

Vida científica

SEMBLANZAS DE LOS PREMIOS NOBEL 2019

EN FÍSICA

LOS EXOPLANETAS Y LA EVOLUCIÓN DEL UNIVERSO

El premio nobel de Física de 2019 ha homenajeado a tres científicos: el canadiense James Peebles, y los suizos Michel Mayor y Didier P. Queloz por sus contribuciones científicas en el campo de la investigación astronómica y cosmológica.

La cosmología moderna trata sobre el estudio de la historia de universo y entre sus logros se encuentra el descubrimiento de nuevas componentes de la materia y la energía. Entre otros descubrimientos de esta disciplina está el haber encontrado que nuestro Sol, lejos de ser un caso peculiar en el universo es

un ente bastante común. En nuestra propia galaxia existen millares y millares de estrellas con planetas que las orbitan. Las implicaciones de estos descubrimientos son tales que incluso han cambiado la forma en la que vemos el universo.

Cosmología

La cosmología es actualmente una ciencia en el sentido propio. Se caracteriza por ser capaz de realizar medidas muy precisas de órbitas de planetas, estrellas y de las interrelaciones entre ellas. Las medidas experimentales en este campo son tan precisas que pueden llegar a ser mucho más precisas que la medida de la temperatura del fondo de radiación cosmológico.

El gran desarrollo de esta disciplina no obstante no tiene solo un carácter experimental. Viene apoyado en numerosos resultados y avances teóricos que

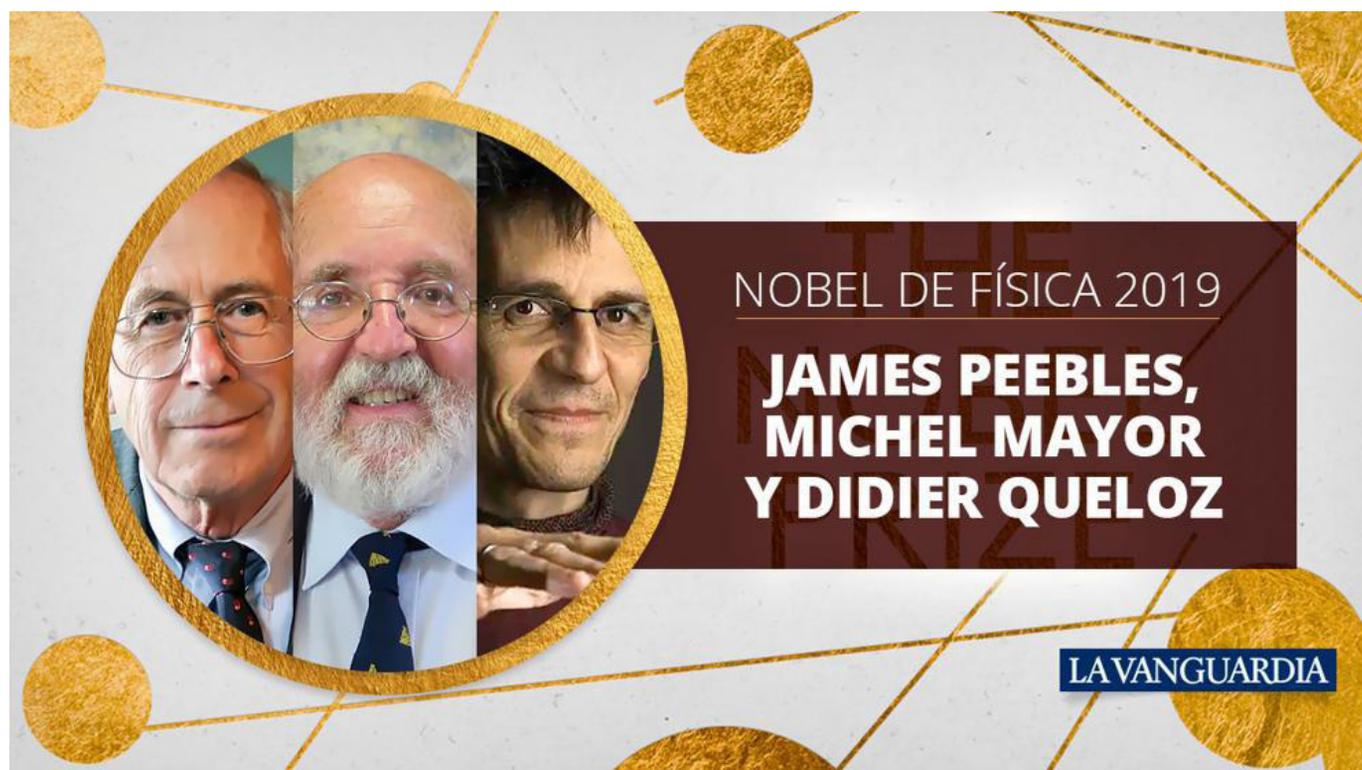


Figura 1: Ganadores del premio noble de Física 2019. De izquierda a derecha James Peebles (Canadá), Michel Mayor y Didier Queloz (Suiza). Fuente: <http://www.lavanguardia.es>

se han desarrollado a lo largo del último medio siglo. Un ejemplo de que estos avances se han realizado lo encontramos en una de las personas que han sido galardonadas, el profesor James Pebles. Su trabajo se basa, principalmente en la propuesta de modelos teóricos y la realización de simulaciones numéricas. Con ellas ha explorado algunas propiedades fundamentales del universo y ha encontrado fenómenos físicos completamente novedosos e inesperados. Gracias a sus estudios y a los de otros científicos, por supuesto, tenemos ahora un modelo unificado que describe la historia del universo desde sus inicios hasta el presente y que incluso nos permite predecir su futuro.

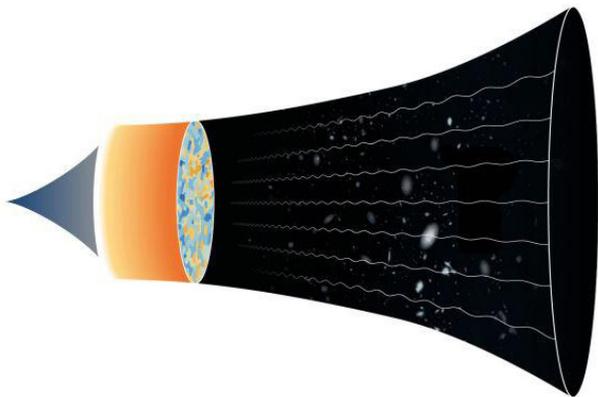


Figura 2: Diagrama de la evolución del universo. Todo comenzó en un punto y todo terminará en la más absoluta oscuridad. Fuente: <https://www.nobelprize.org/uploads/2019/10/advanced-physicsprize2019-3.pdf>

La cosmología moderna tiene sus raíces en la teoría de la relatividad general propuesta por Einstein a comienzos del siglo XX. En ella se asume un modelo del universo en el que este es descrito como un ente extremadamente caliente y denso en sus comienzos (se supone que en sus primeros 400.000 años su temperatura era superior a los 3000 K) que ha ido enfriándose lentamente. Tras esos comienzos los científicos suponen que su temperatura disminuyó de forma que los electrones pudieron combinarse con los protones y neutrones para formar los átomos. Otras partículas sin embargo, por su naturaleza fueron más reacias a combinarse (los fotones) que se encontraron de repente en un universo transparente a ellas. Los fotones permanecieron allí. Y permanecen hoy en día formando la conocida radiación cósmica de fondo o CMB (Cosmic Microwave Brack-

kGround). La CBM es sumamente importante en el estudio del universo ya que nos muestra una huella temporal que nos permite su estudio.

Pocos años después de que Einstein propusiera su teoría de la relatividad, en 1922, el cosmólogo y matemático ruso Alexander Friedman formuló una teoría matemática en la que se proponía que el universo se expande [1]. Algunos años más tarde, en 1934, Friedman desarrolló su teoría de una manera mucho más formal [2]. Pocos años más tarde fue el pastor Belga Georges Lemaitre quien formuló una teoría en la que las galaxias se alejan las unas de las otras, hecho que solo podría explicarse si el propio universo se encontrase en expansión. La confirmación de estas ideas llegaron solo tres años más tarde, en 1927, cuando Edwin Hubble observó experimentalmente dicha expansión.

El nacimiento de la cosmología física

A finales de la década de 1940 Ralph Alpher, Robert Herman y George Gamow formularon el primer modelo matemático sobre el Big Bang. Su trabajo estuvo motivado casi exclusivamente por la necesidad de explicar el origen de los elementos de la tabla periódica [3]. En esa misma época el mismo Gamow, junto con el científico ruso Lofshitz comenzaron el estudio del proceso de formación de las galaxias. Gamow uso en sus intentos la teoría propuesta por Jeans y su definición de longitud (la longitud de Jeans) que determina el tamaño mínimo que ha de tener un objeto cosmológico para que se dé su colapso gravitacional [4]. En el año 1948 Gamow argumentó que las estructuras no deberían comenzar a formarse hasta que la densidad de radiación fuera aproximadamente igual a la densidad de su materia, cosa que debería suceder a una temperatura de unos mil grados kelvin. Ese mismo año Alpher y Herman [5] estudiando la distribución de la densidad de materia en el universo sugirieron que el universo actual debería tener una temperatura en el entorno de los 5 K. La sugerencia de ese dato, conjugada con las tecnologías de la época, hicieron que muchos científicos pensasen que dicha temperatura jamás podría ser medida [6].

Algunos años más tarde, en 1965, se produjeron algunos acontecimientos que revolucionaron el campo de la cosmología. En un trabajo publicado en la



Figura 3: Representación artística de la cosmología. Fuente: <https://www.google.es>

revista *Astrophysical Journal Letters* Arnold Penzias y Robert Wilson publicaron el descubrimiento de la radiación cosmológica de fondo. Su descubrimiento fue inesperado hasta el punto en el que otro autor (David Wilson) de un artículo en ese mismo número de la revista fue quien se dio cuenta de que la explicación cosmológica de Penzias y R. Wilson predecía la existencia de la radiación cósmica de fondo. En ese artículo los autores, también proponían no solo la existencia de dicha radiación sino que indicaban que su existencia podría explicarse en términos un estado inicial del universo en el que este tenía una temperatura muchísimo más elevada de la actual [7].

Madurez de la cosmología

Una vez superados los inicios que establecieron los principios de la cosmología básica el campo se desarrolló hacia un entendimiento de la cadena de procesos que ha supuesto la evolución del universo. Dicho entendimiento se extendió no solo a los componentes del universo que vemos, sino también a los que no vemos. Muchos de los estudios de esta etapa se hicieron tratando de entender, en detalle, la forma en la que nuestro universo se expande. Para lograr dicho entendimiento científicos como Lundmark comenzaron el estudio de la cinemática estelar de las galaxias. Esta disciplina trata de entender el movimiento de las galaxias y de predecirlo en el futuro conjungando predicciones teóricas y observaciones experimentales. Los trabajos de Lundmark demostraron que el modelo que en esos momentos

manejaban los científicos no estaba completo y que la explicación de los datos no encajaba con el marco teórico en el que se trataban de comprender. En concreto Lundmark indicó que faltaba materia, o lo que es lo mismo que la materia que se observaba no era suficiente para explicar lo que sucedía. Con el objetivo de encajar los datos con la teoría Lundmark propuso la existencia un nuevo tipo de materia, que no podía ser observada y a la que denominó **materia oscura**. Las ideas de Lundmark fueron luego refrendadas por otros científicos, indicando la necesidad de la existencia de materia oscura [8] [9].

En la década de los 80 se introdujeron nuevas ideas en la cosmología (entre las que destaca el uso de modelos abiertos en los que el universo no es un ente aislado) que introdujeron una gran incertidumbre. Dichos modelos, basados mayormente en la observación de la densidad media de masa del universo predecían una evolución completamente isótropa del mismo que no concordaba con las observaciones. Algunas consecuencias de los modelos eran bastante sorprendentes ya que no preveían la formación de las galaxias tal y como las conocemos.

En 1984 Peebles, uno de los galardonados este año, dio un paso crucial en la cosmología. Desafiando las modas y el entendimiento de la época este científico reintrodujo en el debate la constante cosmológica. A lo largo de los anteriores 50 años muchos científicos habían considerado que dicha constante no era más que un artificio superfluo de las teorías cosmológicas argumentando que si bien puede tener utilidad en la formación inicial del universo no lo puede tener en la explicación de su evolución.

Otro problema en el que, en opinión de Peebles, era muy importante considerar la constante cosmológica es el de datar la edad del universo. En aquellos momentos (comienzos de los años 80) la controversia sobre este tema era grande. Las contradicciones no permitían establecer dicha edad con certeza y en algunos casos fallaban hasta tal punto que en algunos trabajos encontramos que se predicen edades para algunas estrellas superiores a la edad que se propone para el propio universo [10]-[13].

En el año 1984 dos trabajos publicados por Peebles ayudaron a unificar todos los componentes básicos de la cosmología y reforzar el hecho de la existencia de un valor concreto para la constante

Radial Velocity Method

The star and planet orbit their common center of mass.

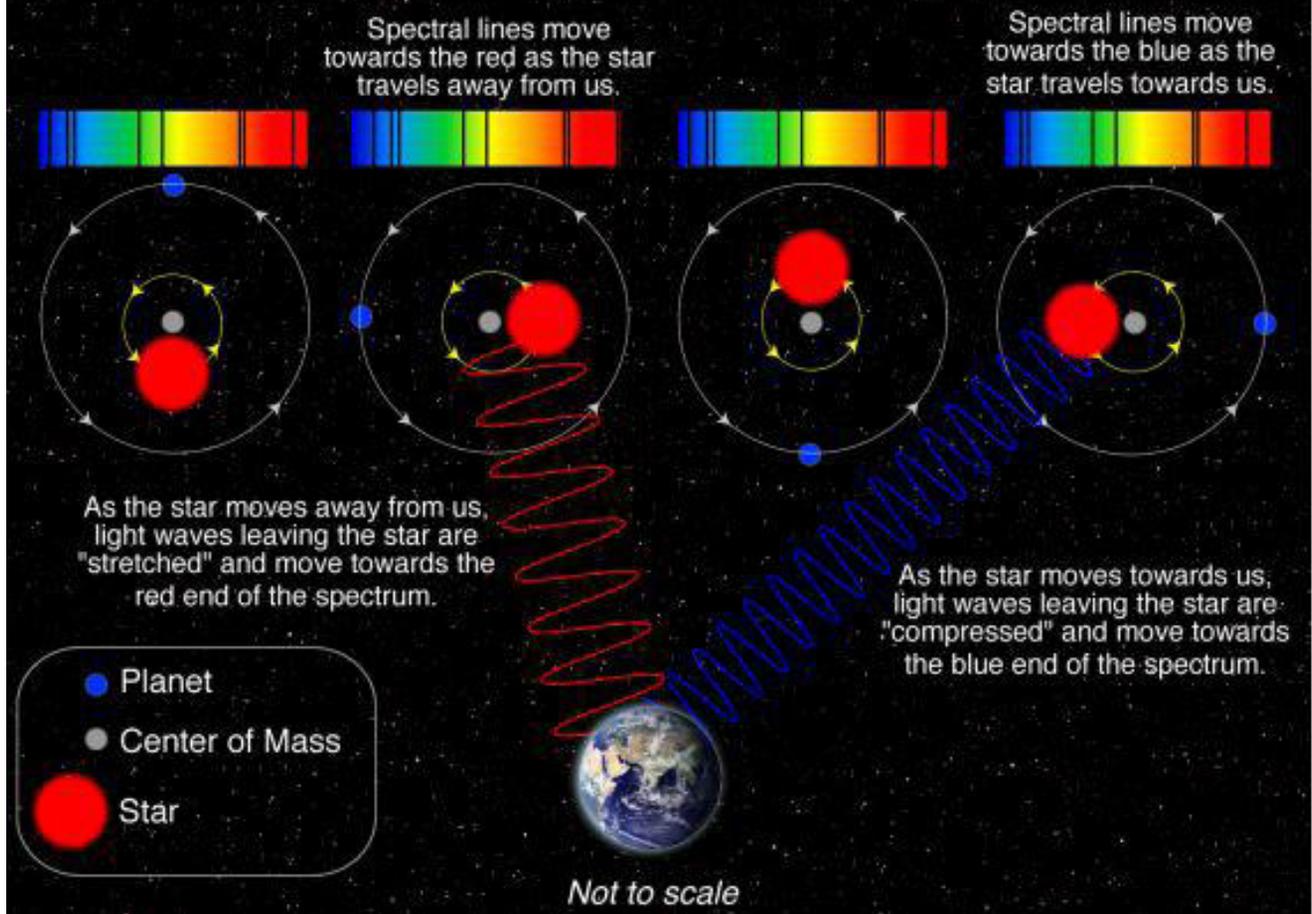


Figura 4: Resumen esquemático de las mediciones de las galaxias y de cómo se obtiene la velocidad radial de las estrellas. Fuente: <https://www.nobelprize.org/uploads/2019/10/advanced-physicsprize2019-3.pdf>

cosmológica. A mediados de los años 90 la existencia de una constante cosmológica era completamente aceptada por comunidad científica y no había debate sobre su existencia. En esos años se produjeron otros dos descubrimientos que hicieron avanzar de forma notable a la cosmología. En 1992 se produjo la observación del fondo de radiación cósmico de micro-ondas[14]. Posteriormente, en 1998 se obtuvieron pruebas de que el universo se expandía de forma acelerada [15],[16].

Visión general

La cosmología no solo es una teoría científica capaz de explicar de forma muy precisa y satisfactoria

la evolución del universo. Es también una poderosa herramienta científica de predicción que debe usarse para realizar nuevos descubrimientos. Por ejemplo, aun no se conoce el valor de la constante cosmológica e incluso puede que dicha constante no sea tal como considera el propio Pebles [17]. Por otro lado, en caso de que exista la materia oscura no tenemos ni idea de qué es ni de cómo está compuesta. Algunas de las explicaciones más interesantes en esta materia indican que es posible que sea necesario introducir nuevas partículas tales como pares supersimétricos o axiones. Estas partículas son, por el momento solo suposiciones hipotéticas con las que explicar fuerzas conocidas. Hasta el momento en el que se descubran dichas partículas los científicos

serán incapaces de demostrar o refutar la existencia de la materia oscura.

La forma en que la teoría y las observaciones encajan ahora es asombrosa y la cantidad de parámetros son pocos. Aun así, hay observaciones que no pueden explicarse completamente en este momento [18]. Mediciones del parámetro de Hubble en el Universo de los últimos tiempos no coincide con lo que se predice a partir de CMB física. La explicación es actualmente desconocida. Los errores sistemáticos en las mediciones podrían potencialmente ser responsables, o, tal vez, la nueva física todavía se esconde en algún lugar por ahí.

REFERENCIAS

- [1] Poe E.A., Eureka: Prose Poem A, Putnam P. (1847) New York.
- [2] Friedman A. (1922). Über die Krümmung des Raumes, Z. Phys. **10** 377.
- [3] Gamow G. (1946). Expanding universe and the origin of elements, Phys. Rev. **70** 572.
- [4] Jeans J.H., (1902).The stability of a spherical nebula, Phil. Trans. R. Soc. A. **199**,1.
- [5] Alpher R.A. y Herman R.C. (1948), Evolution of the Universe, Nature **162** 774.
- [6] Doroshkevich A. G. and Novikov I.D. (1964). Mean density in the metagalaxy and some problems of relativistic cosmology, Doklady Akad. Nauk. USSR **154** 809.
- [7] Dicke R.H., Peebles P.J.E., Roll P.G. y Wilkinson D.T. (1965) Cosmic black-body radiation, Astrophys. J. **142** 414.
- [8] Rubin V.C. y Ford W.K. (1970). Rotation of the Andromeda nebula from a spectroscopic survey of emission regions, Astrophys. J. **159** 379.
- [9] Ostriker J.P. y Peebles P.J.E. (1973) A numerical study of the stability of flattened galaxies: or, can cold galaxies survive? Astrophys. J. **186** 467.
- [10] Peebles P.J.E. (1984). Tests of cosmological models constrained by inflation, Astrophys. J. **284** 439.
- [11] Turner M.S., Steigman G. y Krauss L.M. (1984) Flatness of the Universe: reconciling theoretical prejudices with observational data, Phys. Rev. Lett. **52** 2090.
- [12] de Vaucouleurs G. (1982) Five crucial tests of the cosmic distance scale using the Galaxy as fundamental standard, Nature **299** 303.
- [13] de Vaucouleurs G. (1983) The galaxy as fundamental calibrator of the extragalactic distance scale. II. Comparisons of metric and photometric scale lengths and three further tests of the long and short distance scales, Astrophys. J. **268** 468.
- [14] Smoot G. F. (1992) Structure in the COBE differential microwave radiometer first-year maps, Astrophys. J. Lett. **396** L1 (1992).
- [15] Riess A.G. (1998). Observational evidence from supernovae for an accelerating universe and a cosmological constant, Astron. J. **116** 1009.
- [16] Perlmutter S. (1999) Measurements of omega and alpha from 42 high-redshift supernovae, Astrophys. J. **517** 565.
- [17] Peebles P.J.E y Ratra B. (1998) Cosmology with a time-variable cosmological "constant", Astrophys. J. Lett. **325**, L17.
- [18] L. Verde, T. Treu and A.G. Riess (2019). Tensions between the Early and the Late Universe, arxiv:1907.10625.

Julio Juan Fernández Sánchez
Dpto. de Física Fundamental