

## Tensión de Hubble y la expansión acelerada del Universo: Avances con el telescopio James Webb

### *Hubble Tension and the Accelerated Expansion of the Universe: Advances with the James Webb Telescope*

 Jorge Chimarro-Alvear \*

Universidad Central del Ecuador, Centro de Física. Quito, Ecuador. E-mail: [jochimarro@uce.edu.ec](mailto:jochimarro@uce.edu.ec)

Recibido 15 octubre de 2025; aceptado 10 de noviembre de 2025; publicado 05 de diciembre de 2025

#### Resumen

La medición de la constante de Hubble ( $H_0$ ) — un parámetro que indica la tasa de expansión del universo— ha sido uno de los pilares fundamentales de la cosmología durante más de un siglo. Sin embargo, mediciones recientes de esta constante han revelado una discrepancia en los resultados: conocida como la “Tensión de Hubble”. Esta diferencia se debe a que los valores obtenidos de la constante de Hubble medidos en el universo cercano (basados en observaciones de supernovas y otras estrellas) son mayores que los derivados del universo temprano (mediante el estudio del fondo cósmico de microondas).

El presente trabajo revisa los avances en estas técnicas de medición, desde observaciones clásicas hechas por el telescopio Hubble, hasta las más precisas, como las del telescopio James Webb (JWST). Asimismo, se discuten las implicaciones de la expansión acelerada del universo, así como posibles explicaciones teóricas para la discrepancia. Los hallazgos recientes del JWST, que revelan galaxias masivas y sorprendentemente evolucionadas en etapas tempranas del cosmos, plantean nuevos desafíos y sugieren que la comprensión de la expansión cósmica y del destino del universo aún requiere ajustes.

**Palabras clave:** Expansión del universo, constante de Hubble, tensión de Hubble, energía oscura, James Webb, cosmología moderna.

#### Abstract

The measurement of the Hubble constant ( $H_0$ ) —a parameter indicating the rate of expansion of the universe— has been one of the fundamental pillars of cosmology for over a century. However, recent measurements of this constant have revealed a discrepancy in the results, known as the “Hubble Tension.” This difference arises because the values of the Hubble constant obtained from the nearby universe (based on observations of supernovae and other stars) are higher than those inferred from the early universe (through the study of the cosmic microwave background). This paper reviews advances in these measurement techniques, from classical observations made with the Hubble Space Telescope to the more precise ones obtained with the James Webb Space Telescope (JWST). Additionally, the implications of the universe’s accelerated expansion are discussed, as well as possible theoretical explanations for the discrepancy. Recent JWST findings, which reveal massive and surprisingly evolved galaxies in the early stages of the cosmos, pose new challenges and suggest that our understanding of cosmic expansion and the ultimate fate of the universe still requires refinement.

**Keywords:** Cosmic expansion, Hubble constant, Hubble tension, dark energy, James Webb, modern cosmology.

\* Autor de correspondencia: [jochimarro@uce.edu.ec](mailto:jochimarro@uce.edu.ec)



Este artículo está publicado bajo la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

## 1. INTRODUCCIÓN

Edwin Hubble y Georges Lemaître (Figura 1) fueron dos científicos pioneros de la cosmología moderna, quienes, al observar por primera vez que las galaxias se alejaban unas de otras, sentaron las bases de la revolucionaria idea de que el universo se expande (Hubble, 1929). En las décadas siguientes, esta idea fue confirmada con la detección del fondo cósmico de microondas (CMB, por sus siglas en inglés) (Planck Collaboration et al., 2020), así como mediante la observación de supernovas Tipo Ia (Riess et al., 1998). Ambos métodos de observación, como se discutirá en secciones posteriores, permitieron calcular la velocidad de expansión del Universo: también conocida como la constante de Hubble ( $H_0$ ).



**Figura 1:** Corresponde a los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible aprobados y establecidos por la Organización de las Naciones Unidas. (Naciones Unidas, 2015), y que actualmente se encuentran vigentes.

Sin embargo, con el aumento en la precisión en las mediciones de la constante de Hubble, se identificó una discrepancia significativa entre distintos métodos de observación. Las mediciones basadas en galaxias cercanas, utilizando supernovas tipo Ia, indican valores de  $H_0$  más altos, mientras que los datos provenientes del universo temprano, obtenidos con el CMB, predicen un ritmo más lento (Riess et al., 2024). Esta importante discrepancia, conocida como la Tensión del Hubble, ha sido objeto de estudio por casi un siglo y podría ser una señal de que algo fundamental falta en nuestro modelo del cosmos. Actualmente, con la llegada del telescopio

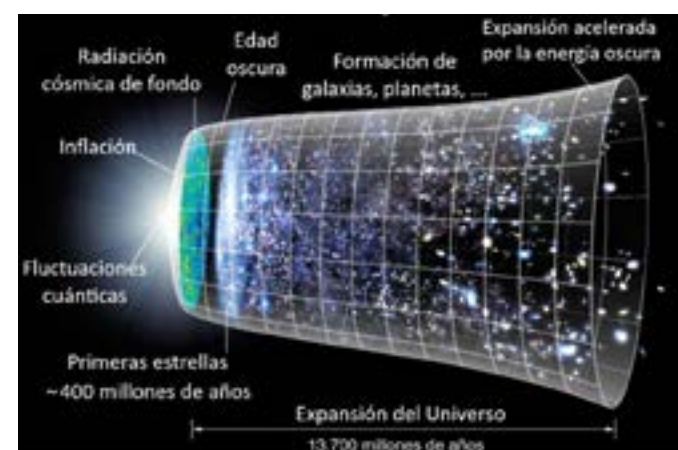
espacial James Webb (JWST), lanzado en 2021 (NASA Science, 2022b), el cual es capaz de examinar galaxias distantes, estrellas variables y estructuras tempranas con mayor precisión que sus antecesores, se abre una nueva era de observación astronómica que podría revelar con mayor exactitud a qué ritmo se expande nuestro universo.

## 2. DESARROLLO

### 2.1. Una expansión que se acelera

A comienzos del siglo XX, Albert Einstein formuló la teoría de la relatividad general introduciendo una constante cosmológica " $\Lambda$ " para mantener la idea de un universo estático, tal como se creía entonces; sin embargo, pocos años después, Georges Lemaître propuso que las ecuaciones de Einstein también permitían una solución dinámica para un universo en expansión. Esta hipótesis fue confirmada en 1929, cuando Edwin Hubble observó que las galaxias se alejaban unas de otras a velocidades proporcionales a su distancia desde la tierra, una relación que debe cumplir para cualquier punto del espacio debido a la expansión homogénea del cosmos, revelando por primera vez la expansión del universo (Hubble, 1929; Lemaître, 1931).

Tal como se observa en la Figura 2, esta expansión se ha mantenido desde los primeros instantes del Big Bang, evolucionando hasta la aceleración observada en la actualidad, impulsada por la energía oscura: una forma de energía misteriosa y dominante.



**Figura 2:** Línea temporal de la evolución del universo, desde el Big Bang, pasando por el fondo cósmico de microondas (CMB), hasta la expansión acelerada impulsada por la energía oscura. El universo se ha expandido durante aproximadamente 13 700 millones de años (Pighi Bel, 2019).

Más adelante, a finales del siglo XX, dos equipos de investigación independientes, liderados por Saul Perlmutter y por Brian Schmidt junto a Adam Riess estudiaron la luminosidad de las supernovas tipo Ia, explosiones estelares que sirven como "candelas estándar" para medir distancias cósmicas; para sorpresa de la comunidad científica, descubrieron que las supernovas más lejanas eran más tenues de lo esperado, lo que solo podía explicarse si la expansión del universo se estuviera acelerando (Riess et al., 1998).

Este hallazgo, galardonado con el Premio Nobel de Física en 2011, marcó el inicio de una nueva era en cosmología, la introducción del concepto de "energía oscura", la cual sería responsable de dicha aceleración y que hoy se estima constituye cerca del 70 % del contenido total del cosmos (Blake et al., 2011).

### 2.2. ¿Cómo medimos la expansión del Universo?

Comprender la velocidad a la que el universo se expande ha sido una de las tareas más complicadas y fascinantes de la astronomía moderna, para lograrlo, los científicos se valen de "reglas cósmicas" que permiten medir distancias a objetos lejanos y comparar su movimiento relativo. Entre las más importantes se encuentran las supernovas tipo Ia, las estrellas Cefeidas y el fondo cósmico de microondas.

Las **supernovas tipo Ia** son explosiones estelares extremadamente luminosas que se producen cuando una enana blanca (el núcleo remanente de una estrella similar al Sol) acumula demasiada materia de una estrella compañera y alcanza un punto crítico, "brillando" con una intensidad casi constante. Gracias a su brillo uniforme, los astrónomos pueden calcular con precisión la distancia a la

que ocurrió esa explosión, puesto que cuanto más débil se observa la supernova, más lejos se encuentra (Riess et al., 1998).

Las **estrellas Cefeidas**, por otro lado, son gigantes amarillos que emiten pulsos de luz de forma rítmica, de la cual existe una relación directa entre el período de sus pulsaciones y su luminosidad real: a mayor período, mayor brillo intrínseco. Midiendo ese ritmo y comparándolo con la luz que nos llega, se puede determinar su distancia, estas estrellas actúan como una especie de "escala intermedia" que permite calibrar las distancias a las supernovas y, a través de ellas, estimar la velocidad de expansión del universo local (Riess et al., 2024).

Tal como se muestra en la Figura 3, este procedimiento se conoce como los "tres pasos hacia la constante de Hubble", donde las mediciones locales mediante Cefeidas permiten establecer distancias precisas a galaxias que albergan supernovas tipo Ia, las cuales, a su vez, sirven para extender la escala cósmica hacia galaxias más distantes en la expansión del universo.



**Figura 3:** Los tres pasos hacia la constante de Hubble: desde la medición de Cefeidas en la Vía Láctea, pasando por galaxias anfitrionas de supernovas tipo Ia, hasta la observación de galaxias lejanas en expansión. (Hubble Constant and Tension - NASA Science, 2025).

Finalmente, el **fondo cósmico de microondas (CMB)** constituye la luz más antigua observada del universo, la cual comenzó a propagarse en todas las direcciones aproximadamente 380 000 años después del Big Bang. Al comparar la temperatura que tenía esta radiación en ese momento —comparable a la de la superficie del Sol— con la detectada



actualmente, 2.7 K (−270 °C), los científicos han podido confirmar la expansión del universo temprano. Esto se debe a que, a medida que el universo se expande, la longitud de onda de la luz aumenta —fenómeno conocido como corrimiento al rojo (redshift)— y, al hacerlo, la radiación se enfría. Este efecto constituye una evidencia directa de que el universo ha estado expandiéndose desde que esta luz fue emitida.

## 2.3. La Tensión de Hubble

Los resultados de la medición de la constante de Hubble mediante los distintos métodos de observación muestran una discrepancia que supera los márgenes de error estadísticos. Cuando los cosmólogos calculan la expansión a partir del fondo cósmico de microondas (CMB), utilizando los datos obtenidos por el satélite Planck, los resultados indican que el universo temprano evoluciona de manera consistente con una constante de Hubble cercana a 67 kilómetros por segundo por megapársec<sup>1</sup> (Planck Collaboration et al., 2020). Este valor contrasta con las mediciones locales basadas en Cefeidas y supernovas Tipo Ia, que señalan un ritmo de expansión más alto, alrededor de 73 kilómetros por segundo por megapársec (Riess et al., 2024).

Para ilustrar estos resultados de manera sencilla, se puede usar la metáfora de dos relojes del cosmos: uno que mide el presente y otro que refleja el pasado profundo. La diferencia entre los valores determinados para  $H_0$  sugiere que estos relojes no estarían sincronizados. Por tanto, determinar cuál de los dos marca la 'hora correcta' podría implicar una revisión fundamental de nuestra comprensión del universo.

Hasta ahora, los distintos resultados encontrados han convertido la tensión de Hubble en una de las principales controversias de la cosmología contemporánea (Hensley, 2024; CERN Courier, 2025).

<sup>1</sup>Un megapársec (Mpc) es una unidad astronómica de longitud que equivale a 3,26 millones de años luz, o,  $3.086 \times 10^{19}$  Km.

## 2.4. James Webb: Una segunda mirada al Universo

El telescopio espacial James Webb (JWST), lanzado en 2021, ha transformado por completo la forma en que observamos el universo, ya que, gracias a su capacidad para captar luz infrarroja, puede atravesar las densas nubes de polvo cósmico para observar regiones que resultaban inaccesibles para su antecesor, el telescopio Hubble, permitiendo estudiar con una nitidez sin precedentes la estructura y evolución de galaxias muy lejanas. Esta sensibilidad ha hecho posible redefinir con mayor precisión los métodos empleados para medir la expansión cósmica.

Durante 2024, dos estudios fundamentales aportaron resultados que, aunque distintos, convergen en la idea de que la expansión del universo sigue siendo un misterio abierto, Adam Riess y su equipo utilizaron el JWST para recalibrar las observaciones de estrellas Cefeidas, sus análisis mostraron que los posibles errores sistemáticos de las mediciones previas (como la confusión de estrellas en regiones muy densas) no bastan para explicar la discrepancia entre los valores de expansión obtenidos localmente y los derivados del universo primitivo; Con los nuevos datos, el equipo de Riess determinó una constante de Hubble de  $73,0 \pm 1,0$  kilómetros por segundo por megapársec, prácticamente idéntica a las estimaciones previas realizadas con el telescopio Hubble, mientras que los valores inferidos a partir del fondo cósmico de microondas medido por Planck continúan en torno a  $67,4 \pm 0,5$  kilómetros por segundo por megapársec (Planck Collaboration et al., 2020). En consecuencia, la llamada tensión del Hubble persiste con una confianza estadística del orden de cinco desviaciones estándar (Riess et al., 2024).

Por otra parte, Wendy Freedman y su grupo de investigación aplicaron tres métodos de calibración distintos: Cefeidas, estrellas de la rama de gigante roja y estrellas de carbono en un conjunto de galaxias observadas también por el JWST, sus resultados ofrecieron un valor

de la constante de Hubble ligeramente menor, lo que sugiere que la discrepancia podría no ser tan extrema como se pensaba inicialmente (Freedman et al., 2025). Más allá de este debate, las imágenes obtenidas por el James Webb han revelado galaxias masivas y sorprendentemente evolucionadas formadas apenas 300 millones de años después del Big Bang, lo que desafía los modelos actuales de formación galáctica y plantea la posibilidad de que el universo temprano fuera mucho más activo de lo previsto (Wright, 2024).

El descubrimiento de la expansión acelerada del universo consolidó el modelo  $\Lambda$ CDM (Lambda–Cold Dark Matter) como el marco teórico que mejor describe la evolución cósmica, sin embargo, las recientes observaciones del telescopio espacial James Webb (JWST) han revelado galaxias masivas y sorprendentemente evolucionadas en etapas muy tempranas del universo, lo que plantea nuevos interrogantes sobre los fundamentos de este modelo.



**Figura 4:** Campo profundo tomado por el telescopio espacial James Webb (JWST). Considerada la imagen más nítida y profunda del universo primitivo hasta la fecha, revela galaxias que antes no eran visibles y ayudará a comprender con mayor precisión la expansión cósmica (NASA Science, 2022).

Tal como se observa en la Figura 4, el campo profundo captado por el telescopio espacial James Webb (JWST) representa la imagen más nítida y profunda del universo primitivo obtenida hasta la fecha, en ella se revelan galaxias que antes eran invisibles incluso para los instrumentos más potentes, permitiendo observar estructuras formadas apenas unos cientos de millones de años después del Big

Bang.

Este nivel de detalle no solo ofrece una ventana sin precedentes hacia las primeras etapas cósmicas, sino que también permitirá medir con mayor precisión la velocidad de expansión del universo, afinando los modelos actuales y aportando nuevas pistas sobre la tensión del Hubble.

## 3. DISCUSIÓN

La persistencia de la discrepancia entre los valores de la constante de Hubble obtenidos a partir del universo cercano y del universo primitivo ha impulsado una intensa búsqueda de explicaciones teóricas.

Entre las hipótesis más discutidas destaca la de la energía oscura temprana (EDE – Early Depth Energy), la cual propone la existencia de un componente energético transitorio presente poco después del Big Bang, este tipo de energía habría modificado brevemente el ritmo de expansión del universo y el tamaño del llamado horizonte acústico, ajustando así los cálculos que derivan del fondo cósmico de microondas. Aunque el modelo de energía oscura temprana consigue reducir la diferencia entre los valores de la constante de Hubble ( $H_0$ ), este requiere una calibración muy precisa de parámetros para no entrar en conflicto con otras observaciones cosmológicas (Simpson et al., 2025).

Otra línea de investigación apunta a una posible modificación de la gravedad; según esta idea, la teoría de la relatividad general, la cual es extraordinariamente exitosa a escalas planetarias y galácticas, podría necesitar ajustes cuando se aplica al universo entero; algunos modelos alternativos sugieren que la fuerza gravitacional podría variar ligeramente con la escala o con el tiempo cósmico, lo que alteraría la tasa de expansión sin requerir nuevos tipos de energía (Blake et al., 2011). Sin embargo, estas propuestas enfrentan el reto de mantener coherencia con las pruebas experimentales de la relatividad en sistemas más pequeños, donde la teoría de Einstein ha sido verificada con enorme precisión. Una tercera posibilidad plantea que el problema



podría originarse dentro del propio “lado oscuro” del cosmos y las interacciones entre la materia oscura y la energía oscura, si ambos componentes, que en conjunto constituyen alrededor del 95 % del contenido del universo, intercambiaran energía o momento, el ritmo de expansión podría variar ligeramente con el tiempo (Simpson et al., 2025), aunque esta idea resulta atractiva porque no exige romper con la relatividad general, su principal dificultad radica en que las interacciones oscuras son extremadamente difíciles de detectar de manera directa.

Por último, algunos investigadores continúan evaluando la posibilidad de errores sistemáticos residuales en las mediciones, factores como la calibración de las candelas estándar, la contaminación por estrellas cercanas o los sesgos instrumentales podrían haber influido en las estimaciones previas, sin embargo, los datos obtenidos por el telescopio James Webb han descartado en buena medida que estos efectos sean suficientes para explicar la discrepancia (Freedman et al., 2025; Riess et al., 2024).

En conjunto, ninguna de estas hipótesis ha logrado resolver de forma definitiva la tensión del Hubble, puesto que, cada una de ellas aporta una pieza distinta al rompecabezas y mantiene viva la discusión sobre si el universo obedece plenamente a las leyes conocidas o si, sobre él, actúan fuerzas y principios todavía por descubrir.

## 4. CONCLUSIONES

El universo no solo se expande, sino que lo hace a un ritmo cada vez más acelerado, un hecho comprobado por múltiples investigaciones desde el descubrimiento de Edwin Hubble hasta las observaciones más recientes del telescopio espacial James Webb (JWST); sin embargo, la llamada tensión del Hubble continúa siendo una de las discrepancias más persistentes en cosmología: las mediciones locales, basadas en Cefeidas y supernovas tipo Ia, sitúan la constante de Hubble en torno a 73 kilómetros por segundo por megapársec,

mientras que los datos del fondo cósmico de microondas obtenidos por el satélite Planck indican un valor menor, de aproximadamente 67 kilómetros por segundo por megapársec. Los resultados del JWST han confirmado la solidez de las mediciones locales y, además, han revelado galaxias formadas mucho antes de lo previsto, lo que sugiere que los modelos actuales podrían necesitar ajustes, entre las posibles explicaciones teóricas destacan la energía oscura temprana, las hipótesis de gravedad modificada y las interacciones entre materia y energía oscura, aunque ninguna ha alcanzado aún consenso dentro de la comunidad científica. Resolver esta discrepancia no solo redefinirá el valor de la constante de Hubble, sino también nuestra comprensión de la estructura, la historia y el destino del universo.

## 5. REFERENCIAS

- Agencia SINC. (2011). Nobel de Física 2011 para el descubrimiento de la expansión acelerada del universo. <https://www.agenciasinc.es/Noticias/Nobel-de-Fisica-2011-para-el-descubrimiento-de-la-expansion-acelerada-del-universo>
- Blake, C., Glazebrook, K., Davis, T. M., Brough, S., Colless, M., Contreras, C., Couch, W., Croom, S., Drinkwater, M. J., Forster, K., Gilbank, D., Gladders, M., Jelliffe, B., Jurek, R. J., Li, I., Madore, B., Martin, D. C., Pimblett, K., Poole, G. B., ... Yee, H. K. C. (2011). The WiggleZ Dark Energy Survey: Measuring the cosmic expansion history using the Alcock-Paczynski test and distant supernovae. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 418(3), 1725–1735. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2011.19606.x>
- CERN Courier. (2025, marzo 26). The Hubble tension. CERN Courier. <https://cerncourier.com/a/the-hubble-tension/>
- Freedman, W. L., Madore, B. F., Hoyt, T. J., Jang, I. S., Lee, A. J., & Owens, K. A. (2025). Status Report on the Chicago-Carnegie Hubble Program (CCHP): Measurement of the Hubble Constant Using the Hubble and James Webb Space Telescopes. *The Astrophysical Journal*, 985(2), 203. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/adce78>
- Hensley, K. (2024). Monthly Roundup: Perspectives on the Hubble Tension. AAS Nova Highlights, 12173.
- Hubble, E. (1929). A relation between distance and radial velocity among extra-galactic nebulae. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 15(3), 168–173. <https://doi.org/10.1073/pnas.15.3.168>
- Hubble Constant and Tension—NASA Science. (2025, agosto 4). <https://science.nasa.gov/mission/>

[hubble/science/science-behind-the-discoveries/hubble-constant-and-tension/](https://hubble/science/science-behind-the-discoveries/hubble-constant-and-tension/)

- emaitre, G. (1931). A homogeneous universe of constant mass and increasing radius accounting for the radial velocity of extra-galactic nebulae. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 91, 483–490.
- Mariscal, P. (2018, noviembre 6). La controversia sobre el descubrimiento de la expansión del Universo. *Naukas*. <https://naukas.com/2018/11/06/la-controversia-sobre-el-descubrimiento-de-la-expansion-del-universo/>
- NASA Goddard Space Flight Center. (2021, mayo 26). Type Ia supernovae animations [Web page]. Scientific Visualization Studio, NASA. <https://svs.gsfc.nasa.gov/20344/>
- NASA Science. (2022a, julio 11). Webb's First Deep Field Unveiled (NIRCam Image). <https://science.nasa.gov/asset/webb/webbs-first-deep-field-unveiled-nircam-image/>
- NASA Science. (2022b, julio 12). Webb's First Deep Field (NIRCam Image). <https://science.nasa.gov/asset/webb/webbs-first-deep-field-nircam-image/>
- Pighi Bel, P. (2019, marzo 1). La expansión del universo se está acelerando más de lo calculado (y los científicos no saben por qué). *BBC News Mundo*. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-47377878>
- Planck Collaboration, Akrami, Y., Argüeso, F., Ashdown, M., Aumont, J., Baccigalupi, C., Ballardini, M., Banday, A. J., Barreiro, R. B., Bartolo, N., Basak, S., Benabed, K., Bernard, J.-P., Bersanelli, M., Bielewicz, P., Bonavera, L., Bond, J. R., Borrill, J., Bouchet, F. R., ... Zonca, A. (2020). Planck 2018 results: II. Low Frequency Instrument data processing. *Astronomy & Astrophysics*, 641, A2. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201833293>
- Riess, A. G., Anand, G. S., Yuan, W., Casertano, S., Dolphin, A., Macri, L. M., Breuval, L., Scolnic, D., Perrin, M., & Anderson, R. I. (2024). JWST Observations Reject Unrecognized Crowding of Cepheid Photometry as an Explanation for the Hubble Tension at 8 $\sigma$  Confidence. *The Astrophysical Journal Letters*, 962(1), L17. <https://doi.org/10.3847/2041-8213/ad1ddd>
- Riess, A. G., Filippenko, A. V., Challis, P., Clocchiatti, A., Diercks, A., Garnavich, P. M., Gilliland, R. L., Hogan, C. J., Jha, S., Kirshner, R. P., Leibundgut, B., Phillips, M. M., Reiss, D., Schmidt, B. P., Schommer, R. A., Smith, R. C., Spyromilio, J., Stubbs, C., Suntzeff, N. B., & Tonry, J. (1998). Observational Evidence from Supernovae for an Accelerating Universe and a Cosmological Constant. *The Astronomical Journal*, 116(3), 1009–1038. <https://doi.org/10.1086/300499>
- Simpson, G., Bolejko, K., & Walters, S. (2025). Beyond  $\Lambda$ CDM: How the Hubble tension challenges early Universe physics. *Classical and Quantum Gravity*, 42(14), 143001. <https://doi.org/10.1088/1361-6382/adec35>
- Wright, K. (2024). JWST Sees More Galaxies than Expected. *Physics*, 17, 23. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.132.061002>



## INFORMACIÓN DE LA REVISTA

# Praxis

Revista del Centro de Física-UCE

<https://revistasdivulgacion.uce.edu.ec/index.php/>

e-ISSN : 3103-1323

Periodicidad: Cuatrimestral

Edición: Núm. 8, diciembre 2025

e-mail: revista.praxis@uce.edu.ec