

JETS ESTELARES

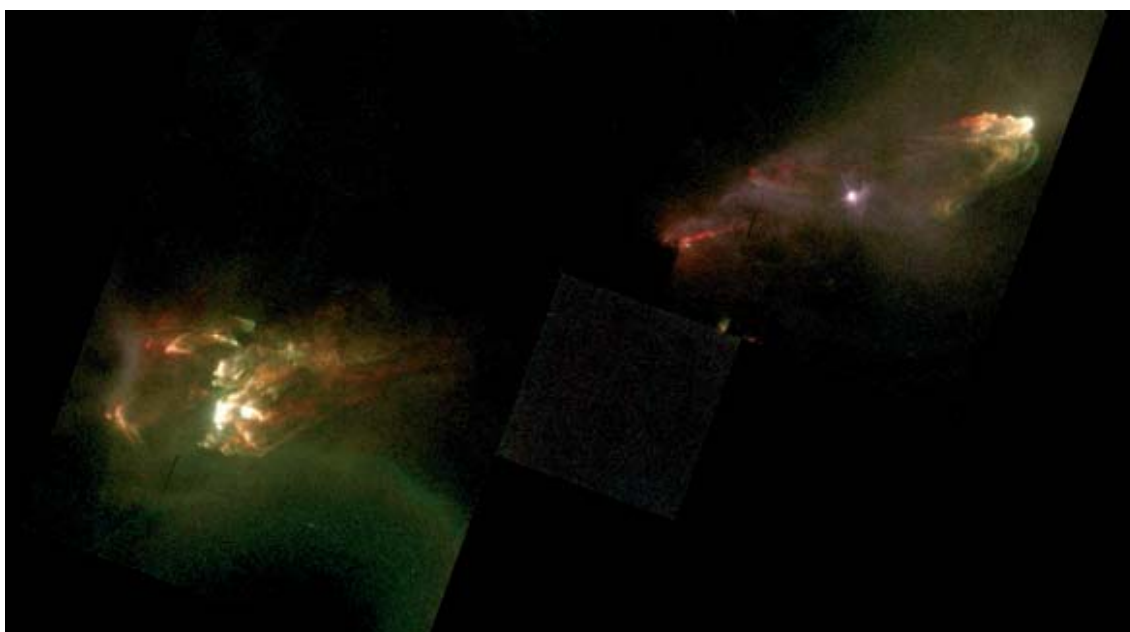
Las estrellas jóvenes “imitan” a los agujeros negros

SE HALLAN LOS PRIMEROS INDICIOS DE QUE LOS JETS EN GALAXIAS ACTIVAS Y LOS JETS ESTELARES, SIMILARES EN APARIENCIA, ESTÁN GOBERNADOS POR UN MECANISMO COMÚN

Por Carlos Carrasco-González (IAA-CSIC)

UNO DE LOS FENÓMENOS MÁS ESPECTACULARES QUE OBSERVAMOS EN EL UNIVERSO es el de los jets bipolares, chorros de partículas muy colimados que viajan a velocidades supersónicas y que emergen de un objeto central en direcciones opuestas.

Algo que sorprende de este fenómeno es que observamos jets impulsados por objetos con características tan distintas como los agujeros negros supermasivos, de

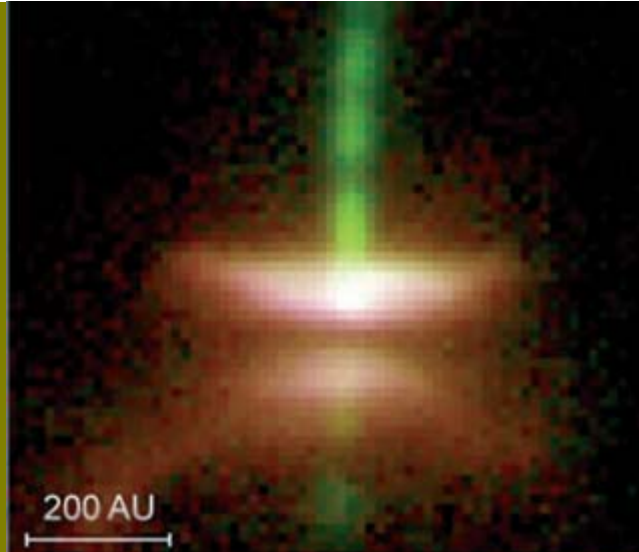


cientos de millones de masas solares, los microcuásares, de apenas unas pocas veces la masa del Sol, o las estrellas en formación. Y, más sorprendente aún, en un estudio reciente hemos hallado uno de los primeros indicios de que, a pesar de las diferencias, el funcionamiento de los jets parece regirse por un mecanismo común.

En el caso de los agujeros negros se suele hablar de jets relativistas porque el material del jet alcanza velocidades muy altas, de cientos de miles de kilómetros por segundo, muy cercanas a la velocidad de la luz. Los más conocidos son los grandes jets de los agujeros negros supermasivos en los núcleos de galaxias activas, los cuásares, que se observan a escalas intergalácticas y alcanzan longitudes de varios millones de años luz.

Sus "hermanos" pequeños, descubiertos en los años 90 del siglo pasado, son los jets de los microcuásares. Los microcuásares son agujeros negros más pequeños, con masas de unas pocas veces la del Sol y que se encuentran inmersos en las galaxias. Son el producto de la muerte de estrellas masivas y los jets que impulsan, aunque también se mueven a velocidades relativistas, alcanzan longitudes menores, de solo unos pocos años luz.

Por último tenemos los jets estelares, impulsados tanto por estrellas muy jóvenes, aún en proceso de formación, como por estrellas muy viejas que se encuentran al final de su vida. Menos energéticos que los jets relativistas, alcanzan velocidades de solo unos pocos de cientos de kilómetros por segundo y longitudes de unos pocos de años luz.



Combinación de imágenes en óptico (rojo) e infrarrojo (verde) del jet HH 30, impulsado por una estrella en formación. Perpendicular al jet, vemos emisión en el óptico (rojo) reflejada en el disco de la estrella.



Concepción artística de un microcuásar. A la izquierda se puede ver el disco de acreción rodeando el agujero negro que impulsa el jet. El material del disco es arrancado de la atmósfera de una estrella cercana, debido a la fuerte gravedad del agujero negro.

Distintas formas de observar los jets

Hasta ahora, los jets relativistas y los estelares se habían estudiado de formas distintas, ya que cada tipo de jet produce la energía que detectamos a través de mecanismos diferentes.

Por un lado, los jets relativistas no pueden estudiarse por medio de observaciones en el óptico o en el infrarrojo, ya que el material del jet es demasiado tenue y su densidad demasiado baja para emitir en esas longitudes de onda. Para poder estudiarlos es necesario recurrir a longitudes de onda de radio, donde emiten la

mayor parte de su radiación. Esta emisión, denominada sincrotrón, se produce cuando hay electrones moviéndose a velocidades relativistas en presencia de un campo magnético. Se trata de una radiación con rasgos muy característicos: la intensidad de la luz que recibimos en nuestros telescopios está relacionada con la intensidad del campo magnético en el jet; además, esta luz muestra polarización lineal y la dirección de la polarización está relacionada con la dirección del campo magnético. De este modo, el estudio de la radiación sincrotrón en estos jets se revela como un método eficaz para estudiar el campo magnético y sus efectos sobre partículas del jet.

En cambio, la emisión en los jets impulsados por estrellas no aporta información sobre el campo magnético, sino que está relacionada con la temperatura del material del jet. Aquí las partículas se mueven a velocidades mucho menores, determinadas por la temperatura del fluido, en un movimiento caótico que provoca choques entre partículas cargadas; en estos choques, una parte de la energía de las partículas se pierde y es emitida en forma de luz. La densidad del fluido en estos jets hace posible que parte de esa luz sea emitida en longitudes ópticas e infrarrojas, lo que nos permite, por medio de este tipo de observaciones, medir parámetros importantes del jet, como su densidad o temperatura.

Los jets estelares también emiten luz en longitudes de onda de radio, cuyo estudio resulta ser muy útil para estudiar el fluido muy cerca de la estrella, donde es acelerado para formar el jet. Al estar estas estrellas envueltas en grandes cantidades de material, la densidad es tan alta en estas regiones que la luz visible o infrarroja no puede escapar, y solo podemos penetrar en ellas por medio de observaciones en longitudes de onda de radio. Sin embargo, y a diferencia de sus homólogos relativistas, la emisión en radio de los jets estelares no contiene información sobre el campo magnético, se trata de una emisión no polarizada.

Observar el campo magnético

Y, ¿por qué nos preocupamos tanto por la ausencia de datos sobre el campo magnético? Pues porque, según las conclusiones que arrojan tanto los modelos teóricos como las simulaciones numéricas, el campo magnético es la clave para entender la formación y colimación de los jets.

Hasta ahora solo hemos sido capaces de estudiar en detalle el campo magnético en los jets de galaxias activas, ya que estos emiten radiación sincrotrón polarizada que nos da información tanto de la intensidad como de la morfología del campo magnético. Así, se encuentra que en la mayoría de estos jets el campo magnético adopta una configuración en forma de hélice predicha por los modelos teóricos.

En el caso de los jets estelares, ya hemos visto que la emisión térmica de sus jets no aporta información sobre el campo magnético, de modo que este es el gran desconocido. Resulta irónico que sea, precisamente en estos jets, donde tenemos una mayor información del resto de parámetros físicos que intervienen, como la densidad, velocidad o temperatura del fluido. Sin embargo, algunos estudios teóricos apuntan hacia una posibilidad de medir el campo magnético. En algunos casos, aunque el fluido en el jet no se mueva a velocidades relativistas, si la velocidad es del orden de unos mil kilómetros por segundo, al chocar el fluido con regiones densas del medio interestelar, es posible producir la aceleración de un pequeño número de partículas hasta velocidades relativistas. Y, si un campo magnético está presente en estos jets estelares, entonces estas partículas relativistas emitirán radiación sincrotrón polarizada y podríamos aplicar las mismas técnicas de polarimetría que en el caso de los jets relativistas para medir el campo magnético.

Analizando el espectro en radio de algunos de los jets en estrellas en formación más potentes se han encontrado evidencias que sugieren que este mecanismo

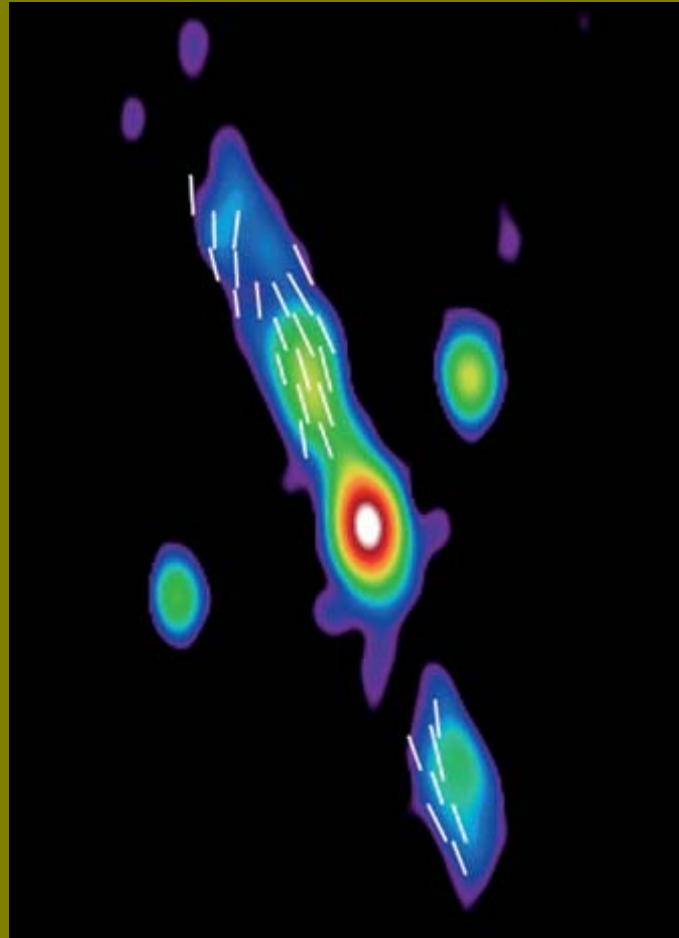


Imagen en radio del jet HH 80-81, impulsado por la estrella en formación IRAS 18162-2048. En la imagen se pueden apreciar los dos chorros que emergen de la estrella central. Las medidas de polarización en estos chorros han permitido medir la intensidad y morfología del campo magnético (líneas blancas) en el jet. A ambos lados del jet se pueden observar emisión en radio de otros objetos diferentes, probablemente otras estrellas en formación

puede estar ocurriendo. La detección de luz polarizada en estos jets supondría no solo la confirmación de que este fenómeno de aceleración está teniendo lugar sino que, además, permitiría estudiar el campo magnético en los jets estelares. Sin embargo, esta luz polarizada es tremendamente débil y requiere de observaciones muy sensitivas para poder ser detectada.

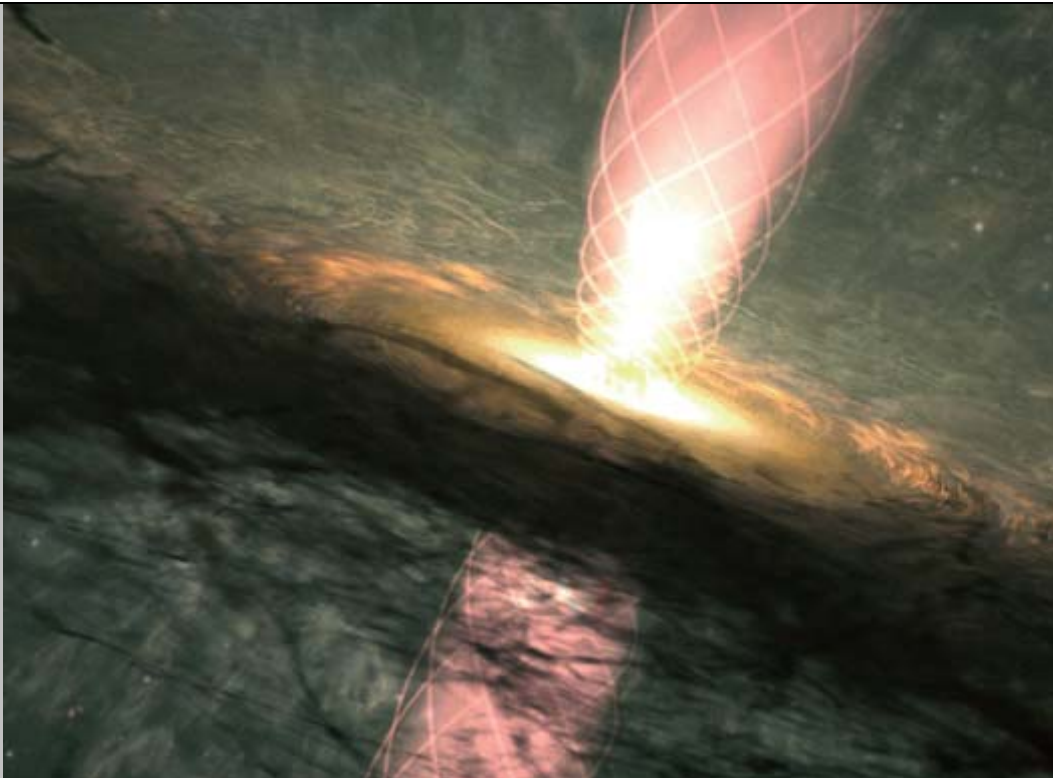
Con esta motivación, recientemente realizamos observaciones en radio de la estrella en formación IRAS 18162-2048. Esta estrella, ubicada dentro de nuestra galaxia, a unos 5.500 años luz de la Tierra, es unas diez veces más masiva que el Sol e impulsa un jet con una longitud de unos veinte años luz de extensión. Este jet, denominado HH 80-81, se trata de uno de los jets en estrellas en formación más potentes y colimados que conocemos.

Para observar este jet usamos el *Very Large Array* (VLA), uno de los interferómetros de radio más potentes del mundo, formado por veintisiete antenas de radio de veinticinco metros de diámetro cada una y distribuidas a lo largo de treinta kilómetros en el desierto de Nuevo México (EEUU). La señal recibida por todas estas antenas se combina de forma que juntas actúan como un solo radiotelescopio de treinta kilómetros de diámetro.

De esta manera se obtienen imágenes de muy alta sensibilidad y resolución angular. Usando esta técnica, realizamos una de las observaciones más sensitivas

que se habían hecho hasta ahora de un jet estelar. Y conseguimos detectar emisión polarizada, lo que confirma la existencia de un campo magnético en este jet. Además, estudiando las características de esta emisión polarizada encontramos que la morfología del campo magnético es helicoidal y envuelve el fluido del jet, similar a lo que ocurre en el caso de los jets de galaxias activas.

La importancia de este descubrimiento es doble. En primer lugar, parece confirmar que, a pesar de las diferencias en sus características, el funcionamiento de los jets estelares y los jets relativistas parece ser el mismo. Pero este descubrimiento, además, abre la puerta a estudios del campo magnético en otros jets estelares que, combinados con las otras técnicas de observación que ya se venían aplicando, proporcionarán una visión más completa del fenómeno de los jets.



Conceptión artística del jet y el disco en una estrella en formación. Las líneas que envuelven el jet representan el campo magnético helicoidal, responsable del confinamiento de las partículas del jet.

Fuente: Wolfgang Steffen.

COMO SE FORMAN Y COLIMAN LOS JETS

Aunque aún no tenemos una descripción detallada de cómo se forman y se coliman los jets, sí que sabemos cuáles son algunos de los ingredientes principales. Tanto si es impulsado por un agujero negro como si lo es por una estrella, el objeto central siempre se encuentra rodeado de un disco de acreción. El origen y composición de este disco es diferente en cada caso. En las estrellas en formación, por ejemplo, este material se compone de polvo interestelar de las nubes en las que se forman las estrellas. A través de este disco, la estrella va incorporando material, creciendo así desde una masa inicial muy pequeña hasta llegar a su masa final. Cuando la estrella ya está formada, el disco evoluciona para formar un sistema planetario, similar al Sistema Solar. En el caso de los microcuásares, el disco está compuesto de material que el agujero negro ha arrancado de la atmósfera de una estrella cercana.

A pesar de las diferencias en velocidad, tamaño y densidad del jet, o en la masa

del objeto central que lo impulsa en cada caso, todos los jets son morfológicamente idénticos. Siempre observamos un objeto central rodeado de un disco de acreción y los chorros colimados que emergen perpendiculares al disco, en direcciones opuestas a lo largo del eje de rotación del sistema. Esta similitud morfológica sugiere que el mecanismo por el cual se forman, aceleran y coliman los jets debe ser esencialmente el mismo, independientemente de si es una estrella o un agujero negro el que lo impulsa. En este caso, las diferencias en velocidad o tamaño que aparecen en los distintos tipos de jets serían consecuencia de que en cada caso el "motor" que lo impulsa tiene características diferentes.

Los modelos teóricos y simulaciones numéricas de jets han puesto de manifiesto que uno de los ingredientes fundamentales para la formación y colimación de los jets parece ser el campo magnético. El escenario más aceptado actualmente se basa en un acoplamiento del campo magnético con el disco de acreción. Debido a la rotación del disco de acreción, el campo magnético anclado en el mismo se "enrolla" formando una hélice a lo largo del eje de rotación, es decir, en la dirección de los jets. Las partículas cargadas del disco siguen las líneas de campo magnético, y son por tanto extraídas del disco e inyectadas en el jet. La colimación de las partículas se produce a través de la componente toroidal del campo magnético, es decir, los "anillos" de campo magnético que envuelven el jet. Estos anillos confinan el fluido, como si se tratase de las paredes de un tubo: las partículas cargadas necesitan de mucha energía para poder atravesarlo, mientras que sí se pueden mover libremente siguiendo la líneas de campo a lo largo del jet. Este mecanismo es muy similar al que usamos en los aceleradores de partículas para acelerar y confinar las partículas.

Carlos Carrasco-González (IAA_CSIC)
Este artículo aparece en el número 33, febrero 2011,
de la revista "Información y Actualidad Astronómica",
del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA_CSIC)