

Las primeras moléculas en el Universo: Una historia del ion molecular de

Dr. Remigio Cabrera-Trujillo
Instituto de Ciencias Físicas-UNAM
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos

Esta publicación fue revisada por el comité editorial de la Academia de Ciencias de Morelos.

Algunos de nosotros habremos oído hablar del Big Bang o la "gran explosión" que dio lugar al origen del Universo. Eso ocurrió hace aproximadamente unos 13,700 millones de años (Figura 1). Durante los primeros instantes del Universo, éste estuvo principalmente lleno de luz, es decir, fotones. No había

de energía que un electrón del átomo debe absorber para liberarse, usualmente absorbiendo un fotón. De hecho, inicialmente eran más abundante los iones de He^{2+} y He^+ y luego siguió la formación de hidrógeno mediante procesos de recombinación (colisión). La temperatura era aún tan alta que las moléculas no se habían formado. Como en ese tiempo no había estrellas (estas surgieron más tarde al agruparse estos átomos) el gas que llenaba el Universo solo podía interactuar mediante procesos de mezclado o recombinación. Por ejemplo, un proton más un electrón se recombinan para formar un átomo de hidrógeno.

de su existencia, pues al ser el helio un átomo noble, éste no se liga, tiene su capa cerrada y no acepta más electrones. Por lo tanto, la existencia del hidruro de helio no parecía factible. Aquí en la Tierra la primera evidencia de su existencia se dio en el año de 1925, gracias a algunas observaciones en los procesos de colisión de iones de hidrógeno con helio en los primeros aceleradores de investigación. Tomado en cuanto las condiciones iniciales del Universo, se cree que la existencia del hidruro de helio era posible, pero ¿por qué no lo observamos hoy en día? Conforme la recombinación de los iones de hidrógeno y helio se

para calentar comida. Además la atmósfera de la Tierra bloquea esta longitud de onda y no se puede detectar en espectrógrafos, aparatos que miden dichos espectros. Por lo tanto, detectar o rastrear la existencia del hidruro de helio no es trivial.

Un observatorio astronómico volador

Para la particular y difícil tarea de buscar al hidruro de helio, se tuvo que recurrir al Observatorio Estratosférico para Astronomía Infrarroja (SOFIA por sus siglas en Inglés) y así poder confirmar la existencia de esta molécula. SOFIA es un proyecto conjunto de ciencia espacial entre Alemania y Estados Unidos. El observatorio aerotransportado (Figura 2) realiza observaciones astronómicas en las longitudes de onda infrarrojas y submilimétricas, muy por encima de la perturbación de la atmósfera de la Tierra. El objetivo científico es comprender el desarrollo de las galaxias y la formación y evolución de las estrellas y los sistemas planetarios a partir del estudio de las nubes interestelares de gas y polvo.

todos los propósitos prácticos, inaccesible para los observatorios terrestres. Un resultado notable de las mediciones de KAO fue el descubrimiento de los anillos alrededor de Urano. A fines de 1996, la NASA y la agencia espacial alemana acordaron desarrollar y operar este nuevo observatorio. Tras la integración del telescopio y la finalización de las modificaciones estructurales de la aeronave, las pruebas de vuelo comenzaron en abril de 2007. Desde principios de 2008, SOFIA se aloja como su base de operaciones, en el hangar 703 del Centro de Investigación de Vuelo Armstrong de la NASA (Palmdale, California). A fines de mayo de 2010, SOFIA despegó para realizar sus primeras mediciones de pruebas astronómicas y completó el vuelo de la "primera luz". A partir del otoño de 2010, el observatorio ha estado disponible para uso científico. SOFIA cuenta con el espectrómetro heterodino de alta resolución upGREAT (receptor alemán en las frecuencias de Terahertz) construido bajo los auspicios del Instituto Max Planck de Radioastronomía en Bonn, y FIFI-LS (Espectro

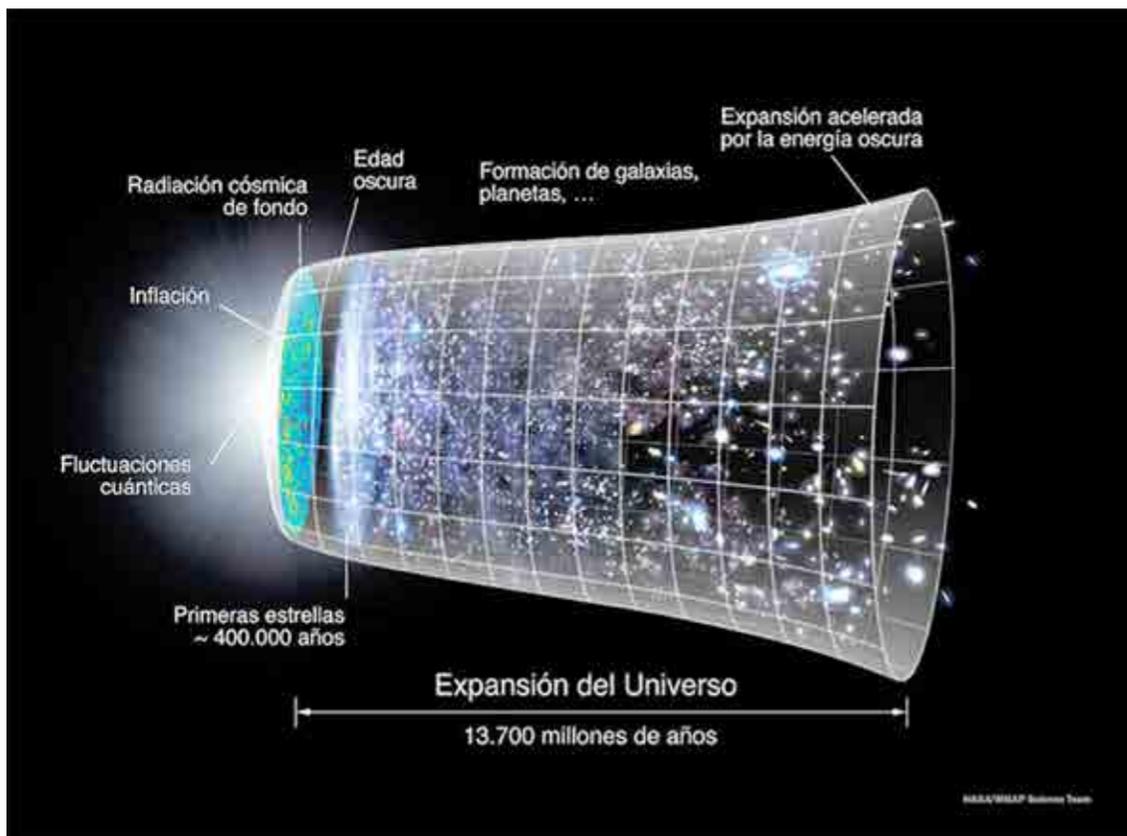


Figura 1. El universo ilustrado en tres dimensiones espaciales y una dimensión temporal. NASA, Ryan Kaldari, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=43171784>

átomos ni moléculas. Hubo que esperar a que el Universo se expandiera un poco y bajara su temperatura. Cuando la temperatura del Universo llegó a cerca de 4,000 grados Kelvin, los primeros hadrones (partículas pesadas) se crearon. Es decir, los electrones, protones y neutrones que forman los átomos hicieron acto de presencia en el Universo. Eso ocurrió aproximadamente unos 100,000 años después del Big Bang. El primer átomo que se formó fue el hidrógeno, un protón y un electrón. Con menos abundancia se formó el He^+ , es decir, dos protones con dos neutrones en el núcleo y un electrón orbitando. Así, en el inicio del Universo se formaron los primeros iones o átomos con energía de ionización muy grande. La energía de ionización es la cantidad

Antes de que existiera la Química

Al seguir expandiéndose el Universo, se enfrió más y se logró que los iones con alta energía de ionización se pudieran unir, esto dio origen a los primeros elementos de la tabla periódica o elementos químicos primordiales. Siendo el hidrógeno y el helio los primeros átomos y los más abundantes del Universo, se cree que una de las primeras moléculas que se pudo haber formado fue el ion HeH^+ o mejor conocida como *hidruro de helio* o catión hidroheli y es un catión formado por la reacción de un protón con un átomo de helio en fase gaseosa. El catión de hidruro de helio reacciona con la mayoría de sustancias y es el ácido más fuerte conocido. Hasta hace poco no había evidencia

de la abundancia del primero aumentó y el hidruro de helio desapareció. Solo hasta hace poco se propuso que podría existir en el medio interestelar que rodea a estrellas, es decir, en nebulosas planetarias. Sin embargo, su detección no había sido posible ya que tiene un espectro de vibración y rotación muy parecido al de la molécula de CO (monóxido de carbono) y CH_4 (metano), moléculas que son abundantes en nuestra atmósfera. Las frecuencias en que se observan los espectros vibracionales y rotacionales de la mayoría de las moléculas se encuentran en el infrarrojo e infrarrojo lejano, es decir, en longitudes de onda de unos cuantos micrómetros (microondas). Esta es la misma longitud de onda que utiliza un horno de microondas casero



Figura 2. SOFIA, el observatorio estratosférico para astronomía infra-roja. Mas información: <https://es.wikipedia.org/wiki/SOFIA>

Hasta mediados de la década de los noventa, los astrónomos habían utilizando el Observatorio Aéreo Kuiper (KAO por sus siglas en Inglés) de 91 centímetros de la NASA para obtener datos astronómicos en longitudes de onda infrarrojas observando a gran altura en la atmósfera. Esta área del espectro electromagnético es, para

trómetro de línea de imagen de campo de infrarrojo lejano) bajo los auspicios del Instituto Max-Planck de Física Extraterrestre en Garching. La plataforma para el telescopio infrarrojo de 2.7 metros de SOFIA es un Boeing 747SP de segunda mano que opera a altitudes de más de 12 kilómetros. Por debajo de esta altitud, el vapor

ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS, A.C.

¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos? CONTÁCTANOS: editorial @acmor.org.mx



e hidruro de helio

de agua en la tropósfera dificulta las observaciones en el infrarrojo. Esta es la razón por la que los telescopios terrestres pueden recibir radiación infrarroja de cuerpos celestes solo a través de "ventanas" de longitud de onda estrecha. SOFIA tiene diez veces la sensibilidad que el KAO y triplica su resolución angular. Está programado que SOFIA permanezca en servicio por 20 años, y lleva a cabo unos 160 vuelos astronómicos anualmente. Cada vuelo dura entre seis y ocho horas. SOFIA es utilizado por aproximadamente 50 grupos de científicos seleccionados en una reunión anual de revisión de pares científicos. Una actualización reciente a upGREAT agregó el canal específico para el hidruro de helio que los telescopios anteriores no tenían. El instrumento funciona como un receptor de radio. Los científicos sintonizan con la frecuencia de la molécula que están buscando, similar a sintonizar un radio FM a la estación correcta. En la misión de observación de SOFIA del 2016, científicos a bordo leyeron los datos del instrumento en tiempo real y obtuvieron la señal de hidru-

ro de helio de manera fuerte y clara. La confirmación de la existencia de la molécula primordial HeH⁺ se dio en la nebulosa planetaria NGC 7027. Esta nebulosa planetaria se encuentra bicada a unos 3,000 años luz (920 parsecs) de la Tierra en la constelación Cygnus (el cisne). Esta fue descubierta en 1878 por Édouard Stephan utilizando el reflector de 800 mm, en

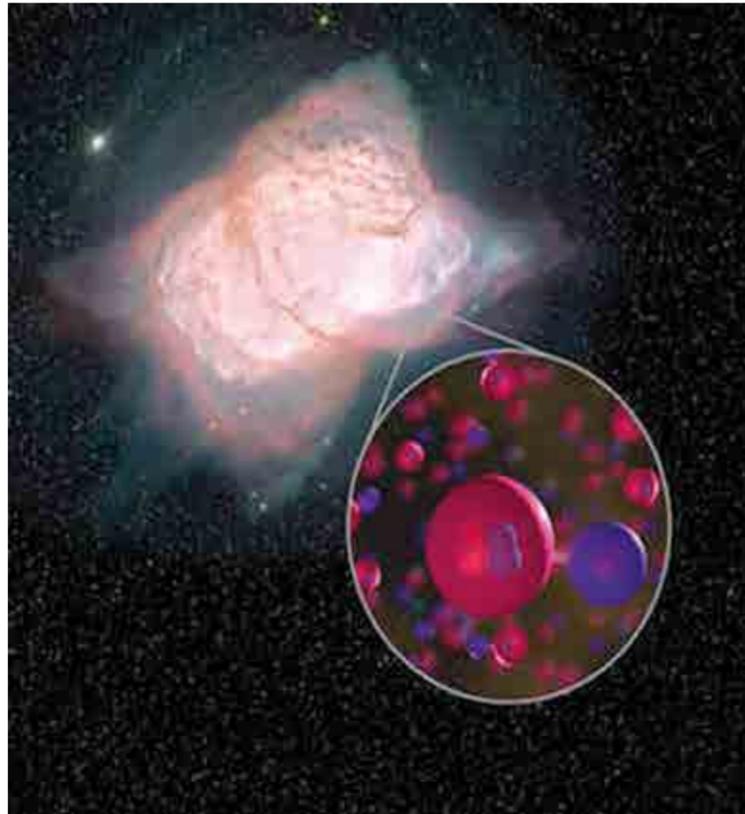


Figura 3. Imagen de la nebulosa planetaria NGC 7027 con ilustración de moléculas de hidruro de helio. En esta nebulosa planetaria, SOFIA detectó hidruro de helio, una combinación de helio (rojo) e hidrógeno (azul), que fue el primer tipo de molécula que se formó en el universo temprano. Esta es la primera vez que se encuentra hidruro de helio en el universo moderno. Créditos: NASA / ESA / Procesamiento de una imagen del telescopio Hubble: Judy Schmidt
<https://www.nasa.gov/feature/the-universe-s-first-type-of-molecule-found-at-last>

el Observatorio de Marsella. Es una de las nebulosas planetarias más pequeñas y por mucho, la más estudiada. La nebulosa es muy joven (con una edad de sólo 600 años), y su capa de material estelar liberado es todavía bastante compacto y denso. La estrella central es una de las más co-

nocidas (con una temperatura efectiva, de unos 190 000 K) y es muy luminosa (con una luminosidad de 10,000 la luminosidad del Sol). Una foto de la nebulosa se muestra en la Figura 3.

Los autores del trabajo que se publicó en la revista Nature, concluyen que "aunque HeH⁺ tiene una importancia limitada en la Tierra hoy en día, la química del universo comenzó con este ion. La falta de evidencia definitiva de su propia existencia en el espacio interestelar ha sido un dilema para la astronomía. La detección inequívoca reportada aquí tomó décadas. Una larga búsqueda hacia un final feliz por fin, un éxito que ha sido posible gracias a la maduración de las tecnologías terahertz (incorporadas en el instrumento upGREAT) y la disponibilidad oportuna y única de SOFIA."

Finalmente, se pudo comprobar la existencia de este ion que resuelve una parte mas del misterio entorno al origen y creación del Universo. Por lo tanto, este descubrimiento contribuye de manera importante a diferentes áreas de la ciencia como la Física, la Química y la Astronomía.

Esta columna se prepara y edita semana con semana, en conjunto con investigadores more-

lenses convencidos del valor del conocimiento científico para el desarrollo social y económico de Morelos. Desde la Academia de Ciencias de Morelos externamos nuestra preocupación por el vacío que genera la extinción de la Secretaría de Innovación, Ciencia y Tecnología dentro del ecosistema de innovación estatal que se debilita sin la participación del Gobierno del Estado.

Referencias

<https://www.nature.com/articles/s41586-019-1090-x>

Ligas de interés

Información sobre el Big Bang
https://es.wikipedia.org/wiki/Big_Bang

Página web de SOFIA/NASA
https://www.nasa.gov/mision_pages/SOFIA/index.html

Página de SOFIA de la Agencia Espacial Alemana (DLR)

https://www.dlr.de/dlr/en/desktopdefault.aspx/tabid-10465/706_read-264/#/gallery/284

Animación de la nebulosa NGC 7027 y la molécula de hidruro de helio: <https://youtu.be/rR-VpyiXvV9g>

Para actividades recientes de la Academia y artículos anteriores puede consultar:
www.acmor.org.mx



ro de helio de manera fuerte y clara. La confirmación de la existencia de la molécula primordial HeH⁺ se dio en la nebulosa planetaria NGC 7027. Esta nebulosa planetaria se encuentra bicada a unos 3,000 años luz (920 parsecs) de la Tierra en la constelación Cygnus (el cisne). Esta fue descubierta en 1878 por Édouard Stephan utilizando el reflector de 800 mm, en

La BIOTECNOLOGÍA
 te beneficia

Al dotarnos de herramientas imprescindibles para el desarrollo sostenible. Solamente mediante el uso intensivo de procesos biotecnológicos se logrará satisfacer las demandas de la sociedad con menor impacto al medio ambiente.

#LaBiotecnologíaTeBeneficia

Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería | Instituto de Biotecnología | ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS, A.C.