

# DESCUBRIMIENTO DE AGUA EN UNA ESTELLA MORIBUNDA

**Luis F. Miranda**

Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA)  
Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)

## INTRODUCCIÓN

Las estrellas que tienen una masa igual o menor que unas 8 veces la masa del Sol se denominan estrellas de tipo solar. Todas ellas comparten el mismo camino evolutivo que las llevará a terminar su vida como enanas blancas después de pasar por una fase de gigante roja.

Los procesos de fusión nuclear marcan los cambios en la evolución estelar. Durante la mayor parte de su vida, la energía de una estrella proviene de la fusión del Hidrógeno en Helio en el núcleo estelar. Cuando el Hidrógeno se agota en el núcleo, comienza la fusión del Helio en Carbono y Oxígeno. En las fases avanzadas de las gigantes rojas, la energía proviene de la fusión del Hidrógeno y Helio en dos capas alrededor de un núcleo de Carbono/Oxígeno en contracción. Es, precisamente, este gran aporte de energía desde el interior el hace que la estrella se expanda alcanzando dimensiones de cientos de radios solares en la fase de gigante. Procesos de fusión posteriores no existen en estas estrellas, ya que su masa no es suficientemente grande para que la temperatura del núcleo alcance los 600 millones de grados que son necesarios para fusionar el Carbono.

Una de las características más notables de las gigantes rojas es que pierden masa copiosamente y eyectan toda su atmósfera que forma una envoltura esférica en expansión alrededor de la estrella. En el proceso de eyección, van quedando expuestas regiones internas de la estrella cada vez más calientes. Cuando la temperatura de estas regiones alcanza unos 30000 K, la radiación estelar es suficientemente intensa para arrancar los electrones de los átomos en la envoltura (proceso denominado fotoionización) que emite luz intensamente. En este momento, la estrella entra en la fase de nebulosa planetaria (Figura 1) y se encuentra ya al final de su vida. El nombre de nebulosa planetaria nada tiene que ver con planeta, sino que proviene del hecho de que, con los telescopios de finales del siglo XIX, estos objetos se veían como pequeños discos difusos similares a la apariencia que presentaban los planetas.

Las observaciones indican que los procesos de eyección de masa que dan lugar a las nebulosas planetarias son complejos. La mayoría de las nebulosas planetarias no son esféricas (Figura 1), en claro contraste con las envolturas de las gigantes rojas que sí lo son. En algún momento de la evolución se debe romper la simetría esférica de la eyección en la fase de gigante. Esta ruptura se atribuye a la acción de flujos colimados de materia que se generan durante la transición de gigante roja a nebulosa planetaria y se observan en muchas nebulosas planetarias, aunque su origen es aún desconocido. Las moléculas, abundantes en las envolturas de las gigantes rojas, se destruyen poco a poco en la transición a nebulosa planetaria debido a la intensa radiación estelar y al cese de la eyección copiosa de materia al

final de la fase de gigante. La molécula de agua es común en las envolturas de las gigantes rojas y se detecta fácilmente a través de su emisión máser (el equivalente a un láser pero en la región de microondas) que se origina en las regiones internas de la envoltura a unas 100 Unidades Astronómicas de la estrella [una Unidad Astronómica (UA) es la distancia media Tierra – Sol que equivale a unos 150 millones de kilómetros]. En las nebulosas planetarias no se espera la existencia de moléculas de agua y, por lo tanto, de emisión máser de agua.

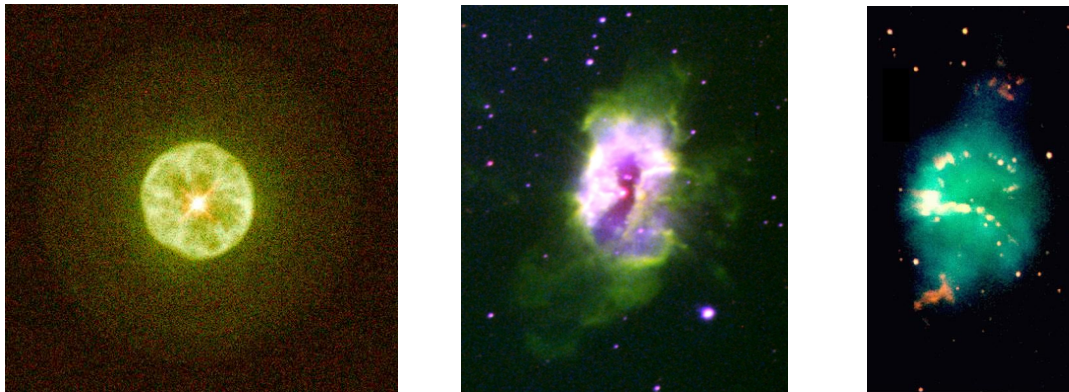


Figura 1. Nebulosas planetarias: IC3568 (izquierda) es un nebulosa planetaria circular con una envoltura interna brillante y otra externa mucho más débil [Créditos: H. Bond (STScI), NASA]; Sh2-71 (centro) es un nebulosa planetaria compleja con múltiples estructuras en diferentes orientaciones [Créditos: L.F. Miranda]; PM1-333 (derecha) es una nebulosa planetaria evolucionada con “micro-estructuras” (en rojo y blanco) en las cuales domina la emisión de átomos de Nitrógeno ionizado [Créditos: L.F. Miranda, C.B. Pereira, M.A. Guerrero].

### **LA NEBULOSA PLANETARIA K3-35**

K3-35 fue descubierto por L. Kohoutek y es el objeto número 35 del tercer catálogo de nebulosas planetarias que este investigador publicó en 1965. Aunque se clasificó originalmente como una nebulosa planetaria, su verdadera naturaleza fue controvertida durante muchos años dadas las peculiares características que presentaba el objeto. De hecho, la posibilidad de fuese una estrella en el proceso de su formación, en vez de una estrella al final de su vida, no se podía descartar. En 1998 varios investigadores analizamos con detalle observaciones de K3-35 y concluimos que la emisión óptica de K3-35 no dejaba lugar a dudas de era una nebulosa planetaria.

La clasificación definitiva de K3-35 como nebulosa planetaria presentó un grave problema puesto que, en la dirección del objeto, se detectaba emisión máser de agua. De acuerdo con las ideas existentes, la emisión máser de agua no se podía generar en K3-35 y se debía atribuir a otro objeto cercano en la línea de visión. De hecho, la resolución espacial de las observaciones publicadas en aquellas fechas no era lo suficientemente alta como para discernir de qué objeto provenía la emisión máser de agua.

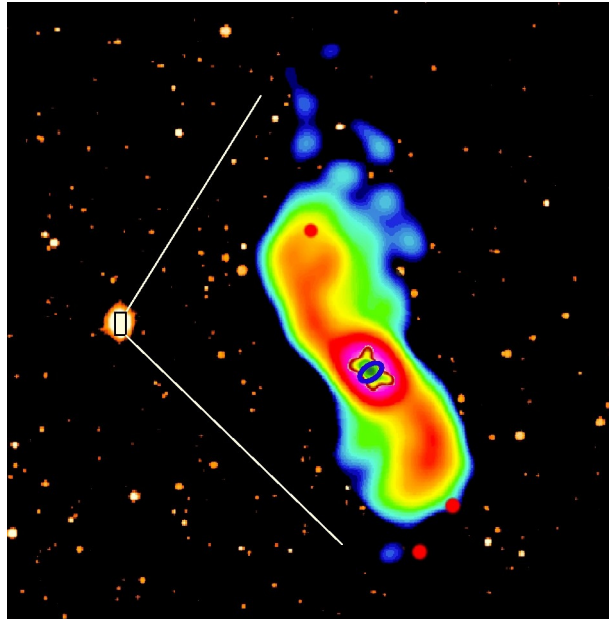


Figura 2. La nebulosa planetaria K3-35 (indicada con un recuadro negro) tal como se observa en el cielo. La ampliación en colores muestra la estructura de la nebulosa a la longitud de onda de 3.6 cm que está dominada por un chorro bipolar curvado y con simetría puntual con respecto a la estrella central (situada en el centro geométrico del objeto y no visible en esta imagen). El máser de agua se detectó al final de los chorros bipolares (puntos rojos) a unas 5000 AU de la estrella central, y en las regiones centrales de la nebulosa, en una estructura posiblemente anular (representada por el anillo azul en el centro) con un radio de unas 85 UA [Créditos: L.F. Miranda, Y. Gómez, G. Anglada, J.M. Torrelles, adaptada de Nature].

Para resolver el problema, en 1999 realizamos observaciones de alta resolución espacial con la idea de discriminar claramente de dónde provenía la emisión máser de agua. Las observaciones se llevaron a cabo con el Very Large Array (VLA), el conjunto de antenas situado en Nuevo México (USA), y la alta resolución de este instrumento nos permitió establecer que la emisión máser de agua sí se originaba en K3-35 (Figura 2) que en el año 2001, fecha de publicación de nuestros resultados (ver Figura 2), se convirtió en la primera nebulosa planetaria con másers de agua. Los másers de agua en K3-35 se detectaban a unas 85 UA del centro en una estructura que se podía interpretar como un anillo, y a la increíble distancia de unas 5000 UA de la estrella central, en los extremos de dos chorros bipolares curvados. La presencia de agua en K3-35 implicaba que las moléculas estaban protegidas contra la intensa radiación de la estrella central, lo que sugería la existencia de regiones neutras y densas en K3-35, tal como se ha demostrado con observaciones recientes. Por otra parte, las condiciones físicas necesarias para generar la emisión máser de agua no existen a 5000 UA de la estrella central. La existencia de chorros colimados en K3-35 y su asociación aparente con la emisión máser distante, nos llevo a sugerir que los chorros jugaban un papel relevante en la generación de dicha emisión. De hecho, el impacto de los chorros contra la envoltura puede generar choques que calienten y compriman la materia de tal forma que, en los puntos de impacto, se creen las condiciones físicas adecuadas para producir el máser de agua. En términos evolutivos, una implicación importante de esta detección es que K3-35

debe ser una nebulosa planetaria extremadamente joven que estamos observando en el momento preciso de su formación.

## **AGUA AL FINAL DE LA EVOLUCIÓN ESTELAR**

La detección de máseres de agua en K3-35 propició una búsqueda detallada en otras nebulosas planetarias con el fin de estudiar la incidencia de esta emisión en las fases finales de la evolución estelar e identificar más nebulosas planetarias en las primeras etapas de su formación. Hasta ahora hemos encontrado dos nebulosas planetarias más con emisión máser de agua denominadas IRAS17347–3139 e IRAS18061–2505. Como en el caso de K3-35, estos dos objetos deben ser nebulosas planetarias muy jóvenes. En ambas, la emisión se origina en la región central de la nebulosa en una región que podría ser un anillo o disco aunque las dos muestran evidencias de chorros colimados.

Los máseres de agua no sólo se detectan en gigantes rojas y en nebulosas planetarias, sino también en objetos que se encuentran en la transición entre ambas fases. Dada la alta resolución con la que pueden ser observados los máseres de agua, el estudio de todos estos objetos nos permitirá obtener información importante sobre los procesos físicos que ocurren en las últimas fases de la evolución de las estrellas como el Sol.

## **PARA SABER MÁS**

La forma más rápida y sencilla de ampliar los conocimientos sobre el tema de este artículo es a través de la Wikipedia (<http://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Portada>). En sus páginas se puede encontrar información exhaustiva sobre la evolución de las estrellas tipo solar, las características y propiedades de las gigantes rojas y de las nebulosas planetarias. Los textos están escritos en un lenguaje fácilmente comprensible, a la par que riguroso, e ilustrados con abundantes imágenes y figuras. También ofrece un buen número de referencias a otras páginas en Internet, artículos y libros donde los lectores interesados pueden profundizar en los diferentes aspectos de la Astronomía y la Astrofísica. Además, las páginas se actualizan y corrigen con frecuencia.