

# Másers en el espacio

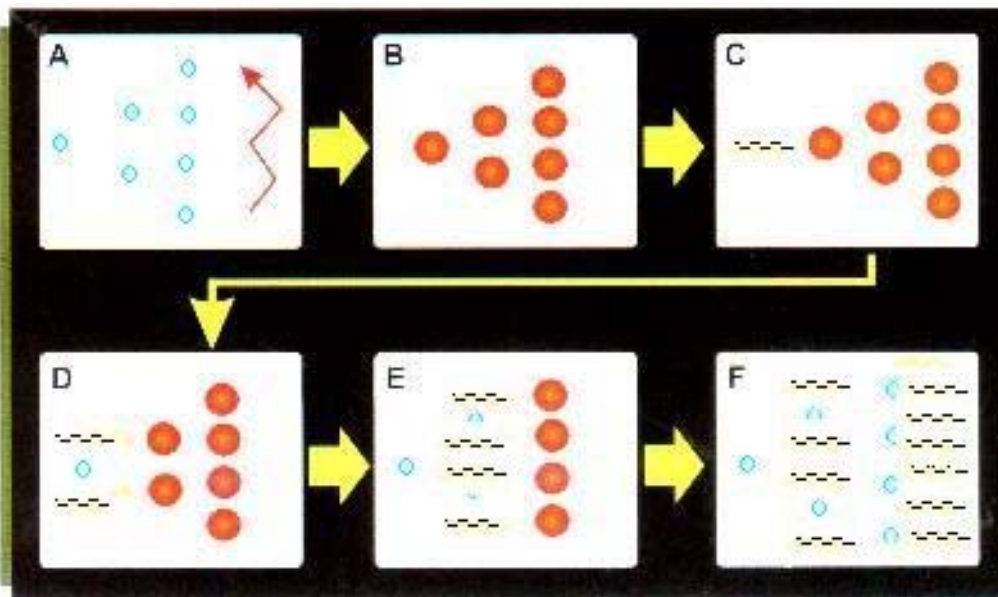
**LOS MÁSERES SE HAN REVELADO COMO POTENTES HERRAMIENTAS DE LA INVESTIGACIÓN ASTROFÍSICA**

Por José Francisco Gómez (IAA-CSIC)

**LA NAVEGACIÓN POR MAR TIENE SUS RIESGOS**, sobre todo cuando el barco está cerca de tierra. La situación se complica por la noche, cuando los marineros no pueden ver la costa con sus propios ojos. Se puede mantener una distancia prudencial a la costa pero, como ésta no es una línea recta, el barco podría encontrarse con un cabo y naufragar. Desde tiempos antiguos se han construido faros para ayudar a la navegación nocturna. Un faro emite un potente haz de luz para marcar las zonas más peligrosas de la costa. No permite ver la costa pero su presencia nos permite inferir dónde se encuentra un cabo o la entrada a un puerto. En este artículo vamos a tratar con una especie de "faros" que encontramos en el universo. Son potentes haces de radiación que, aunque no nos permiten ver directamente los objetos astronómicos de los que provienen, sí nos sirven para inferir su presencia e incluso su forma y movimientos. Estos "faros" son los másers, herramientas muy potentes gracias a las que es posible estudiar algunas zonas del espacio con el mayor detalle que podemos alcanzar hoy en día en Astronomía.

## **Másers y láseres**

La palabra "másér" es un acrónimo procedente de las palabras inglesas *microwave amplification by simulated emission of radiation*, que en castellano se traduciría como "amplificación de MICROONDAS mediante emisión estimulada de radiación". El fenómeno físico involucrado es exactamente el mismo que el de un láser (amplificación de la LUZ mediante emisión estimulada de radiación). La única diferencia entre un láser y un másér es la longitud de onda de la radiación que se amplifica: se trata de luz visible en el caso de un láser y microondas en un másér. Las microondas son las ondas de radio de longitud más corta (entre aproximadamente un milímetro y un metro). Un horno doméstico de microondas calienta los alimentos utilizando ondas que suelen ser de unos 12 cm.



#### ESQUEMA DEL PROCESO DE EMISIÓN MÁSER

Las moléculas excitadas, o en un nivel alto de energía, están indicadas con los círculos rojos; los pequeños círculos azules representan moléculas sin excitar, o en un nivel bajo de energía.

A y B. Un grupo de moléculas es excitado por radiación o choques.

C. Estas moléculas se encuentran en un nivel alto de energía (población invertida); un fotón incide por la izquierda.

D. El fotón estimula la emisión de la primera molécula, que libera la energía retenida en el paso A; como resultado, dos fotones y una molécula en un nivel bajo de energía.

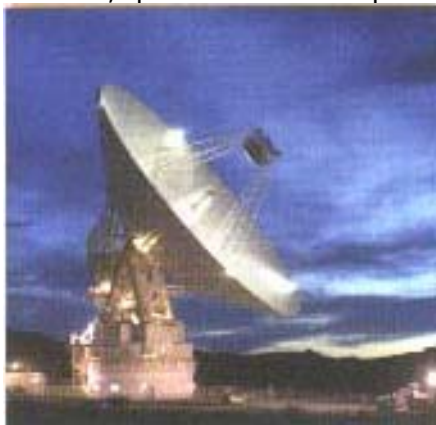
E y F. Los fotones estimulan la emisión de las dos moléculas siguientes, en un proceso que continúa doblando el número de fotones muy rápidamente.

Para entender el fenómeno físico de la emisión másica o láser, debemos repasar antes algunas propiedades de la materia y la radiación:

- *Los átomos y moléculas pueden estar en distintos niveles de energía.*
- *Un átomo o una molécula que absorba energía puede pasar a un nivel superior. Y, al contrario, pasaría a un nivel inferior liberando la energía sobrante.*
- *Una forma de caer a un estado inferior es emitir radiación. La diferencia de energía entre los niveles determina la longitud de la onda (y por tanto, la frecuencia) emitida. Así, los átomos y las moléculas actúan de forma similar a una emisora de radio comercial, que emite ondas con una frecuencia determinada. Si queremos escuchar una emisora concreta, debemos sintonizar su frecuencia. En Astronomía, debemos "sintonizar" una frecuencia concreta para estudiar la emisión de una molécula o de un átomo.*
- *En situaciones de equilibrio, la cantidad de partículas en cada nivel de energía está determinada por la temperatura del material. En los materiales más calientes hay más partículas en estados de alta energía. Pero, en cualquier caso, siempre habrá más partículas en los estados inferiores que en los superiores.*



Para que un material produzca emisión máser o láser debe romperse este equilibrio. Inyectando energía en el material puede conseguirse una inversión de la población entre dos niveles, es decir, que haya más átomos o moléculas en el nivel de energía superior. Mientras dura esta inversión, se hace pasar radiación con la longitud de onda que justamente corresponda a la diferencia de energía entre dos niveles. Esta radiación estimula una caída súbita de las partículas del nivel superior al inferior, produciendo un potente "fogonazo" de luz o de microondas. De esta



Radiotelescopio de la Nasa en Goldstone, EE.UU. Esta antena, de setenta metros de diámetro, es idéntica a la de Robledo de Chavela en España (NASA-JPL)

manera se consigue un haz de radiación intenso, estrecho y monocromático (con solo un "color" o longitud de onda).

Este proceso de emisión estimulada de radiación fue postulado por primera vez (¡cómo no!) por Albert Einstein en 1917. El primer máser artificial fue desarrollado en 1953 por el físico norteamericano Charles Townes, utilizando amoniaco como material amplificador de microondas con longitudes de aproximadamente un centímetro (24 GHz de frecuencia). Su descubrimiento le hizo merecedor del Premio Nobel en 1964. Pero lo que nos interesa aquí no son los másers construidos por el hombre, sino los que se producen de forma natural en el espacio.

### **Másers astronómicos**

Para que en el espacio se produzca una emisión máser deben darse como mínimo dos condiciones: en primer lugar, tiene que haber la suficiente cantidad de gas para que sus moléculas puedan amplificar la radiación. En segundo lugar, debe existir una importante fuente de energía que consiga invertir la población de los niveles de las moléculas. Estas condiciones se dan en distintos ambientes: regiones de formación estelar, cometas, atmósferas planetarias, estrellas en sus últimas fases de vida e incluso cerca de los agujeros negros centrales de algunas galaxias.

Es bien sabido que el espacio no está completamente vacío. Existe materia interestelar, compuesta fundamentalmente por hidrógeno gaseoso. En objetos como los mencionados arriba, este gas es especialmente denso. Aparte del hidrógeno, hay otras moléculas en el medio interestelar, aunque en proporciones mucho menores. Son precisamente algunas de estas moléculas las que actúan como amplificadores de radiación y producen la intensa emisión máser. Los másers más utilizados en Astronomía son los producidos por el radical hidroxilo, el monóxido de silicio, el metanol y el agua.

El primer máser astronómico detectado fue el de hidroxilo, en 1965 (Weaver y colaboradores). Esta molécula emite radiación máser en varias longitudes de onda, pero sus másers más utilizados están en 18 cm (1,7 GHz de frecuencia). Otro descubrimiento fundamental fue el de los másers de agua, con longitud de onda de un centímetro (22 GHz), en 1969 (Cheung y colaboradores). Dada su importancia astronómica, las frecuencias de microondas a las que emiten estos másers de hidroxilo están reservadas para observaciones astronómicas, y no deberían utilizarse comercialmente (por ejemplo, para telefonía móvil o difusión de emisiones de radio y televisión). Sin embargo, en los últimos años cada vez es más difícil poder observar másers de hidroxilo sin interferencias de radioemisiones artificiales.

La producción de un máser en un objeto astronómico requiere unas condiciones muy particulares de densidad, temperatura e inyección de energía externa. Cualquier desviación de esas condiciones elimina la posibilidad de invertir los niveles de energía. Por esta razón, las zonas de emisión máser que observamos son muy pequeñas, y aparecen como puntos muy brillantes. Como un faro en el espacio.

### **Cómo se observan los másers astronómicos**

Los másers son emisiones intensas de microondas que, como dijimos anteriormente, son ondas de radio de longitud corta. Por lo tanto, no se observan con telescopios ópticos convencionales, sino con antenas de radio: los radiotelescopios.

Aunque no es el único tipo de estudios que pueden realizar, una parte importante del tiempo de estos radiotelescopios se emplea en observar másers. Sus grandes tamaños garantizan poder detectar estas emisiones, incluso en objetos muy distantes como galaxias activas situadas a varios millones de años luz. Por ejemplo, los radiotelescopios como los de Arecibo en Puerto Rico (305 metros de diámetro), Green Bank en Estados Unidos o Effelsberg en Alemania (ambos de 100 m), o Robledo de Chavela en España (70 m), se encuentran entre los más sensibles del mundo para detectar ondas de radio, entre ellas la emisión máser.

Para poder estudiar con detalle cómo se distribuye la emisión máser hay que recurrir a la técnica de la interferometría. Consiste en observar simultáneamente el mismo objeto con varias antenas y hacer interferir las señales recibidas por cada una. Cuanto más distantes estén las antenas entre sí, se pueden distinguir detalles más finos en las imágenes. El telescopio más importante que utiliza esta técnica es el *Very Large Array*, en Estados Unidos, compuesto por 27 antenas con separaciones máximas de 36 km.

Las zonas de emisión máser que observamos son muy pequeñas, y nos aparecen como puntos brillantes. Como un faro en el espacio

También es posible realizar interferometría entre antenas situadas en distintos continentes. De esta forma se obtienen imágenes con el mismo detalle que podría conseguir un gran radiotelescopio con un diámetro igual al de la Tierra (más de 12.000 km). Mediante interferometría se han tomado imágenes de la emisión máser de objetos astronómicos alcanzando detalles del orden de diez microsegundos de arco. Para hacernos una idea de la altísima precisión que esto representa, diez microsegundos equivalen aproximadamente al tamaño con el que veríamos una moneda de un céntimo que estuviera en la superficie de la luna. Ninguna otra técnica en Astronomía puede, hoy por hoy, alcanzar este poder de resolución. Esto convierte a los máseres en una herramienta muy poderosa para estudiar los objetos astronómicos en los que se producen.

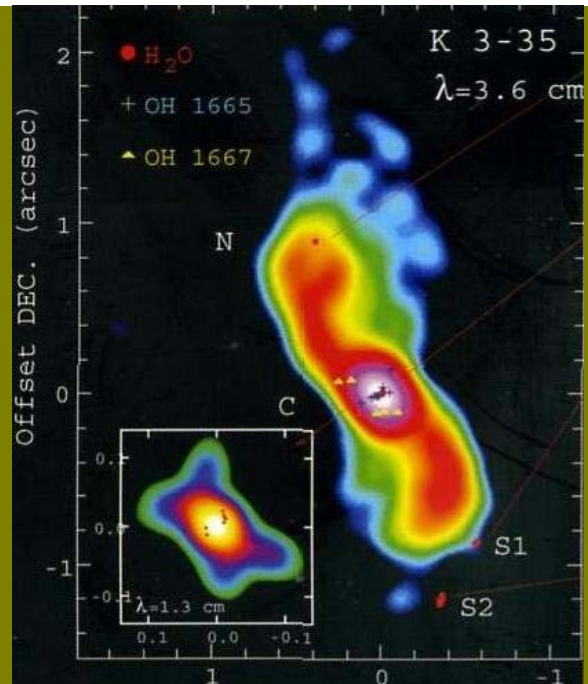
### **Un ejemplo de estructuras trazadas por máseres: estrellas en formación**

Las estrellas se forman en el seno de nubes de gas y polvo. Algunas zonas de estas nubes colapsan para dar lugar a un embrión estelar, o protoestrella. A partir de aquí, la protoestrella debe ir ganando material de su entorno hasta alcanzar la masa necesaria para poder iniciar reacciones nucleares en su interior. En estas primeras etapas nos encontramos con la protoestrella rodeada de un disco de gas (imaginemos la protoestrella como una bolita en el agujero de un CD). La protoestrella va engullendo masa del disco y al mismo tiempo expulsa una pequeña cantidad de materia a velocidades de cientos de km/s, en forma de energéticos chorros colimados en dirección perpendicular al disco. Esta configuración es importante, porque ilustra no solo cómo se forma una estrella, sino también la formación de planetas: el disco circunestelar proporciona la materia prima para un futuro sistema planetario en torno a la joven estrella. Por eso, a estos discos se les llama discos protoplanetarios.

En este proceso se dan las condiciones idóneas para que se produzca emisión máser: existe una cantidad apreciable de gas en el entorno de la protoestrella que, al expulsar masa a gran velocidad, proporciona la fuente de energía necesaria para invertir la población de los niveles de algunas moléculas y producir emisión máser. Por ejemplo, los máseres de la molécula de agua que observamos en estrellas jóvenes parecen trazar los chorros colimados en algunos casos. Se observan colimados y moviéndose en direcciones opuestas desde la protoestrella central. Sin embargo, en otros objetos los máseres trazan discos protoplanetarios. Se mueven a las velocidades que se esperarían de un gas en rotación en torno al objeto central (mayores velocidades más cerca del centro) y tienen un tamaño similar al de nuestro Sistema solar: unas cien unidades astronómicas (ver imagen de NGC 2071-IRS 3, pág anterior).

## INVESTIGACIÓN DE MÁSERES EN EL IAA

En el IAA realizamos observaciones de alta resolución de la emisión máser, especialmente de las moléculas de hidroxilo y agua. Con esta importante herramienta estudiamos la formación de nuevas estrellas y sistemas planetarios. En algunos casos, hemos visto procesos inexplicables con las teorías existentes de formación estelar (como la expulsión de "burbujas" esféricas de gas en estrellas jóvenes). También investigamos las últimas etapas de vida de estrellas como el Sol, cuando toman la forma de nebulosas planetarias. Hasta hace poco se pensaba que las nebulosas planetarias no proporcionaban la suficiente energía para generar emisión máser de agua, pero ya hemos conseguido descubrir tres de ellas que sí lo hacen. Estos tres objetos podrían pertenecer a un tipo especial de nebulosas planetarias muy masivas. Quedan aún muchos interrogantes en el estudio de las primeras y últimas etapas de la evolución de las estrellas, y las observaciones de la emisión máser serán cruciales, dada su capacidad para alcanzar un enorme detalle en sus imágenes.



K3-35 es la primera nebulosa planetaria en la que se ha detectado emisión máser de agua. Los máseres de agua están localizados en un disco de radio 85 UAs y en los extremos de un chorro bipolar a 5000 UAs del centro; también muestra máseres de hidroxilo (OH) en diferentes frecuencias. La presencia de agua indica que K3-35 es una nebulosa planetaria extremadamente joven.

Ref: L.F. Miranda, Y. Gómez, G. Anglada, J.M. Torrelles, 2001, *Nature*, 414, 284-286

Este artículo aparece en el nº 24, de febrero 2008, de la revista *Información y Actualidad Astronómica*, del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC).