



hnm

Boletín de la UNAM
Campus Morelia
No. 38 · Mayo/Junio 2012

ARTÍCULO

LAS NUBES QUE FORMAN ESTRELLAS: ¿EN COLAPSO GRAVITACIONAL?

Dr. Enrique C. Vázquez Semadeni
Centro de Radioastronomía y Astrofísica

Nuestra galaxia, la Vía Láctea, ese conglomerado con forma de disco, de cientos de miles de millones de estrellas como nuestro Sol, contiene además grandes cantidades de gas (principalmente hidrógeno) y polvo, que constituyen el llamado medio interestelar. Un hecho no tan conocido acerca de la Vía Láctea, y de las galaxias en general, es que, a pesar de haberse formado hace varios miles de millones de años, aún siguen formando nuevas estrellas en la actualidad. El proceso de formación de nuevas estrellas, con frecuencia acompañadas de sistemas planetarios similares al nuestro, se lleva a cabo den-

tro de las llamadas “nubes moleculares”, que son las regiones más densas del medio interestelar. En cierta forma, estas nubes son similares a las nubes en la atmósfera terrestre, excepto que en lugar de estar formadas por pequeñas gotas de agua, están formadas principalmente por moléculas de hidrógeno. Por el contrario, en el resto del medio interestelar, el hidrógeno se encuentra en forma atómica o ionizada. Esto es porque, para que se formen moléculas de hidrógeno (dos átomos de hidrógeno unidos por un enlace covalente), es necesario que el gas se encuentre a densidades suficientemente altas para escudarse de la radiación que

CONTENIDO

ARTÍCULO

*LAS NUBES QUE FORMAN ESTRELLAS:
¿EN COLAPSO GRAVITACIONAL?* 1

REPORTAJE

*INVESTIGADORES DEL INSTITUTO DE GEOFÍSICA PROPONEN
ACTUALIZAR MAPA DE PELIGROS DEL VOLCÁN POPOCATÉPETL* 4

ESTUDIANTES

¿QUÉ ES EL KARST Y POR QUÉ ES IMPORTANTE? 5

BREVES DEL CAMPUS 6

PARA CONOCER MÁS 8

LIBROS

BREVIARIO DE PODREDUMBRE 8

destruye a las moléculas, y que proviene de la población de estrellas en la galaxia.

Desde que se descubrieron las nubes moleculares a principios de los años setenta del siglo XX, se descubrió también que se caracterizan por tener movimientos internos muy violentos, que son de hecho supersónicos. La primera explicación acerca de la naturaleza de estos movimientos fue propuesta por Goldreich y Kwan en 1974, quienes sugirieron que las nubes deberían encontrarse en un proceso de colapso gravitacional; es decir, cayéndose sobre sí mismas hacia su propio centro de gravedad, debido a la acción de su propia fuerza gravitacional, que actúa entre todas las moléculas de gas que forman la nube, y tiende a hacer que éstas se acerquen unas a otras.

Sin embargo, ese mismo año, esta propuesta fue desechada por Zuckerman y Palmer, quienes argumentaron que, si así fuera, la Vía Láctea debería estar formando estrellas con mucha mayor rapidez que con la que parece estarlo haciendo en realidad.

Para entender este argumento, debemos considerar que las estrellas como el Sol se forman precisamente cuando una cierta región dentro de una nube molecular se colapsa para formar un objeto muy denso y caliente, es decir, una estrella. El argumento de Zuckerman y Palmer, sin embargo, es que si la totalidad del gas molecular de la galaxia se estuviera colapsando, entonces todo el material molecular de la galaxia debería convertirse en estrellas en un tiempo relativamente corto, llamado precisamente “tiempo de caída libre”. Este es el tiempo que tarda una masa gaseosa en colapsarse si se deja únicamente a expensas de la acción de su propia gravedad (o “peso”). Se puede calcular que, para las condiciones promedio del gas molecular en la ga-

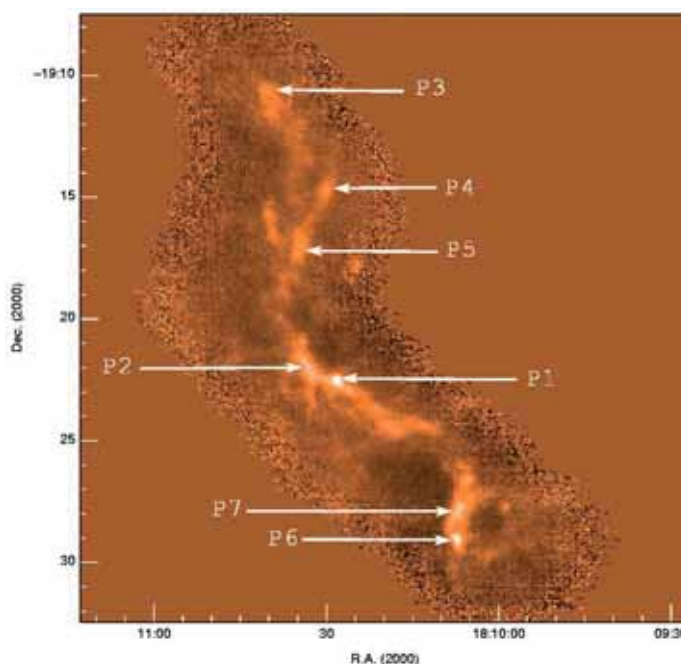


Fig. 1. La nube infrarroja oscura G11.11-0.12, observada en emisión de polvo frío a 850 mm (Johnstone et al., 2003, *The Astrophysical Journal*, vol. 588, L37). Cada división en el eje vertical corresponde a una separación de aproximadamente 1 pc. Se pueden observar la estructura filamentaria y sinuosa de la nube, así como la presencia de numerosos grumos densos, identificados por las flechas.

laxia, el tiempo de caída libre es de unos 3 millones de años. Se sabe además que la Vía Láctea contiene actualmente una cantidad de gas molecular igual a unos mil millones (10^9) de veces la masa de nuestro Sol. Dividiendo esta masa por el tiempo que tardaría en colapsarse (es decir, el tiempo de caída libre), se encuentra que la rapidez con la que la Vía Láctea debería estar formando estrellas sería de unas 300 masas solares al año. Este es el llamado “estimado de caída libre” de la rapidez de formación estelar. Sin embargo, en realidad se encuentra que la galaxia forma estrellas con una rapidez unas 100 veces menor, de apenas unas cuantas masas solares al año. A este problema se la ha llamado “la paradoja de la formación estelar”.

La conclusión desde esa época fue que esta paradoja se evitaría si las nubes moleculares en la galaxia no estuviesen en colapso gravitacional, y que los movimientos internos que se les observan correspondiesen en realidad a “turbulencia” supersónica. Es decir, a movimientos desordenados y caóticos dentro de las nubes, que de hecho ejercen presión dentro de ellas y evitan su colapso gravitacional, manteniendo a las nubes aproximadamente en equilibrio entre su peso y su presión interna.

Sin embargo, desde hace algunos años, el Grupo de Turbulencia y Formación Estelar (GTFE) del Centro de Radioastronomía y Astrofísica (CRYA) de la UNAM Campus Morelia, se ha dado a la tarea de revisar estas ideas. Las investigaciones al respecto comenzaron en 2006, cuando el grupo, dirigido por el Dr. Enrique Vázquez Semadeni, comenzó a realizar simulaciones por computadora (llamadas “simulaciones numéricas”) de la evolución de las nubes, desde su formación hasta sus etapas de

DIRECTORIO



Universidad Nacional
Autónoma de México

UNAM

RECTOR

DR. JOSÉ NARRO ROBLES

SECRETARIO GENERAL

DR. EDUARDO BÁRZANA GARCÍA

SECRETARIO ADMINISTRATIVO

LIC. ENRIQUE DEL VAL BLANCO

ABOGADO GENERAL

LIC. LUIS RAÚL GONZÁLEZ PÉREZ

COORDINADOR DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

DR. CARLOS ARÁMBURO DE LA HOZ

CAMPUS MORELIA

CONSEJO DE DIRECCIÓN

DR. GERARDO BOCCO VERDINELLI
DR. ALEJANDRO CASAS FERNÁNDEZ
DR. JUAN AMÉRICO GONZÁLEZ ESPARZA
DR. DANIEL JUAN PINEDA
DRA. ESTELA SUSANA LIZANO SOBERÓN

COORDINADOR DE SERVICIOS ADMINISTRATIVOS

ING. JOSÉ LUIS ACEVEDO SALAZAR

JEFE UNIDAD DE VINCULACIÓN

F. M. RUBÉN LARIOS GONZÁLEZ

CONSEJO EDITORIAL

DRA. BERTHA AGUILAR REYES
LIC. GUADALUPE CÁZARES OSEGUERA
DRA. YOLANDA GÓMEZ CASTELLANOS †
M. EN C. ANA CLAUDIA NEPOTE GONZÁLEZ
DR. DANIEL PELLICER COVARRUBIAS
DR. LUIS ALBERTO ZAPATA GONZÁLEZ

CONTENIDOS

MÓNICA GARCÍA IBARRA

DISEÑO Y FORMACIÓN

ROLANDO PRADO ARANGUA

BUM BOLETÍN DE LA UNAM CAMPUS MORELIA ES UNA PUBLICACIÓN EDITADA POR LA UNIDAD DE VINCULACIÓN DEL CAMPUS DIRECCIÓN U.N.A.M. CAMPUS MORELIA: ANTIGUA CARRETERA A PATZCUARO NO. 8701 COL. EX-HACIENDA DE SAN JOSÉ DE LA HUERTA C.P. 58190 MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO

TELÉFONO/FAX UNIDAD DE VINCULACIÓN: (443) 322-38-61

CORREOS ELECTRÓNICOS: vinculation@csam.unam.mx

PÁGINA DE INTERNET:

www.csam.unam.mx/vinculation

formación estelar intensa, para investigar los mecanismos que podían ser responsables de mantener la turbulencia dentro de las nubes, pues en ausencia de algún mecanismo de agitación (o “inyección de energía”, como se le conoce en el campo), la turbulencia decae y termina por disiparse, de manera análoga a cuando, después de agitar nuestra taza de café, retiramos la cuchara, y el café dentro de la taza acaba por quedar en reposo.

El resultado de estos estudios numéricos ha sido, sin embargo, algo inesperado. Los diversos mecanismos que pueden mantener el régimen turbulento dentro de las nubes en general no conducen a que la nube se mantenga en equilibrio. Por el contrario, las nubes, a pesar de de-

sarrollar turbulencia a través de diversos procesos, acaban por colapsarse, y es durante este período de contracción gravitacional que forman estrellas. El efecto principal de la turbulencia en las nubes parece ser, lejos de soportarlas en contra de su propia gravedad, el de producir pequeñas regiones aún más densas que pueden terminar su propio colapso, a escala más pequeña, antes que la nube completa lo haga. Estos pequeños colapsos llevan a la formación de estrellas, algunas de las cuales inyectan suficiente energía a la nube como para destruirla, total o parcialmente, evitando así

que todo el material de la nube llegue a convertirse en estrellas. De esta manera, se evita la paradoja de la formación estelar, pero no porque las nubes estén en equilibrio, sino porque las primeras estrellas que forman son capaces de destruirlas antes de que terminen de convertirse por completo en estrellas.

Recientemente, el estudiante Manuel Zamora Avilés, como parte de su tesis doctoral, ha elaborado un modelo analítico que describe la evolución de una nube molecular desde su formación hasta su destrucción por evaporación causada por las estrellas masivas que produce. Dicho modelo describe muy adecuadamente varias propiedades observadas de las nubes, como la duración de sus diversas etapas evolutivas, desde su formación hasta su destrucción; su ubicación en un diagrama de rapidez de formación estelar contra densidad promedio de la nube; y la distribución de masas de las estrellas que produce. Con esto, el GTFE ha producido el primer modelo analítico evolutivo para

las nubes moleculares y su rapidez de formación estelar. Este modelo evolutivo se contrapone a los modelos existentes hasta ahora, que habían estado basados en la suposición de equilibrio, y que son, por lo tanto, no evolutivos.

Por su parte, las simulaciones numéricas también reproducen propiedades muy interesantes de las nubes moleculares, como lo ha demostrado el GTFE en un par de recientes artículos liderados por el Dr. Javier Ballesteros Paredes, también miembro del grupo. Una particularidad de las nubes, bien reproducida por las simulaciones numéricas, es el hecho de que parecen estar formadas por una compleja red de filamentos, dentro de los cuales

se encuentran las regiones donde actualmente se están formando las estrellas. La figura 1 muestra un ejemplo típico de estos filamentos, la llamada nube infrarroja oscura G11.11-0.12, que tiene una extensión de unos 20 pársecs (pc) (unos 65 años-luz). Esta nube puede ser comparada con un filamento producido por la contracción gravitacional en una nube en una simulación numérica producida por los Dres. Enrique Vázquez Semadeni y Gilberto Gómez del GTFE del CRYA, mostrado en la figura 2. Este filamento se extiende a lo largo de unos 13 pc, como puede observarse en

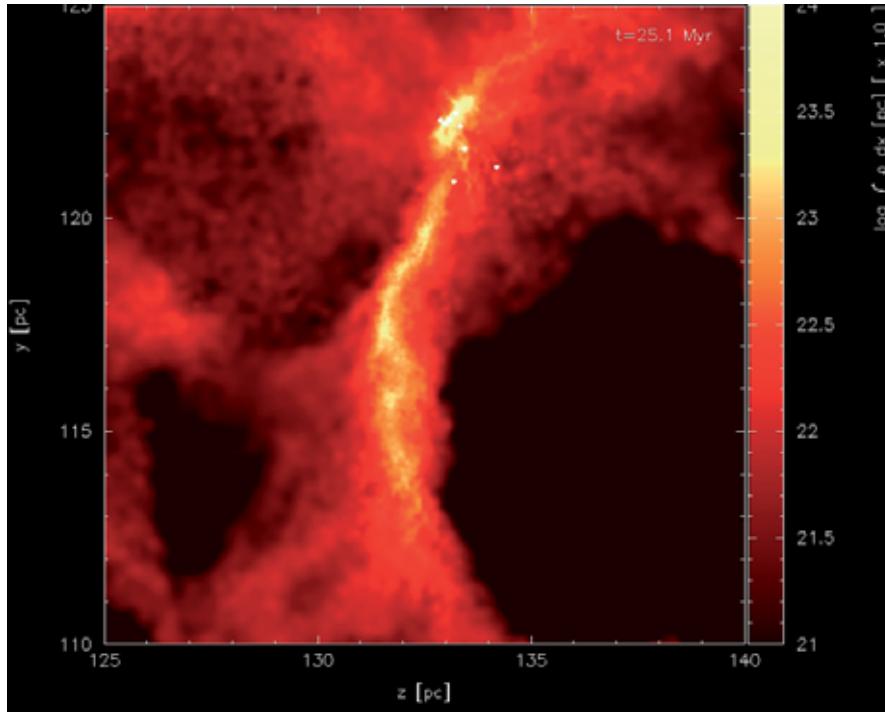


Fig. 2. Imagen de un filamento producido en una simulación de la formación, evolución y colapso de una nube molecular, realizada por el grupo de Turbulencia y Formación Estelar (GTFE) del CRYA UNAM en su “cluster” de cómputo de 176 procesadores. Como en la Fig. 1, cada división en el eje vertical corresponde a una separación de 1 pc. Este filamento se forma espontáneamente en la simulación como consecuencia del colapso gravitacional de la nube. Se puede apreciar en la figura la notable similitud con la nube G11.11-0.12.

la figura. La similitud que existe entre el filamento real y el de la simulación numérica es notable. Ambos son más de 10 veces más largos que anchos, poseen una estructura sinuosa, y contienen numerosos “grumos” a lo largo de su extensión, dentro de los cuales se están formando nuevas estrellas. Un trabajo reciente de los Dres. Luis Zapata y Enrique Vázquez, junto con otros colegas extranjeros, muestra que la similitud abarca también propiedades físicas de la nube, como su densidad típica.

Así pues, el trabajo reciente del GTFE del CRYA-UNAM propone un cambio en el paradigma de la estructura de las nubes en las que se forman las estrellas, reemplazando la vieja hipótesis de equilibrio por un escenario mucho más dinámico, pero que es perfectamente consistente con las observaciones existentes de las nubes. En la actualidad, varios grupos en el mundo realizan nuevas observaciones que intentan confirmar este nuevo paradigma, algunos de ellos directamente en colaboración con el propio GTFE. [\[1\]](#)