luminosidad obtenida por Liebert et al. (1989). Por último hemos comparado la función de luminosidad con las predicciones teóricas y hemos hallado un buen acuerdo con la función de luminosidad calculada a partir de una IMF estándar.
- En el capítulo 5 hemos estudiado las propiedades de la población de enanas blancas del halo, poniendo especial énfasis en relación a las recientes observa-

ciones, tanto de microlentes en la dirección de la Gran Nube de Magallanes como del número de objetos que puede detectar el *Hubble Deep Field*, donde las enanas blancas se presentan como candidatos ideales para explicar tales observaciones. Para ello hemos realizado un modelo de simulación realista, siguiendo en todo momento los procedimientos observacionales. En nuestro estudio, hemos analizado a su vez el papel que desempeña la utilización de diferentes modelos de IMF, y las distintas predicciones que de ellas se derivan. En este sentido hemos hallado que para un modelo de halo típico con simetría esférica, y para una edad del halo de 14 Gyr, la población de enanas blancas sólo permite explicar entre un 10 % y un 50 % de la profundidad óptica en la dirección de la Gran Nube de Magallanes. En este sentido hemos hallado que la distribución de tiempos de Einstein es incompatible para las IMFs no convencionales. Además, el número de objetos que cabe esperar en el HDF, para el rango de colores y magnitudes observacional típico si que depende de la IMF escogida, de tal modo que es posible descartar alguna de las IMFs no estándar por presentar resultados poco realistas. Paralelamente hemos analizado la contribución de la población de enanas blancas del halo a la materia oscura de la Galaxia obteniendo diversos resultados en función de la IMF utilizada o de la edad del halo escogida.