

Capítulo 7

Conclusiones y proyectos futuros

A continuación enumeramos brevemente los principales hallazgos y conclusiones del presente trabajo de Tesis.

- El código de pulsaciones que hemos desarrollado funciona satisfactoriamente, no sólo para modelos estelares simples como las polítropas, sino también para el caso de modelos realistas de estrellas enanas blancas, proporcionando resultados que están en muy buen acuerdo con resultados independientes de otros investigadores.
- La aplicación de un tratamiento autoconsistente para el modelado de las regiones de transición química teniendo en cuenta los procesos de difusión microscópica dependiente del tiempo tiene un fuerte impacto sobre el espectro pulsacional de los modelos de estrellas ZZ Ceti, en particular en lo referente a los períodos de oscilación (P) y su variación secular (\dot{P}).
- Hemos puesto en evidencia la inconsistencia de la aproximación de *trace element* en el modelado de las transiciones de composición química, dado que, por construcción, dicha aproximación introduce una discontinuidad artificial en la derivada de los perfiles químicos. En efecto, este rasgo luego se traduce en formas abruptas de la frecuencia de Brunt-Väisälä en dichas regiones, que últimamente tienen serias consecuencias en el espectro pulsacional de los modelos estelares. También hemos hallado que la suposición de equilibrio difusivo, aún sin emplear la aproximación de *trace element*, es inadecuada para el modelado de las interfases químicas. De hecho, en nuestras simulaciones hemos encontrado que esta suposición conduce a un flash termonuclear de hidrógeno que aparta inmediatamente al modelo estelar de su track de enfriamiento de enana blanca en el régimen de las ZZ Ceti. Esto es válido al menos en un modelo de enana blanca con interior de carbono-oxígeno, $M_* = 0.55M_\odot$ y una envoltura gruesa de hidrógeno.
- Nuestro tratamiento de la difusión dependiente del tiempo predice resultados astrosismológicos para el caso de la ZZ Ceti G117-B15A en buen acuerdo con los obtenidos por Bradley (1998b), quien empleó la aproximación de *trace element*. De todas maneras, cabe resaltar que en dicho análisis sólo cuatro períodos de oscilación son analizados (correspondientes a los períodos observados en esa estrella). Es factible encontrar diferencias más notables en un estudio astrosismológico de algún otro miembro de la clase de las ZZ Ceti donde un número mayor de períodos esté presente en su curva de luz.

- El fenómeno de *mode trapping* se debilita marcadamente cuando las interfaces de composición química son tratadas mediante un esquema de difusión dependiente del tiempo, en contraposición al usualmente empleado hasta el momento, esto es, el equilibrio difusivo en la aproximación de *trace element*. Este debilitamiento del trapping de modos es particularmente notable en la región de períodos largos en modelos de enanas blancas con distintas masas de la envoltura de hidrógeno. Esta conclusión es válida al menos para modelos de enanas blancas de masa intermedia ($M_* \approx 0.55 - 0.65 M_\odot$), aunque un efecto similar, quizás no tan notable, es esperable en modelos más masivos. El hecho de que el *mode trapping* sea mucho menos “eficiente” en nuestros nuevos resultados pone en duda la comúnmente aceptada creencia de que sólo los modos atrapados en la envoltura de hidrógeno de las ZZ Ceti son capaces de alcanzar amplitudes apreciables y ser observados.

En este punto, creemos que nuestro estudio adiabático de pulsaciones ha dado resultados suficientemente relevantes en el campo de las estrellas ZZ Ceti, y pensamos que sería muy interesante repetir estos cálculos, esta vez analizando las pulsaciones en el caso más general no-adiabático. Desde el punto de vista matemático, el problema es bastante más intrincado, dado que es necesario resolver un sistema de ecuaciones de sexto orden en variable compleja (equivalente a un problema de orden doce en variables reales), en lugar del problema adiabático, más simple, gobernado por un conjunto de cuatro ecuaciones en variable real. Al momento de finalizar la escritura de este manuscrito disponemos de una versión no-adiabática del código de pulsaciones presentado aquí. Entonces, el paso natural siguiente es poner a prueba y refinar esta nueva versión no-adiabática del código de pulsaciones, lo cual nos permitirá luego re-examinar varios puntos abordados en la presente Tesis, tales como el fenómeno de *mode trapping*. También, en este contexto, nos proponemos obtener una estimación de la temperatura efectiva del borde caliente de la banda de inestabilidad, y su dependencia con los diferentes tratamientos del transporte convectivo en la zona superficial de las ZZ Ceti. Planeamos analizar la excitación de modos no sólo a través del mecanismo κ , sino también implementar un nuevo mecanismo hallado muy recientemente, denominado *convective driving* (Goldreich & Wu 1999).

Otro aspecto que deseamos abordar en el futuro es el efecto de la cristalización sobre las pulsaciones en variables ZZ Ceti. Este no sería un mero ejercicio académico, dado que se tiene conocimiento de la existencia de una ZZ Ceti masiva, BPM 37093, de la cual se supone que debe tener gran parte de su interior en fase sólida.

Finalmente, es necesario decir que en todos los estudios futuros pondremos énfasis en el empleo de modelos estelares de enanas blancas lo más detallados posibles, que tengan en cuenta todos los procesos de evolución previa de sus progenitores, partiendo desde la secuencia principal. Este punto es extremadamente importante dado que, como se ha visto a lo largo de la Tesis, el espectro pulsacional de las enanas blancas es fuertemente dependiente de la distribución de abundancias químicas en sus interiores. El empleo de modelos con estas características nos permitirá también abordar el estudio de las otras tres clases de enanas blancas pulsantes: las DBVs, DOVs y las PNNVs.