

Galaxias, la red cósmica y generaciones estelares

CHO-006 · Cosmic History and Its Observers

Una historia científica cronológica desde el universo temprano hasta el presente

Identificador: CHO-006 · Versión: v1.0 · Autor: Juan Seguro

Idioma: Español

Función del artículo: Columna cronológica

Ventana del artículo: [1.2 Gyr tBB, S07]

Corte de eventos: 11 septiembre 2026 · Corte de búsqueda bibliográfica: 12 septiembre 2026

Tipo de documento: Síntesis académica; no es investigación primaria y no ha sido revisado por pares

Resumen estructurado

Contexto. Tras la reionización, las galaxias y el gas intergaláctico evolucionaron dentro de una distribución de materia ya organizada en nodos sobredensos, filamentos, láminas y vacíos. El intervalo desde 1.2 mil millones de años después de la frontera formal del Big Bang caliente hasta los sólidos más antiguos datados del Sistema Solar contiene la mayor parte de la historia pre-solar de la estructura cósmica madura.

Pregunta. ¿Cómo adquirieron, transformaron y perdieron gas las galaxias; cómo ciclaron las poblaciones estelares a través del nacimiento y la muerte; y cómo modeló el entorno a gran escala las condiciones que acabaría heredando el Sistema Solar?

Evidencia y método. La síntesis combina sondeos de corrimiento al rojo de galaxias, imagen y espectroscopia profunda, reconstrucción de poblaciones estelares, lente gravitatoria, observaciones de gas, simulaciones numéricas y registros estelares locales. Las observaciones muestrean luz y trazadores, mientras que las simulaciones los conectan mediante gravedad, hidrodinámica, enfriamiento, formación estelar y prescripciones de realimentación.

Resultado. El crecimiento gravitatorio profundizó la red cósmica. Las galaxias se desarrollaron mediante una mezcla de acreción de gas, formación estelar *in situ*, fusiones, despojo, migración y realimentación. La densidad cósmica de tasa de formación estelar ascendió hasta un máximo amplio cerca de corrimiento al rojo dos y disminuyó después, con incertidumbres sistemáticas. Los ciclos vitales estelares devolvieron energía y materia al gas circundante, pero CHO-007 es responsable por separado del origen nucleosintético de los elementos individuales. Las etiquetas históricas de poblaciones estelares describen distribuciones solapadas y no generaciones globalmente sincronas.

Conclusión. CHO-006 termina antes del acontecimiento de formación del Sistema Solar. Transmite a CHO-008 un entorno galáctico estructurado y materia interestelar químicamente procesada sin fijar de forma independiente la edad de los sólidos más antiguos del Sistema Solar. El estado del observador permanece en N0.

Palabras clave: evolución galáctica; red cósmica; historia de formación estelar; poblaciones estelares; realimentación; acreción de gas; estructura a gran escala

1. Orientación cronológica

CHO-006 comienza en la frontera BOOK de 1.2 Gyr, después del intervalo de reionización contenido por CHO-005. Termina en S07, una frontera EVENT definida por la distribución de formación de los sólidos más antiguos datados del Sistema Solar. La orientación 4.56730 ± 0.00016 Ga atrás permanece provisional aquí; CHO-008 es responsable de su verificación a nivel de fuente y del acontecimiento de formación del Sistema Solar. CHO-006 no debe convertir esa edad de mirada retrospectiva en un tiempo cósmico con mayor precisión de la que permite el modelo cosmológico.

Este largo intervalo no puede narrarse como una única era uniforme. Un orden útil sigue procesos que interactúan en lugar de edades con nombre:

Proceso	Comportamiento temporal	Evidencia principal
Crecimiento de la red	Continuo, dependiente de escala	Agrupamiento de galaxias, lente, velocidades peculiares, simulaciones
Ensamblaje de galaxias	Vías diversas según masa y entorno	Imágenes, espectros, mapas de gas, firmas de fusiones
Formación estelar cósmica	Ascenso amplio, máximo cerca de $z \sim 2$, descenso posterior	Funciones de luminosidad multibanda y modelos de población
Ciclos estelares	Tiempos de vida solapados desde Myr hasta más que la edad actual	Modelos estelares, cúmulos, binarias, remanentes
Procesamiento ambiental	Depende de la historia de halo, grupo, cúmulo y filamento	Agotamiento de gas, morfología, cinemática, estadísticas poblacionales

2. Estado inicial heredado de CHO-005

CHO-005 transmite un medio intergaláctico sustancialmente ionizado, galaxias tempranas, formación estelar activa, halos de materia oscura y una red cósmica en expansión. También transmite variación espacial: algunos entornos ya están muy procesados mientras otros permanecen difusos o químicamente primitivos. La reionización afecta a las temperaturas posteriores del gas y a la capacidad de pozos de potencial poco profundos para acrecer materia, pero su cronología no vuelve a ser responsabilidad de este artículo.

El enriquecimiento químico también se hereda como hecho. CHO-006 puede afirmar que la composición influye en el enfriamiento, la opacidad, la estructura estelar y el potencial de formación planetaria. No puede explicar qué canal estelar o explosivo produjo carbono, oxígeno, hierro o cualquier otro elemento. Esa responsabilidad causal pertenece exclusivamente a la superposición CHO-007.

3. Crecimiento de la red cósmica

La inestabilidad gravitatoria amplifica las perturbaciones iniciales de densidad. La materia fluye desde las regiones subdensas y preferentemente hacia láminas, filamentos y nodos. Los halos se forman y fusionan en los nodos y a lo largo de los filamentos; las galaxias trazan esta estructura con sesgos que dependen de masa, formación estelar, selección y época. La «red cósmica» es, por tanto, una descripción estadística de la organización de la materia, no un armazón rígido con límites de filamentos universalmente acordados.

Los sondeos de corrimiento al rojo cartografían posiciones tridimensionales de galaxias de forma imperfecta porque las velocidades peculiares distorsionan las distancias en la línea de visión. La lente gravitatoria débil traza masa proyectada, pero requiere calibración de formas y distribuciones de corrimiento al rojo. La absorción de gas sondea líneas de visión seleccionadas. Los algoritmos identifican filamentos mediante crestas de densidad, tensores de marea, cizalla de velocidad, topología o construcciones de grafos, por lo que los catálogos no tienen por qué asignar cada galaxia al mismo entorno.

La característica acústica bariónica detectada en grandes muestras de galaxias proporciona una correlación a gran escala superviviente de la física del plasma de CHO-004 [1]. No es una cáscara material preservada. Su escala medida funciona como regla estadística estándar dentro de un modelo de expansión, conectando la física acústica del Universo temprano con las distribuciones galácticas posteriores.

4. Las galaxias son historias, no tipos fijos

Una galaxia cambia por procesos internos y externos. El gas puede llegar mediante corrientes relativamente frías, atmósferas calentadas por choque, flujos reciclados y fusiones. Las estrellas se forman en estructuras moleculares densas con eficiencias reguladas a distintas escalas. La realimentación estelar o de agujeros negros en acreción puede calentar, acelerar, redistribuir o expulsar gas. Las fuerzas de marea y la presión de arrastre pueden despojar materia. Barras, patrones espirales, grumos y fusiones redistribuyen el momento angular.

Las conocidas categorías elíptica, espiral e irregular describen apariencia, no una secuencia evolutiva universal. Una espiral no tiene por qué convertirse en elíptica simplemente al envejecer, y una galaxia grumosa de alto corrimiento al rojo no es una copia inacabada de un tipo actual. La morfología depende de longitud de onda, resolución, ángulo de visión, contenido de gas, dinámica, polvo y entorno.

Simulaciones como el cálculo Millennium mostraron cómo podía conectarse un gran volumen de materia oscura con poblaciones de galaxias mediante prescripciones semianalíticas [2]. Programas hidrodinámicos como Illustris-TNG siguieron posteriormente el gas y la realimentación de forma más directa [7]. Son experimentos numéricos condicionados por resolución, modelos sub-grid, parámetros cosmológicos y calibración. La concordancia con estadísticas seleccionadas es evidencia de adecuación para esas pruebas, no una repetición literal de cada galaxia.

5. Cómo adquieren gas las galaxias

El suministro de gas es central porque las estrellas no pueden seguir formándose sin material frío y denso. Las simulaciones distinguieron gas calentado cerca de la temperatura virial de un halo de gas capaz de fluir hacia dentro sin un choque tan fuerte [5]. La importancia relativa varía con masa del halo, corrimiento al rojo, entorno y modelización. El lenguaje de «modo frío» y «modo caliente» es, por tanto, una clasificación de historias térmicas, no dos tuberías con fronteras inmutables.

Las observaciones infieren gas mediante trazadores atómicos, moleculares, ionizados, de polvo y de absorción, cada uno de los cuales requiere conversiones y muestrea fases diferentes. Una galaxia puede poseer una gran reserva de gas y, sin embargo, formar estrellas con poca eficiencia, o mostrar poco gas frío después del despojo ambiental. Los flujos entrantes son especialmente difíciles de observar directamente; gradientes de metalicidad, cinemática, absorción y simulaciones proporcionan restricciones indirectas.

El ciclo del gas también cruza la frontera nominal de la galaxia. Los flujos salientes pueden escapar, detenerse en el medio circumgaláctico, mezclarse, enfriarse y regresar. Los satélites intercambian materia con halos mayores. En consecuencia, la evolución galáctica es inseparable de los medios circumgaláctico e intergaláctico, aunque los catálogos observacionales dibujen con frecuencia una apertura conveniente.

6. Historia general de la formación estelar cósmica

Sondeos a distintas longitudes de onda reconstruyen la tasa comóvil a la que el gas se convierte en estrellas. La luz ultravioleta traza estrellas jóvenes relativamente no oscurecidas; la emisión infrarroja estima la energía absorbida y reemitida por polvo; las líneas de recombinación y los indicadores de radio proporcionan otras vías. Cada una requiere supuestos sobre poblaciones estelares, polvo, núcleos activos, función inicial de masas y conversión luminosidad-tasa.

Las compilaciones muestran un amplio ascenso desde épocas tempranas hasta un máximo alrededor de corrimiento al rojo dos, seguido de una disminución hacia el presente [3]. Los sondeos JWST revisan al alza el extremo de alto corrimiento al rojo respecto a muchas extrapolaciones anteriores a JWST: un censo multizona de 2025 de 3 751 galaxias encuentra que la densidad reconstruida de tasa de formación estelar aumenta aproximadamente un dex entre $z = 13.5$ y $z = 5.5$ [6]. Esto no borra el máximo amplio cerca de corrimiento al rojo dos, pero hace menos asentadas la pendiente y normalización más tempranas. «Mediodía cósmico» no es una fecha exacta ni un máximo simultáneo en todos los entornos. Distintas masas y poblaciones galácticas alcanzan actividad característica en tiempos diferentes.

La historia integrada de formación estelar debe ser coherente con la densidad observada de masa estelar después de tener en cuenta la masa devuelta al gas. Esas comprobaciones cruzadas restringen las calibraciones, pero siguen dependiendo del modelo. CHO utiliza la forma general como síntesis robusta y reserva las parametrizaciones exactas para informes específicos de cada fuente allí donde la evidencia respalda esa precisión.

7. Ciclos de vida estelar como relojes solapados

La trayectoria principal de una estrella depende fuertemente de su masa inicial, mientras que rotación, multiplicidad, pérdida de masa, campos magnéticos y composición modifican su evolución [4]. Las estrellas masivas consumen rápidamente el combustible central y pueden terminar en millones de años. Las estrellas de baja masa evolucionan mucho más lentamente; algunas nacidas en la parte temprana de este intervalo continúan hoy en la secuencia principal. La interacción binaria puede transferir masa, fusionar estrellas, despojar envolturas o producir resultados no predichos por trayectorias de estrellas aisladas.

La formación estelar crea, por tanto, poblaciones solapadas, no una cola de generaciones sustituidas globalmente. Población III, II e I son categorías históricas vinculadas en términos generales a composición y cinemática. No son etapas ordinales universales que ocurran en todas partes a la vez. Pueden coexistir estrellas pobres y ricas en meta-

les; una estrella más joven en un sistema poco enriquecido puede contener menos material pesado que una estrella más antigua formada en un entorno enriquecido rápidamente.

Las muertes estelares devuelven masa, energía, momento y radiación al gas. Esas salidas influyen en el enfriamiento y la formación estelar posteriores. CHO-006 es responsable de su papel dinámico en la evolución galáctica. CHO-007 es responsable de las rutas de producción nuclear y de los orígenes de abundancias, evitando que la misma historia de elementos se duplique en dos artículos.

8. Realimentación, regulación y apagado

Sin realimentación de energía y momento, muchos modelos convierten gas en estrellas demasiado rápidamente y producen poblaciones galácticas distintas de las observadas. Las estrellas jóvenes ionizan y calientan gas; vientos y supernovas impulsan turbulencia y flujos salientes; los agujeros negros en acreción irradian y lanzan vientos o chorros. Estos procesos actúan desde escalas de nubes de formación estelar hasta escalas de halo, y su implementación no resuelta es un elemento condicional central de las simulaciones hidrodinámicas actuales [7].

«La realimentación suprime la formación estelar» es incompleto. La compresión puede desencadenar colapso local; el material expulsado puede reciclarse después; el gas con metales puede enfriarse eficazmente en algunas condiciones; el calentamiento puede impedir una conversión descontrolada en otras. Los efectos netos dependen de cronología, geometría, densidad y potencial del halo.

El apagado significa una disminución sustancial respecto a una comparación explícita de formación estelar. No identifica la causa. El agotamiento de gas, el cese de la acreción, el calentamiento virial, la realimentación de núcleos activos, la dinámica morfológica y el despojo ambiental pueden contribuir [7,8]. Una galaxia clasificada como pasiva puede conservar gas o reanudar actividad. La metáfora de muerte galáctica no debe sustituir un criterio medido de formación estelar.

9. Fusiones, migración y entorno

Las fusiones pueden añadir estrellas y gas, perturbar la morfología, desencadenar o suprimir formación estelar, alimentar agujeros negros centrales y construir halos estelares difusos. Sin embargo, gran parte de la masa estelar se forma *in situ*, y el suministro suave de gas puede ser más importante que las grandes fusiones visibles. El equilibrio varía entre poblaciones.

Dentro de grupos y cúmulos, las galaxias satélite encuentran fuerzas de marea, interacciones a alta velocidad y gas ambiente caliente. La presión de arrastre puede eliminar gas interestelar; la inanición puede reducir el suministro futuro; la fricción dinámica puede llevar satélites masivos hacia el interior. Los análisis COSMOS-Web amplían las mediciones de entorno a alto corrimiento al rojo y comunican correlaciones dependientes de masa y época en lugar de una única regla ambiental [8]. Las correlaciones ambientales no revelan por sí solas causalidad porque masa galáctica e historia de ensamblaje covarian con el entorno.

El propio ensamblaje pre-solar de la Vía Láctea es una rama dentro de esta historia más amplia. Los movimientos y composiciones estelares conservan evidencia de formación *in situ*, acreción, migración y fusiones. CHO-006 puede establecer ese contexto galáctico, pero termina antes de los procesos locales de nube molecular y disco protoplanetario de los que es responsable CHO-008.

10. Evidencia, datación y dependencia de modelo

La luz galáctica se observa a un corrimiento al rojo y después se interpreta mediante una cosmología y un modelo de población estelar. La luz puede estar dominada por estrellas luminosas de vida corta incluso cuando la mayor parte de la masa es más antigua. El polvo la oscurece y reemite. El oscurecimiento de brillo superficial oculta componentes extendidos. Las características espectrales restringen edad y composición, pero sufren con frecuencia degeneraciones entre edad, polvo, patrones de abundancia e historia de formación estelar.

Las edades estelares de galaxias cercanas proporcionan una vía arqueológica complementaria. Diagramas color-magnitud, astrosismología, nucleocosmocronología y patrones de abundancia presentan incertidumbres distintas. Las simulaciones conectan instantáneas a través del tiempo, pero dependen de física no resuelta. La reconstrucción más sólida utiliza estas rutas conjuntamente conservando sus modos de fallo diferenciados.

S07 requiere especial disciplina. Los sólidos más antiguos datados del Sistema Solar son objetos de laboratorio cuyas edades isotópicas definen una distribución de acontecimientos. Esa evidencia pertenece a CHO-008. CHO-006 utiliza S07 únicamente como frontera superior y no afirma que la evolución galáctica se detuviera allí.

11. Capacidades del observador presentes

CHO-006 permanece en N0. Las galaxias almacenan registros físicos en movimientos estelares, abundancias, distribuciones de gas y luz. Las estrellas responden a sus entornos, pero la respuesta por sí sola no es evidencia de detección o uso de información por agentes vivos. Complejidad, autogravitación y realimentación no establecen consciencia.

Los observadores científicos aparecen mucho después y reconstruyen este intervalo a partir de fotones, meteoritos, fósiles estelares y simulaciones. Sus instrumentos definen funciones de selección y resoluciones. La población galáctica observada es, por tanto, una muestra filtrada de la población histórica, mientras que la propia historia no requería esos observadores.

12. Contingencia, alternativas y clases de afirmaciones

Ninguna galaxia estaba destinada a albergar el Sistema Solar. Las historias galácticas dependen de entorno inicial, acreción, fusiones, realimentación y formación estelar estocástica. Muchas estrellas se formaron y murieron sin planetas; muchas galaxias siguieron trayectorias distintas de la Vía Láctea. Seguir el linaje hacia la Tierra es una selección para reconstrucción narrativa, no una afirmación de privilegio cósmico.

Entre las cuestiones abiertas están la microfísica y el alcance neto de la realimentación, el acoplamiento entre agujeros negros y galaxias anfitrionas, el balance exacto de acreción de gas, las causas y reversibilidad del apagado, efectos de materia oscura a pequeña escala y tensiones entre masas estelares y tasas de formación estelar inferidas.

Clase	Uso en CHO-006
E1 medido	Corrimientos al rojo, espectros, imágenes, cizalla de lente, trazadores de gas y estrellas
E2 reconstruido	Masas estelares, tasas, historias, entornos, edades
E3 dependiente de modelo	Ensamblaje simulado, efectos de realimentación, conversión temporal
E4 controvertido	Mecanismos relativos de apagado y algunas vías de crecimiento temprano
E5 especulativo	Alternativas no comprobadas no exigidas por los datos

13. Fronteras, estado final y transición

CHO-006 es responsable de la estructura posterior a la reionización y de la evolución de galaxias/poblaciones estelares, pero no de los canales de producción de elementos, la época de las primeras fuentes ni la formación del Sistema Solar. La evolución cósmica que continúa después de S07 queda fuera de la columna cronológica que sigue a la Tierra, aunque artículos posteriores pueden referirse a ella cuando sea causalmente necesario.

En la frontera final, el material del futuro Sistema Solar existe dentro de una galaxia estructurada y un medio interestelar moldeado por múltiples poblaciones estelares y acontecimientos dinámicos. CHO-008 toma el relevo en la distribución de acontecimientos de sólidos datados para examinar colapso de nube, evolución protoestelar y de disco, y los sólidos más antiguos del Sistema Solar. CHO-007 explica por separado de dónde proceden los elementos.

Referencias

1. Eisenstein, D. J., et al. “Detection of the Baryon Acoustic Peak in the Large-Scale Correlation Function of SDSS Luminous Red Galaxies.” *Astrophysical Journal* 633, 560–574 (2005). <https://doi.org/10.1086/466512>
2. Springel, V., et al. “Simulations of the formation, evolution and clustering of galaxies and quasars.” *Nature* 435, 629–636 (2005). <https://doi.org/10.1038/nature03597>
3. Madau, P., and Dickinson, M. “Cosmic Star-Formation History.” *Annual Review of Astronomy and Astrophysics* 52, 415–486 (2014). <https://doi.org/10.1146/annurev-astro-081811-125615>
4. Ekström, S., et al. “Grids of stellar models with rotation. I. Models from 0.8 to 120 solar masses at solar metallicity.” *Astronomy & Astrophysics* 537, A146 (2012). <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201117751>

5. Kereš, D., Katz, N., Weinberg, D. H., and Davé, R. “How do galaxies get their gas?” *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 363, 2–28 (2005). <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2005.09451.x>
 6. D’Silva, J. C. J., et al. “Self-Consistent JWST Census of Star Formation and AGN Activity at $z=5.5\text{--}13.5$.” *The Astrophysical Journal* 990(1), 44 (2025). <https://doi.org/10.3847/1538-4357/adf19e>
 7. Pillepich, A., et al. “Simulating galaxy formation with the IllustrisTNG model.” *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 473, 4077–4106 (2018). <https://doi.org/10.1093/mnras/stx2656>
 8. Hatamnia, H., et al. “Large-Scale Structure in COSMOS-Web: Tracing Galaxy Evolution in the Cosmic Web up to $z \sim 7$ with the Largest JWST Survey.” *The Astrophysical Journal* 1002(2), 192 (2026). <https://doi.org/10.3847/1538-4357/ae5bac>
-

Declaración

Este documento es una síntesis académica; no es investigación primaria y no ha sido revisado por pares. Juan Segurola es el único autor. Aprobó el texto final y es responsable de su contenido.