

# Premio Nobel de Física 2019 Exoplanetas

David Barrado Navascués

Michel Mayor y Didier Queloz son premiados con la mitad del Premio Nobel de Física del año 2019 por el descubrimiento del primer planeta que orbita alrededor de una estrella tipo solar.



Ill. Niklas Elmehed. © Nobel Media

Un año más, llegan los reconocimientos más importantes: los premios Nobel. En esta ocasión, la Academia de Ciencias Sueca ha dividido el galardón de Física entre la cosmología, en la figura de James Peebles, y la detección de exoplanetas alrededor de estrellas solares, que ha recaído en Michel Mayor y Didier Queloz. En el último caso, no corresponde al primer descubrimiento de un planeta fuera del Sistema Solar, pero su importancia radica en que ha abierto un nuevo campo que se encuentra en una verdadera eclosión.

Gran parte de los descubrimientos científicos descansan tanto en un profundo conocimiento de la teoría que subyace como en el uso de un equipo avanzado y técnicas de análisis novedosas, así como en la persistencia del investigador. Éste ha sido en caso de M. Mayor y D. Queloz, cuyo trabajo ha abierto un nuevo campo del conocimiento y ha eliminado uno de los últimos reductos del antropocentrismo, dejando a la Tierra como un planeta más entre los billones que se considera ahora que existen en nuestra galaxia, la Vía Láctea.

### Antecedentes: primeros candidatos

La búsqueda de otros mundos tiene una larga tradición. La primera especulación de la que se tiene un registro co-

responde a Anaximandro de Mileto, filósofo presocrático cuya vida se desarrolló en el siglo VI a. C. Simplicio, matemático bizantino del siglo VI d. C., comentó: “Pues los que supusieron que los mundos eran infinitos en número, como los seguidores de Anaximandro, Leucipo y Demócrito y, después de ellos, los de Epicuro, supusieron que nacían y perecían durante un tiempo infinito, naciendo siempre unos y pereciendo otros; y afirmaban que el movimiento era eterno” [1].

A lo largo del siglo XIX hubo varios anuncios sobre posibles detecciones de exoplanetas por métodos astrométricos, mediante la observación directa del movimiento inducido por el planeta en la trayectoria de la estrella según se desplazaba, proyectada, sobre el plano celeste. Ninguno fue confirmado. La ausencia de resultados positivos fue debida a las limitaciones instrumentales<sup>1</sup>. A mediados del siglo XX, con mucha mayor precisión, se publicaron varios artículos que describían potenciales compañeros planetarios. Éste fue el caso de 61 Cyg A, con un posible compañero de 17 masas de Júpiter y un periodo de 4.9 años [2], o de la estrella de Barnard, un verdadero sistema que contendría dos planetas de masas similares a Júpiter que orbitan en periodos de 12 y 26 años [3].

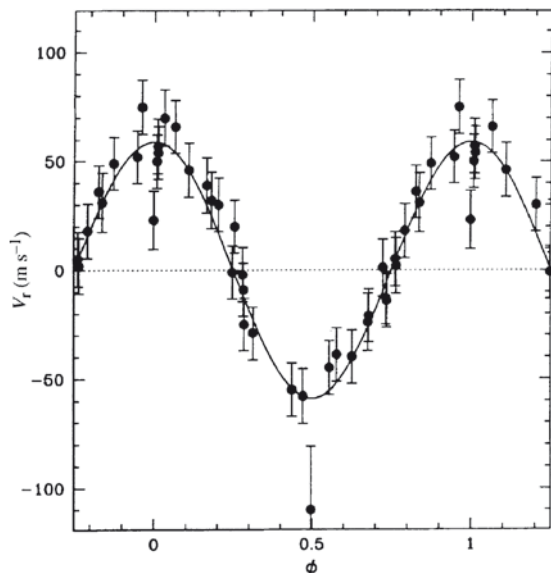
En 1952 Otto Struve postuló la existencia de planetas masivos y calientes en órbitas cercanas a su estrella y propuso que podrían ser descubiertos mediante el uso de la velocidad radial o el eclipse causado por el tránsito por delante del disco estelar [4]. El principal inconveniente de la primera técnica es que solo permite establecer un límite inferior a la masa del planeta, al desconocerse la inclinación de la órbita respecto al plano celeste, mientras que la segunda proporciona la relación de radios entre el planeta y sus estrella, y la inclinación de la órbita. La combinación de ambas aporta una solución completa. En cualquier caso, las búsquedas subsiguientes usando espectrógrafos de precisión siguieron la analogía del Sistema Solar, y se embarcaron en programas de años y largas cadencias en



Fig. 1. El telescopio de 1.93 del Observatoire de Haute-Provence, desde donde se tomaron los datos con el espectrógrafo ELODIE que condujeron al descubrimiento de 51 Peg b. Crédito D. Barrado.

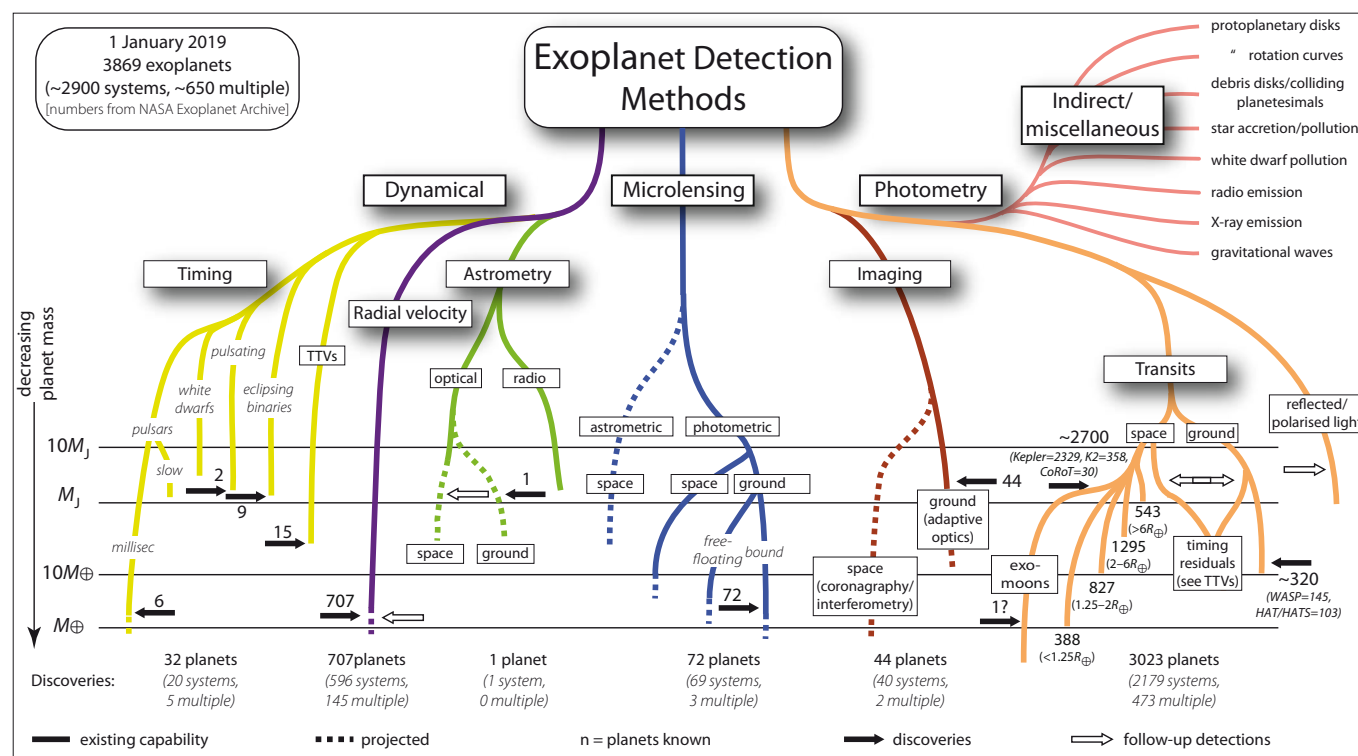
<sup>1</sup> El satélite europeo Gaia, que está cartografiando el cielo con medidas astrométricas de gran precisión, publicará eventualmente un listado de miles de planetas.

**Fig. 2.** La curva de velocidad radial original publicada por Mayor y Queloz en 1995, que corresponde a la estrella 51 Peg y denota la existencia de un planeta masivo en un órbita cercana.



la adquisición de datos. Este fue el caso de la estrella Gamma Cephei A, que mostró una variabilidad a lo largo de seis años en un trabajo publicado en 1988 [5]. La naturaleza planetaria de este candidato, en una órbita de 2,48 años, fue confirmada aparentemente en 2003 [6]. Medidas actuales, incluyendo astrometría para derivar la inclinación de la órbita, han permitido establecer que la compañera tendría una masa en el rango 5.0-26.9 masas de Júpiter y un semieje mayor de 2.05 unidades astronómicas [7], pudiendo ser por tanto un verdadero planeta masivo o una enana marrón. Esto es, un objeto de apariencia estelar que no tiene suficiente masa como para alcanzar la temperatura y presión necesaria en

**Fig. 3.** La multiplicidad de métodos de detección y análisis de los exoplanetas, Crédito: M. Perryman 2011, 2018.



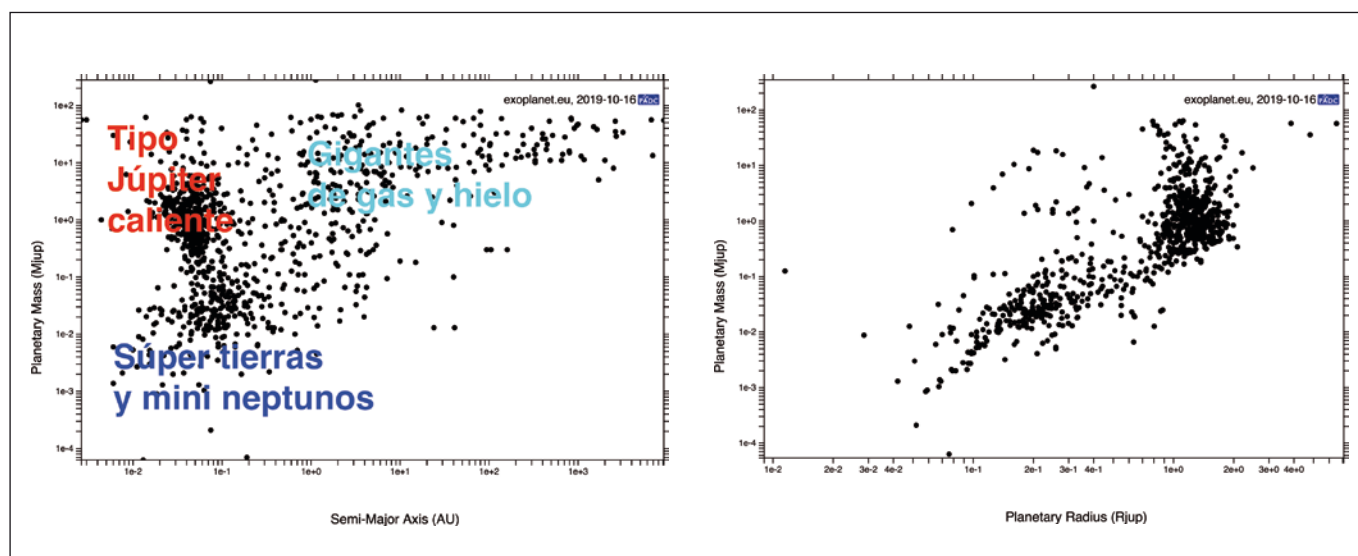
su interior para iniciar la fusión de hidrógeno en helio. Una situación similar fue la de la estrella HD114762, anunciada como posible planeta o probable enana marrón en 1989 [8], cuya masa real podría estar en el rango estelar según un análisis reciente basado en astrometría del satélite Gaia, que permite romper la ambigüedad de la inclinación [9].

En el ínterin, en 1992, Aleksander Wolszczan y Dale Frail publicaron el descubrimiento de dos planetas de masa similar a la Tierra que orbitaban alrededor del púlsar PSR 1257+12, una estrella de neutrones, el remanente de la muerte de una estrella de masa superior al Sol, usando cronometría precisa de la señal electromagnética [10].

### Espectrógrafos de alta resolución

El desarrollo de los espectrógrafos y de la astrofísica como ciencia se inició en el siglo XIX. Henry Draper acuñó el término espectrógrafo en 1870 y fotografió el primer espectro en 1872, lo que posibilitó la determinación de las propiedades físicas de las estrellas.

Una parte esencial en los espectrógrafos de alta dispersión es el elemento de dispersión. La red de tipo echelle fue ideada por George Harrison en 1949, aunque su uso con estrellas no llegó hasta los años 60, en instrumentos localizados en el foco Cassegrain de los telescopios. La principal limitación en esta configuración es que, debido a su gran tamaño, aparecen flexiones al mover el telescopio, deformaciones que se traducen en la imposibilidad de calibrar de manera muy precisa en longitud de onda, haciendo irrealizable la determinación de



velocidades radiales al límite requerido para las búsquedas de planetas.

A finales de los años 70, A. Baranne, M. Mayor y J. L. Poncet [11] desarrollaron un espectrofotómetro basado en una red echelle denominado CORAVEL, lo que les proporcionó una gran dispersión, un amplio rango espectral y una alta eficiencia. Dado que el error en la medida de la velocidad radial en un espectro es proporcional al inverso de la relación señal-ruido y de la resolución espectral, el diseño les permitió obtener medidas de velocidad radial de gran precisión. Este instrumento fue esencial para la determinación de los parámetros orbitales en un elevado número de estrellas binarias espectroscópicas [12].

CORAVEL fue el punto de partida para desarrollar un nuevo espectrógrafo echelle, ELODIE, que fue instalado en el telescopio de 1,93 m del Observatoire de Haute-Provence en 1993 (Figura 1). Entre sus novedades, se encontraba el uso de una fibra óptica para alimentar el instrumento, el uso de detectores CCD y correlaciones con máscaras para la calibración precisa en longitud de onda [13]. Estas innovaciones fueron esenciales para alcanzar unas mejores prestaciones. Tras un año de toma de datos, se produjo el anuncio del primer planeta descubierto por velocidad radial [14].

La estrella 51 Peg, de temperatura efectiva muy similar al Sol, algo más vieja y de masa un 10 % superior, se encuentra situada a 15,47 pc. El único planeta identificado hasta ahora, denotado por la letra b, orbita con un periodo de 4,23 días a 0,05 unidades astronómicas, y su temperatura estimada sería de unos 1 300 K. El valor del parámetro K, la semiamplitud de la velocidad, es 55,65 m/s y la masa derivada es de  $M \sin i = 0,47 \pm 0,02$  masas de Júpiter (ver la curva de velocidad radial, en fase, Figura 2). Estas características representaron en su momento una auténtica sorpresa respecto a

las expectativas de otras búsquedas que habían utilizado el Sistema Solar como referencia y que requerían mayores precisiones debido a que las amplitudes deberían ser mucho menores y las cadencias requeridas para tomar datos mucho más espaciadas.

Tras este descubrimiento, los dos astrónomos han estado involucrados en otros desarrollos instrumentales. El más importante hasta la fecha ha sido el espectrógrafo HARPS, instalado en el telescopio de 3,6 m de La Silla, en Chile, con precisiones por debajo de 1 m/s y que desde su comisionado en el 2003 ha permitido descubrir más de 400 planetas, algunos de gran importancia astrobiológica por encontrarse en la zona de habitabilidad y/o por tener características similares a la Tierra [15, 16].

#### Implicaciones: la diversidad exoplanetaria

El trabajo iniciado por Mayor y Queloz, y los resultados posteriores de sus grupos de investigación, junto con los de otros, han permitido establecer que existe una extraordinaria diversidad de planetas, en muchos casos no representados en el Sistema Solar.

Existen múltiples técnicas para descubrir y estudiar planetas fuera del Sistema Solar, como claramente ilustra la Figura 3 [17]. Hasta la fecha, se ha confirmado la existencia de 4 122 planetas alrededor de 3 063 estrellas. De ellos, 862 por el método de la velocidad radial<sup>2</sup>. La combinación de las distintas técnicas, pero esencialmente en estrellas que presentan tránsitos planetarios y curvas de velocidad radial, y que por tanto tienen determinadas sus masas y sus radios, ha permitido agruparlos en distintas poblaciones, dependiendo de las masas y las composiciones: gigantes de gas (fundamentalmente hidrógeno y helio) o de hielos

**Fig. 4.** Masa del planeta frente al semieje mayor de la órbita (izquierda) y el radio planetario (derecha). *Grosso modo*, se pueden distinguir tres grandes grupos: planetas caliente y masivos, gigantes de hielo y gas, y súper-tierras y mini neptunos. Nuestras técnicas de detección siguen conteniendo sesgos observacionales que hacen que la caracterización de planetas rocosos sea muy difícil. Crédito: exoplanets.eu

<sup>2</sup> The Extrasolar Planets Encyclopaedia [en línea], <<http://exoplanet.eu/>> [consulta: 19 de octubre de 2019].



**Fig. 5.** Michel Mayor, entre Víctor Parro, director del Centro de Astrobiología, y el autor, durante una visita al instituto el día después de anunciarse el Nobel de Física 2019. Crédito P. Sánchez Narrillos.

(de agua, metano o amoníaco), jovianos calientes por estar cerca de la estrella, minineptunos, superterras y planetas rocosos (Figura 4).

Nuestras capacidades técnicas han dado un paso más allá y mediante la obtención de espectroscopía precisa durante los tránsitos primarios y secundarios es posible incluso estudiar las características de las atmósferas [18]. La llegada de nueva instrumentación en órbita, como el satélite Cheops, de la Agencia Espacial Europea, que tiene como responsable científico de la misión a Queloz y cuyo lanzamiento está previsto para diciembre, y del nuevo telescopio espacial James Webb Space Telescope (en 2021), permitirá seguir expandiendo nuestro horizonte. El objetivo final es la detección remota de actividad biológica, algo que se espera que pudiera ocurrir en las próximas décadas.

### El lado humano de la investigación

La investigación, como cualquier actividad humana, tiene también una componente subjetiva. La Astrofísica comienza a dar los primeros pasos en la senda iniciada por la Física de partículas mediante el uso de grandes instalaciones por parte de grandes consorcios. Michael Mayor, por su extraordinario carácter y carisma, y Queloz, con un gran liderazgo, han sido y continuarán siendo piezas fundamentales en la disciplina de los estudios exoplanetarios, impulsando ambiciosas iniciativas y grandes colaboraciones. La comunidad, por tanto, se felicita de este merecido reconocimiento a dos científicos que inspira a nuevas generaciones de investigadores.

### Referencias

- [1] SIMPLICIO, *Fis.* 1121, 5: Diels-Kranz, fragmento A17, traducción de J. M. Fernández Cepedal, "Los filósofos presocráticos", *Cursos del Proyecto Filosofía en español*, (2000) [en línea] <<http://www.biblioteca.org.ar/libros/fe/index-8.htm>> [consulta: 20 octubre 2019].
- [2] K. A. STRAND, "The astrometric study of unseen companions in double stars", *Astronomical Journal* **51**, 12 (1944).
- [3] P. VAN DE KAMP, "Alternate dynamical analysis of Barnard's star", *Astronomical Journal* **74**: 757-759 (1969).

- [4] O. STRUVE, "Proposal for a project of high-precision stellar radial velocity work", *The Observatory* **72**, 199-200 (1952).
- [5] B. CAMPBELL, G. A. H. WALKER y S. YANG, "A search for substellar companions to solar-type stars", *Astrophysical Journal* **331**: 902 (1988).
- [6] A. P. HATZES, W. D. COCHRAN, M. ENDL, *et al.*, "A Planetary Companion to Gamma Cephei A", *Astrophysical Journal* **599** (2), 1383-1394 (2003).
- [7] S. REFFERT y A. QUIRRENBACH, "Mass constraints on substellar companion candidates from the re-reduced Hipparcos intermediate astrometric data: Nine confirmed planets and two confirmed brown dwarfs", *Astronomy & Astrophysics* **527**, a140 (2011).
- [8] D. W. LATHAM, T. MAZEH, R. P. STEFANIK, M. MAYOR y G. BURKI, "The unseen companion of HD114762: a probable brown dwarf", *Nature* **339**, 38-40 (1989)
- [9] F. KIEVER, "Determining the mass of the planetary candidate HD 114762 b using Gaia", *Astronomy & Astrophysics* (enviado), arXiv:1910.07835 (2019)
- [10] A. WOLSZCZAN, D. FRAIL, "A planetary system around the millisecond pulsar PSR1257 + 12", *Nature* **355** (6356), 145-147 (1992).
- [11] A. BARANNE, M. MAYOR, J. L. PONCET, "CORAVEL-a new tool for radial velocity measurements", *Vistas in Astronomy* **23**, 279-316 (1979).
- [12] A. DUQUENNOY, M. MAYOR, "Multiplicity among solar-type stars in the solar neighbourhood. II. Distribution of the orbital elements in an unbiased sample", *Astronomy & Astrophysics* **248**, 485-524 (1991).
- [13] A. BARANNE, D. QUELOZ, M. MAYOR *et al.*, "ELODIE: A spectrograph for accurate radial velocity measurements", *Astronomy & Astrophysics Supplement Series* **119** (2), 373-390 (1996).
- [14] M. MAYOR, D. QUELOZ, "A Jupiter-mass companion to a solar-type star", *Nature* **378** (6555): 355-359, (1995).
- [15] D. QUELOZ, M. MAYOR, *et al.*, "From CORALIE to HARPS. The way towards 1 m s<sup>-1</sup> precision Doppler measurements", *The Messenger* **105**, 1-7 (2001).
- [16] M. MAYOR, X. BONFILS, X., T. FORVEILLE *et al.*, "The HARPS search for southern extra-solar planets, XVIII. An Earth-mass planet in the GJ 581 planetary system", *Astronomy and Astrophysics* **507** (1), 487 (2009).
- [17] M. PERRYMAN, *The Exoplanet Handbook* (Cambridge University Press, 2.<sup>a</sup> ed., 2011, 2018).
- [18] D. BARRADO y M. MAS-HESSE, "PLATO, JWST and precursors: search and characterization of terrestrial exoplanets", *Astrobiology* (enviado).

**David Barrado Navascués**  
Profesor de Investigación de OPI  
Director científico  
Unidad María de Maeztu Centro de  
Astrobiología (CSIC-INTA)

