

año 3

no. 4 • 2009

Segundo Semestre

Puebla, Pue.

saberes compartidos

Revista de Divulgación Científica, Tecnológica y Humanística

Gigantes invisibles
entre una multitud de enanas brillantes



El Gran Telescopio Canarias
y la participación de México.

Del maravilloso mundo de la literatura
al apasionante mundo de las ciencias

Gigantes invisibles entre una multitud de enanas brillantes

Itziar Aretxaga
David H. Hughes

Introducción

¿Cómo se formaron las galaxias elípticas, las más grandes que conocemos en el zoo galáctico? ¿Cómo llegaron a agruparse en enormes concentraciones de miles de galaxias, a las que conocemos como cúmulos de galaxias? ¿Cuándo nacieron estas superestructuras y cómo se fueron enriqueciendo con nuevos miembros galácticos? Estas son algunas de las preguntas que los astrónomos nos hacemos con el fin de entender la evolución del Universo y nuestro lugar dentro del mismo.

Recientemente un equipo compuesto por investigadores de Japón, Estados Unidos y México, descubrimos una agrupación de galaxias masivas a una distancia de 11.5 mil millones de años luz, en lo que se piensa es una estructura filamentaria coherente que dará lugar a un cúmulo rico de galaxias[1]. La luz que recibimos de esta estructura se emitió cuando el Universo tan sólo tenía el 15% de su edad actual.

Este hallazgo de galaxias gigantes poblando una de las superestructuras del Universo temprano,

arroja nuevos datos sobre la formación de los cúmulos de galaxias y el papel que juegan las galaxias elípticas en la evolución de los mismos.

Hallazgo

El hallazgo se realizó mediante observaciones a 1.1 mm con la cámara AzTEC (Aztronomical Thermal Emission Camera), un instrumento de primera generación destinado para el Gran Telescopio Milimétrico (GTM) de 50 m de diámetro, ubicado en el Volcán Sierra Negra de Puebla. Desde 2007 el GTM se encuentra realizando ajustes de ingeniería, por lo que la cámara se acopló temporalmente al Telescopio Nacional Japonés ASTE (Atacama Submillimeter Telescope Experiment) de 10 m de diámetro, y se encuentra a 4860 m de altitud en Pampa la Bola, Chile. AzTEC estuvo instalado en ASTE entre 2007 y 2008, y en estos momentos se encuentra en los laboratorios de la Universidad de Massachussets, Estados Unidos, con la finalidad de incorporar algunas modificaciones en la óptica de entrada al receptor que permita acoplarlo al GTM el año próximo.



Figura 1: Región central del Cúmulo de Coma, observado en luz óptica (cortesía de O. López-Cruz del INAOE, e Ian K. Shelton de Mount Allison Univ., Canadá). Coma es un cúmulo de galaxias “rico” y “cercano”, localizado a 320 millones de años luz. Contiene más de mil galaxias gigantes en un diámetro de unos 3 millones de años luz. Las más prominentes son las galaxias elípticas, como NGC4874 y NGC4889, las galaxias color naranja al centro y centro derecha de la imagen, que constan de más de un billón de estrellas cada una, y son unas decenas de veces más masivas que la Vía Láctea.

“Las galaxias milimétricas están fuertemente oscurecidas por polvo cósmico, que absorbe muy eficientemente la luz visible y ultravioleta, y la remiten en longitudes de onda mucho más largas.”

Las observaciones de AzTEC muestran una agrupación de 30 galaxias brillantes en ondas milimétricas, con brillos aparentes de entre 8.7 y 2.8 mJy (mili Jansky), distribuidas en un área de 390 minutos de arco cuadrados, lo que corresponde a un poco más de media luna, en la dirección de la constelación de Acuario. Ya se sabía que en esta zona del cielo y a una distancia de 11.5 mil millones de años luz de la Tierra, se encontraban agrupa-

ciones de galaxias Lyman-alpha menos masivas pero brillantes en luz visible. Esta agrupación de galaxias brillantes se llama SSA22. Las galaxias milimétricas, sin embargo, pasaron desapercibidas en los censos realizados en esta zona del cielo en luz visible, ya que estas galaxias están fuertemente oscurecidas por polvo cósmico (conglomerados sólidos de silicatos, carbonatos y otros elementos pesados, que van desde unas pocas moléculas a tamaños menores que el micrómetro), el cual es abundante en las zonas donde se forman nuevas generaciones de estrellas. El polvo cósmico se encuentra mezclado con el gas interestelar, absorbe muy eficientemente la luz visible y ultravioleta proveniente de los astros en naci-

miento, y la reemiten en longitudes de onda mucho más largas. Es por esto que los grandes centros de formación de nuevas estrellas pasan desapercibidos para los observadores que estudian el cielo a través de luz visible.

“El ritmo de producción de nuevas estrellas en las galaxias AzTEC es unas mil veces el de la Vía Láctea.”

Las galaxias gigantes detectadas con AzTEC producen estrellas a un ritmo de más de quinientas masas solares por año (donde una masa solar es aproximadamente 2×10^{30} kg), es decir, unas mil veces la tasa de producción de la Vía Láctea en la actualidad. Aunque este tipo de galaxias en formación se habían detectado hace una década en otras zonas del cielo, por primera vez tenemos evidencia de que se encuentran en una agrupación coherente en el universo temprano

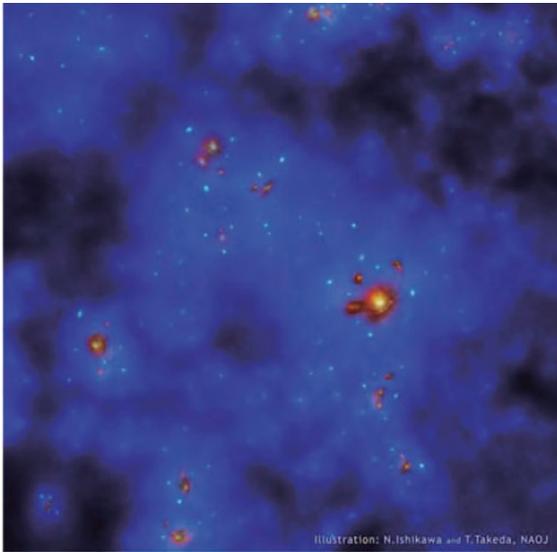


Figura 2: Representación artística del descubrimiento de un conjunto de galaxias masivas hacia el protocúmulo SSA22 realizado con la cámara AzTEC montada en el telescopio japonés ASTE a finales de 2007. En rojo se representan las galaxias masivas AzTEC. Los puntos blanquiazules representan las centenas de galaxias menos masivas que se conocían anteriormente en esta región a través de censos realizados en ondas visibles, las llamadas emisoras de Lyman-alpha.

“Descubrimos recientemente una agrupación de galaxias masivas distantes. Estas galaxias gigantes parecen poblar una de las superestructuras del universo infante.”

Lo que sabemos y lo que nos queda por saber

Con las observaciones de AzTEC hemos empezado a conocer la naturaleza de estas galaxias que están en la misma zona del cielo que las galaxias Lyman-alpha. Sabemos que las separaciones angulares típicas entre galaxias AzTEC y Lyman-alpha son similares a las de las galaxias Lyman-alpha entre sí, y que los colores de las galaxias AzTEC parecen indicar distancias cósmicas comparables a las de las galaxias Lyman-alpha, de manera que la conclusión lógica es que deben ser parte de la misma estructura de cúmulo. Pero todavía no tenemos seguridad absoluta.

Para ello se debe medir con precisión la distancia a estas galaxias. Esto es algo que esperamos sea posible con instrumentos sensibles al espectro milimétrico. El GTM contará con el “Receptor de búsquedas de corrimientos al rojo”. Los astrónomos medimos realmente el desplazamiento que sufren las ondas electromagnéticas hacia el rojo producido por la expansión del Universo (un efecto similar al de un transeúnte que escucha en la carretera la sirena de una ambulancia, y percibe que cuando se acerca la ambulancia el sonido es más agudo que cuando se aleja). Este desplazamiento de la luz a longitudes de onda más largas (si fueran sonido, serían más graves) es el que permite estimar el crecimiento del Universo desde que las ondas electromagnéticas se emitieron hasta que las recibimos, y a través de esta medida derivar la distancia al objeto emisor. El receptor de búsquedas de corrimientos al rojo se concentrará en detectar las líneas de emisión del monóxido de carbono (CO) en astros lejanos, y mediante ellas, calcular la distancia a los mismos. Si las galaxias milimétricas descubiertas con AzTEC en la dirección de Acuario se encuentran realmente a una distancia de 11.5 miles de millones de años luz, con un desplazamiento de la luz de 3.1 veces la longitud de onda con que fue emitida, entonces sin duda alguna forman parte de la estructura SSA22.

“Por primera vez tenemos evidencia de que se encuentran en una agrupación coherente en el universo temprano. Debemos medir con precisión la distancia a estas galaxias con instrumentos tales como los del GTM”.

El receptor de búsquedas de corrimientos al rojo también permitirá medir el perfil de las líneas de emisión del CO y conocer la masa concentrada en las zonas centrales de las galaxias. Por similitud con los brillos encontrados en galaxias milimétricas estudiadas en otros entornos del universo temprano, se tiene la fuerte sospecha de que estos sistemas descubiertos con AzTEC tienen masas estelares del orden de centenas de miles de millones a varios billones de masas solares y, por tanto, podrían corresponderse con las etapas de formación de las galaxias elípticas.

Ahora es necesario saber qué tipo de estructura morfológica tienen las galaxias, si han llegado a la esfericidad característica de las galaxias elípticas, o si por el contrario, son sistemas irregulares y todavía dinámicamente inestables en coalescencia (propiedad de unirse o fundirse). Para responder a estas preguntas se tienen que utilizar instrumentos con mayor poder de resolución que el GTM, como el interferómetro ALMA (Atacama Large Millimeter Telescope), hoy en día en construcción en Los Llanos de Chajnantor del desierto de Atacama.



Figura 3: A la derecha I. Aretxaga junto a la estudiante de doctorado Milagros Zeballos, en la base del telescopio, instalando los ductos que permiten hacer una recarga de 4He presurizado a AzTEC, durante la campaña de observaciones de AzTEC en ASTE, en el 2008.

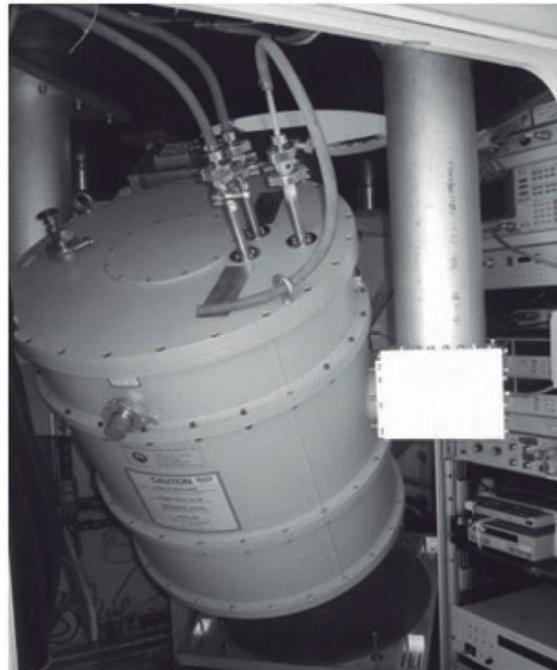


Figura 4: Cámara AzTEC montada en la cabina de receptores del telescopio japonés ASTE. El barril color crema es un criostato de dos tanques que contienen nitrógeno líquido y helio líquido (4He), y un refrigerador interno de tres etapas ($4\text{He}, 3\text{He}, 3\text{He}$), capaz de mantener los detectores de la cámara a 250 mK (-272.9 grados Celsius), temperatura necesaria para que sean sensibles a la radiación de fuentes astronómicas en ondas milimétricas. AzTEC fue diseñado e integrado en los laboratorios de la Universidad de Massachusetts (EEUU) por G.W. Wilson y su equipo.

Cúmulos de galaxias y galaxias elípticas

¿Por qué es tan importante probar que las galaxias AzTEC forman parte de una estructura coherente en el universo temprano? Los cúmulos de galaxias son las estructuras más grandes que conocemos en el Universo local. El cúmulo de Coma, ubicado a 320 millones de años luz de la Tierra, contiene más de mil galaxias, y en conjunto pesa alrededor de mil billones de masas solares.

Las elípticas forman la población dominante de galaxias en los cúmulos ricos, y son los sistemas galácticos más masivos que conocemos en el Universo local: normalmente contienen un billón de masas solares en estrellas. Desde hace décadas se sabe que sus poblaciones estelares son muy viejas, que las galaxias no contienen grandes centros de formación estelar ni abundante gas inter-

estelar, de lo que se infiere que se formaron hace mucho tiempo. La mayoría de las estrellas que se encuentran en las galaxias elípticas tienen fechas de nacimiento que datan de hace más de 11 mil millones de años, lo que quiere decir que debieron formarse en un lapso de 2 mil millones de años (la vida del Universo se estima en 13.7 mil millones de años). Para poder formar un billón de estrellas en un intervalo de 2 mil millones de años, la tasa de formación de estrellas debe ser de al menos unas 500 masas solares por año, si es que se forman a un ritmo constante. Este ritmo que se deriva de la masa y edad de las galaxias elípticas es similar a la tasa de nacimiento de estrellas medido en las galaxias AzTEC encontradas hacia SSA22.

“El cúmulo de Coma, ubicado a 320 millones de años luz de la Tierra, contiene más de mil galaxias”.



Figura 5: Telescopio nacional Japonés ASTE (Atacama Submillimeter Telescope Experiment) de 10 m de diámetro, localizado a 4860 m en Pampa La Bola, desierto de Atacama, Chile, donde se emplazó la cámara AzTEC en los años 2007 y 2008.

Conclusión

El descubrimiento de galaxias muy masivas en la misma localización que las galaxias Lyman-alpha enanas, con masas estelares de menos de mil millones de masas solares, pone en evidencia que la “espina dorsal” de un cúmulo en nacimiento, formada por los sistemas galácticos más masivos, puede estar en funcionamiento en épocas muy tempranas. Esta estructura podría dar lugar a un cúmulo rico de galaxias. SSA22 no es todavía un cúmulo de galaxias, ya que no parece tener una dinámica en equilibrio y su morfología es filamentaria, pero con estas nuevas galaxias gigantes, se cuenta con un elemento adicional para llegar a considerarlo un proto-cúmulo rico: las proto-galaxias elípticas observadas en esta estructura nos hacen llegar a la hipótesis (todavía no probada) que SSA22 podría ser parecido a lo que habría sido Coma hace 11.5 mil millones de años.

“Las observaciones AzTEC ponen en evidencia la “espina dorsal” de un cúmulo de galaxias en nacimiento”.

Glosario:

Cúmulo de galaxias: gran agrupación de galaxias ligadas gravitacionalmente.

Efecto Doppler: cambio de la frecuencia observada de una onda cuando la fuente emisora está en movimiento respecto al observador.

Galaxia: agrupación autogravitante multitudinaria de estrellas, gas interestelar, polvo y, al parecer, materia oscura.

Galaxia milimétrica: galaxia descubierta en ondas milimétricas. Usualmente son galaxias muy lejanas con grandes tasas de formación estelar oscurecida por la presencia de polvo en sus medios interestelares.

Galaxia emisora Lyman-alpha: galaxia lejana descubierta en ondas visibles que presenta líneas de emisión intensas de hidrógeno atómico (Lyman-alpha, la más intensa, se emite en el ultravioleta). En el contexto de este artículo se refiere a galaxias lejanas que forman estrellas y cuyos entornos no están fuertemente oscurecidos por polvo.

Jansky (Jy): unidad de densidad de flujo (energía por unidad de área, por unidad de tiempo, por unidad de frecuencia) utilizada frecuentemente en astronomía. En el sistema internacional $1 \text{ Jy} = 10^{-26} \text{ W m}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$.

Lyman-alpha: transición del hidrógeno atómico donde el electrón pasa del nivel orbital $n=2$ al $n=1$, y n es el número cuántico principal.

Masa solar: masa del Sol, equivalente a 1.98892×10^{30} kilogramo.

Polvo cósmico: agregados sólidos de moléculas y metales que llegan hasta tamaños por debajo del micrómetro.

Referencias:

[1] Carrasco E., Aretxaga I. e Irvine W.M. Eds. (2006) "El Gran Telescopio Milimétrico: dos países vecinos exploran juntos el cosmos", Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, México (<http://www.lmtgtm.org/gtm/book/lmtbook.html>).

[2] Castro Tirado A.J. (1989) "Macroestructuras del Universo: cúmulos y supercúmulos de galaxias", Equipo Sirius S.A., España.

[3] Hughes D.H. y Aretxaga I. (2009) "El Gran Telescopio Milimétrico", Ciencia, Academia Mexicana de Ciencias, 60 (1), 67.

[4] Matos T. (2004) "¿De qué está hecho el Universo? Materia oscura y energía oscura", Fondo de Cultura Económica, México.

[5] Rodríguez L.F. (2005) "Un Universo en expansión", Fondo de Cultura Económica, México.

[6] Tamura Y. et al. (2009) "Spatial correlation between submillimetre and Lyman- α galaxies in the SSA22 protocluster", Nature, 489, 61.

[7] Tenorio Tagle G. y Muñoz Tuñón C. (2004) "La luz con el tiempo dentro", Fondo de Cultura Económica, México.

Itziar Aretxaga, investigadora titular del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), y miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) y de la Academia Mexicana de Ciencias (AMC). Desde 2006 coordina la Sección de Astronomía de la AMC. Obtuvo su doctorado en Física por la Univ. Autónoma de Madrid (España). Su campo de investigación es la formación y evolución de galaxias y la simbiosis entre la formación estelar y la actividad nuclear de galaxias.

itziar@inaoep.mx

David H. Hughes, investigador titular del INAOE, miembro del SNI y de la AMC. Desde 2005 ejerce como director científico del GTM. Obtuvo su doctorado en Astrofísica por la Univ. Central de Lancashire (Gran Bretaña). Su campo de investigación es la astronomía e instrumentación milimétrica, con un fuerte interés por la formación y evolución de las grandes estructuras del Universo: cúmulos de galaxias y galaxias en formación.

