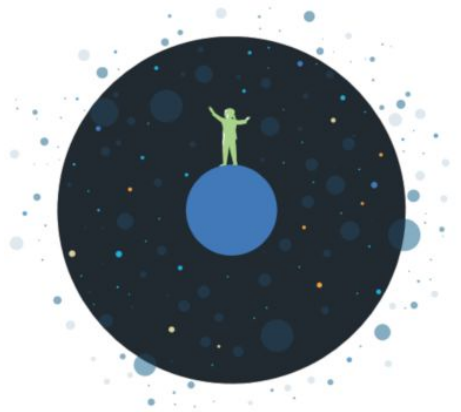


Nuevas perspectivas sobre nuestro lugar en el universo

El Premio Nobel de Física 2019 premia la nueva comprensión de la estructura y la historia del universo y el descubrimiento del primer planeta orbitando alrededor de una estrella fuera de nuestro sistema solar. Los laureados este año han contribuido a contestar cuestiones fundamentales acerca de nuestra existencia. ¿Qué sucedió al principio del universo y que sucederá después? ¿Podría haber otros planetas orbitando alrededor de otros soles?

James Peebles se enfrentó al cosmos a sus miles de millones de galaxias y cúmulos. Su teoría, que desarrolló durante dos décadas (comenzó a mediados de los años sesenta), es el fundamento de la moderna comprensión de la historia del universo, desde el Big Bang hasta nuestros días. Los descubrimientos de Peebles han conducido al conocimiento del cosmos, en el cual la materia ordinaria constituye solo un cinco por ciento de toda la materia y energía del universo. El restante noventa y cinco por ciento es desconocido para nosotros. Un misterio y un desafío para la física moderna.

Michael Mayor y Didier Queloz han explorado nuestra galaxia, la Vía Láctea, en busca de mundos desconocidos. En 1995 descubrieron el primer planeta fuera de nuestro sistema solar, un exoplaneta, orbitando alrededor de una estrella similar al Sol. Su descubrimiento desafió nuestras ideas sobre esos extraños mundos e inició una revolución en astronomía. Los más de 4000 exoplanetas conocidos actualmente muestran una enorme variedad de formas, ya que la mayoría de estos sistemas planetarios no se parecen en nada al nuestro. Estos descubrimientos han llevado a los investigadores a desarrollar nuevas teorías sobre los procesos responsables del nacimiento de los planetas.



Comienza la cosmología del Big Bang

Las últimas cinco décadas han sido una edad dorada para la cosmología, el estudio del origen y la evolución del universo. En la década de 1960 se sentaron las bases que llevarían la cosmología de la especulación a la ciencia. La persona clave en esta transición fue **James Peebles**, cuyos decisivos descubrimientos asentaron a la cosmología firmemente en el mapa científico. Su primer libro, *Cosmología Física* (1971), inspiró a toda una nueva generación de físicos, no solo a través de consideraciones teóricas, sino también con observaciones y mediciones. La ciencia respondería a las preguntas eternas de dónde venimos y hacia dónde vamos; la cosmología fue liberada de conceptos humanos como la fe y el sentido. El eco de las palabras de Albert Einstein, a principios del siglo pasado, “*lo más misterioso del mundo es que es comprensible*”, vuelven a resonar en nuestros oídos.

La historia del universo, una narración científica de la evolución del cosmos, solo se conoce desde hace cien años. Antes el universo había sido considerado estacionario y eterno, pero en la década de 1920 los astrónomos descubrieron que todas las galaxias se alejan unas de otras y de nosotros. El universo se está expandiendo. Ahora sabemos que el universo de hoy es diferente al de ayer y al de mañana.

Lo que los astrónomos observaron ya había sido predicho por la teoría general de la relatividad de Albert Einstein en 1916, que ahora es la base de todos los cálculos a gran escala sobre el universo. Cuando Einstein descubrió que la teoría llevaba a la conclusión de que el espacio se está expandiendo, introdujo una constante en sus ecuaciones (la constante cosmológica) que contrarrestaría los efectos de la gravedad haciendo que el universo fuera estático. Más de una década después, una vez que se observó la expansión del universo, esta constante ya no era necesaria. Einstein consideró la introducción de la constante cosmológica como el mayor error de su vida. No podía sospechar que la constante cosmológica volvería a la cosmología en la década de 1980, sobre todo gracias a las contribuciones de James Peebles.

Los primeros rayos del universo revelan todo

Un universo en expansión implica que alguna vez fue mucho más denso y caliente. A mediados del siglo XX al inicio del universo se le denominó el **Big Bang**. Nadie sabe lo que realmente sucedió al principio, pero el universo primitivo estaba lleno de una sopa compacta de partículas, caliente y opaca en la que las partículas de luz, los fotones, chocaban unos con otros.

La expansión duró casi 400 000 años, enfriando esta sopa primordial hasta unos pocos de miles de grados Celsius. Así las partículas primordiales pudieron combinarse formando un gas que contenía, fundamentalmente, átomos de hidrógeno y helio. Los fotones pudieron entonces comenzar a moverse libremente y la luz pudo viajar a través del espacio. Estos primeros rayos todavía llenan el cosmos en el rango de las microondas con una longitud de onda de unos pocos milímetros.

El resplandor del nacimiento del universo fue capturado por primera vez en 1964, por casualidad, por dos radioastrónomos estadounidenses: los galardonados con el Premio Nobel de 1978 Arno Penzias y Robert Wilson. Incapaces de eliminar el constante "ruido" que su antena captaba en todas las direcciones del espacio, buscaron una explicación en el trabajo de otros investigadores, incluido James Peebles, que habían realizado cálculos teóricos sobre esta omnipresente radiación de fondo. Después de casi 14 000 millones de años, su temperatura habría caído hasta cerca del cero absoluto ($-273\text{ }^{\circ}\text{C}$). El gran avance se produjo cuando Peebles se dio cuenta de que la temperatura de la radiación podía proporcionar información sobre cuánta materia se creó en el Big Bang y comprendió que la liberación de esta luz desempeñó un papel decisivo en cómo la materia podría agruparse para formar las galaxias y los cúmulos de galaxias que ahora vemos en el espacio.

El descubrimiento de la radiación de microondas marcó el comienzo de la nueva era de la cosmología moderna. La antigua radiación del inicio del universo se ha convertido en una auténtica mina que contiene las respuestas a casi todo lo que los cosmólogos quieren saber. ¿Cuántos años tiene el universo? ¿Cuál es su destino? ¿Cuánta materia y energía existen?

Los científicos pueden encontrar rastros de los primeros momentos del universo en este frío rescoldo, pequeñas variaciones que se propagan como ondas de sonido a través de esa sopa primitiva primitiva. Sin estas pequeñas variaciones, el cosmos habría pasado de ser una bola caliente de fuego a un vacío frío y uniforme. Sabemos que esto no sucedió, que el espacio está lleno de galaxias, a menudo reunidas en cúmulos de galaxias. La radiación de fondo es regular de la misma manera que la superficie del océano es lisa; las ondulaciones son visibles si se observan desde más cerca, ondas que revelan las variaciones en el universo primitivo.

El primer gran avance de observación se produjo en abril de 1992, cuando los investigadores principales del proyecto estadounidense COBE presentaron una imagen de los primeros rayos de luz en el universo (Premio Nobel de Física 2006 a John Mather y George Smoot). Otros satélites, el WMAP estadounidense y el Planck europeo, refinaron gradualmente este retrato del universo primitivo. Tal y como se predijo la temperatura de la radiación de fondo presentaba variaciones de una centésima de grado. Cuando se aumentó la precisión, los cálculos teóricos de la materia y la energía contenida en el universo se confirmaron. La mayor parte, el 95 por ciento, es invisible para nosotros.

Materia oscura y energía oscura: los mayores misterios de la cosmología

Desde la década de 1930, hemos sabido que todo lo que podemos ver no es todo lo que hay. Las mediciones de las velocidades de rotación de las galaxias indicaron que deben ser mantenidas juntas por la gravedad de materia invisible, de lo contrario se desintegrarían. También se pensó que esta materia oscura desempeñaba un papel importante en el origen de las galaxias, mucho antes de que la sopa primordial dejara escapar a los fotones.

La composición de la materia oscura sigue siendo uno de los mayores misterios de la cosmología. Los científicos creyeron durante mucho tiempo que los neutrinos podrían constituir esta materia oscura, pero los numerosísimos neutrinos, prácticamente sin masa, que cruzan el espacio a casi la velocidad de la luz son demasiado rápidos para ayudar a mantener la materia unida. En cambio, en 1982, Peebles propuso que las partículas pesadas y lentas de materia oscura y fría podrían hacerlo. Todavía estamos buscando estas partículas desconocidas de materia oscura y fría, que evitan interactuar con la materia ya conocida y que representan el 26 por ciento del cosmos.

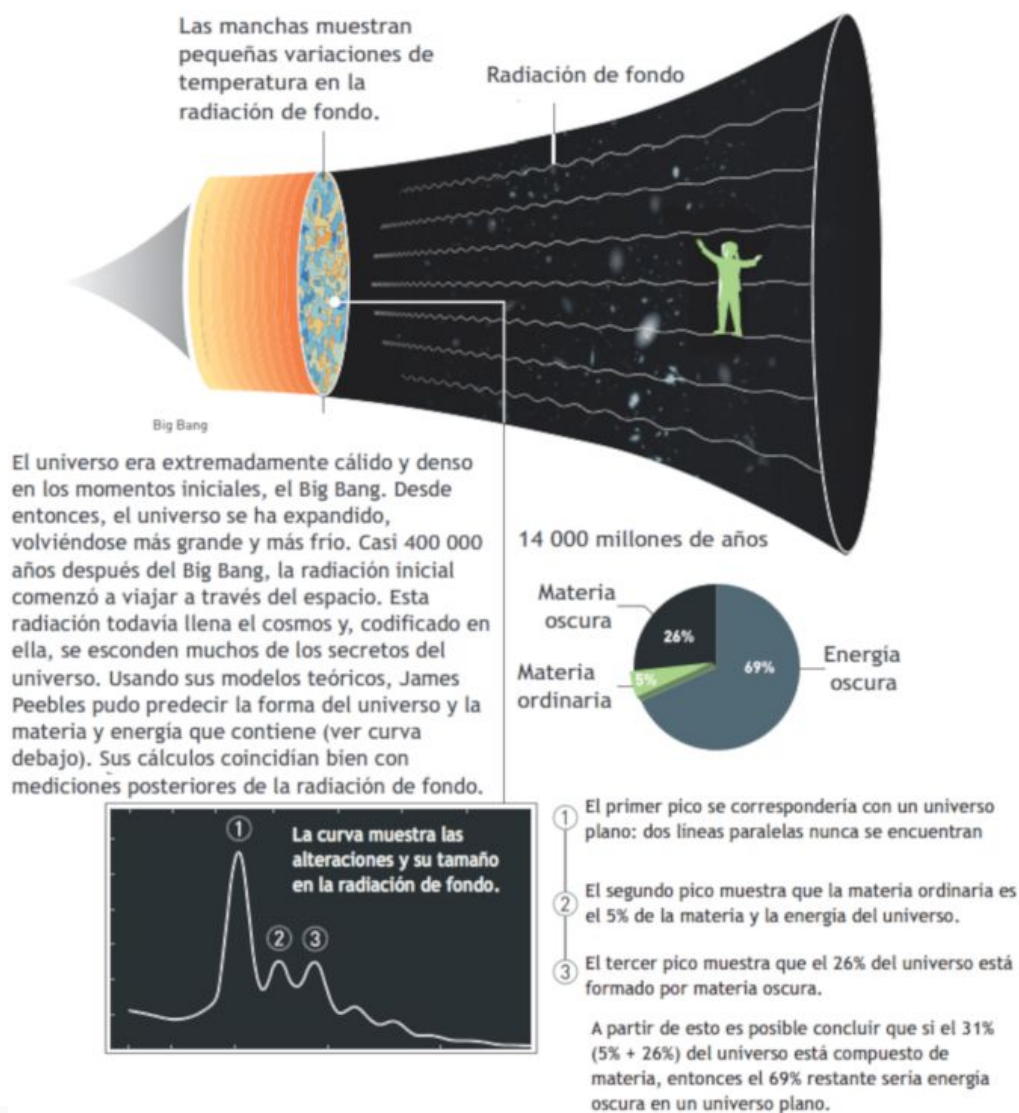
De acuerdo con la teoría general de la relatividad de Einstein la geometría del espacio está interconectada con la gravedad: cuanto más masa y energía contiene el universo, más curvo se vuelve el espacio. A un valor crítico de masa y energía, el universo no se curva. En este universo plano, dos líneas paralelas nunca se cruzarán. Otras opciones son un universo con muy poca materia, que conduce a un universo abierto en el que las líneas paralelas eventualmente divergen, o un universo cerrado, con demasiada materia, en el que las líneas paralelas finalmente se cruzan.

Las mediciones de la radiación de fondo, así como consideraciones teóricas, proporcionaron una respuesta clara: el universo es plano. Sin embargo, la materia que contiene es solo el 31 por ciento del valor crítico. De ese 31%, el 5 por ciento es materia ordinaria y el 26 por ciento es materia oscura. La mayor parte, el 69 %, era desconocido. Una vez más, James Peebles, proporcionó una solución original. En 1984 contribuyó a

revivir la constante cosmológica de Einstein, la energía del espacio vacío. La denominada energía oscura que constituye el 69% del cosmos. Junto con la materia oscura fría y la materia ordinaria, es suficiente para apoyar la idea de un universo plano.

La energía oscura siguió siendo solo una teoría durante 14 años, hasta que se descubrió la expansión acelerada del universo en 1998 (Premio Nobel de Física 2011 a Saul Perlmutter, Brian Schmidt y Adam Riess). Algo más que la materia debe ser responsable de la expansión cada vez más rápida: una energía oscura, desconocida, lo está empujando. De repente, este apéndice teórico se convirtió en una realidad que se podía observar en los cielos.

Tanto la materia oscura como la energía oscura se encuentran ahora entre los mayores misterios de la cosmología. Solo se pueden intuir a través del impacto que tienen en su entorno: una tira, la otra empuja. No se sabe mucho más de sobre ellas. ¿Qué secretos se esconden en este lado oscuro del universo? ¿Qué nueva física se esconde detrás de lo desconocido? ¿Qué más descubriremos en nuestros intentos de resolver los misterios del espacio?



El primer planeta en órbita alrededor de otro sol

La mayoría de los cosmólogos están ahora de acuerdo en que el modelo del Big Bang es la mejor teoría sobre el origen y el desarrollo del cosmos, a pesar de que solo conocemos el cinco por ciento de su materia y energía. Esta pequeña porción de materia se agrupó para hacer todo lo que vemos a nuestro alrededor: estrellas, planetas, árboles y flores, y también humanos. ¿Estamos solos mirando el cosmos? ¿Hay vida en algún otro lugar del espacio, en un planeta que orbita otro sol? Nadie lo sabe, pero ahora sabemos que nuestro Sol no es la única estrella que tiene planetas, y que la mayoría de los cientos de miles de millones

de estrellas en la Vía Láctea también deberían tener planetas. Conocemos en la actualidad más de 4000 exoplanetas. Se han descubierto nuevos y extraños mundos, ninguno como nuestro propio sistema planetario. El primero fue tan peculiar que casi nadie creía que fuera cierto; el planeta era demasiado grande para estar tan cerca de su estrella anfitriona.

Michel Mayor y Didier Queloz anunciaron su sensacional descubrimiento en una conferencia en Florencia, Italia, el 6 de octubre de 1995. El descubrimiento del primer planeta en orbitar una estrella similar a nuestro Sol. El planeta, **51 Pegasi b**, se mueve rápidamente alrededor de su estrella, 51 Pegasi, que está a 50 años luz de la Tierra. Tarda cuatro días en completar su órbita, lo que significa que su órbita está próxima a la estrella, a solo ocho millones de kilómetros. La estrella calienta el planeta a más de 1000 °C. En comparación la Tierra tarda un año en describir su órbita alrededor del Sol a una distancia de 150 millones de kilómetros.

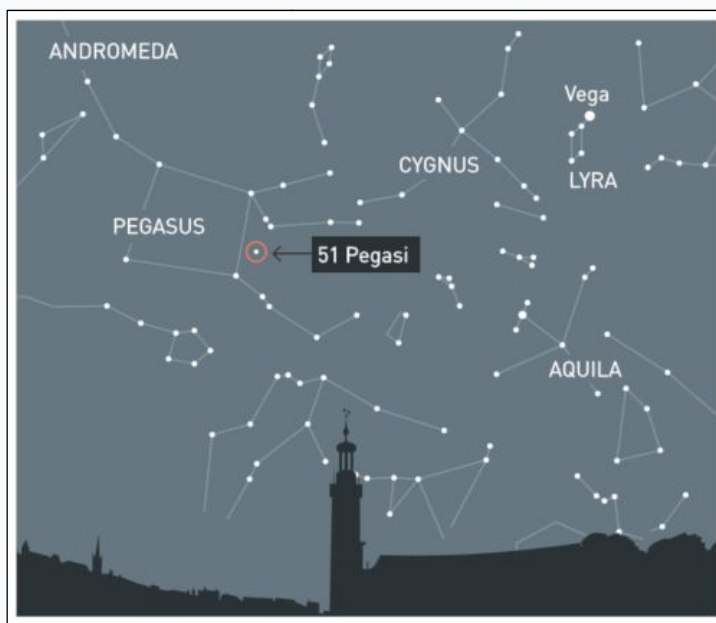
El planeta recién descubierto también resultó ser sorprendentemente grande: una bola gaseosa comparable al gigante de gas del sistema solar, Júpiter. En comparación con la Tierra, el volumen de Júpiter es 1300 veces mayor y su masa, 300 veces superior. De acuerdo con ideas anteriores, los planetas del tamaño de Júpiter deberían haberse creado lejos de sus estrellas anfitrionas y, en consecuencia, tener periodos orbitales grandes, por lo que el breve período orbital de 51 Pegasi b fue una gran sorpresa para los cazadores de exoplanetas.

Casi inmediatamente después de este descubrimiento, dos astrónomos estadounidenses, Paul Butler y Geoffrey Marcy, enfocaron su telescopio hacia la estrella 51 Pegasi y pudieron confirmar el revolucionario descubrimiento de Mayor y Queloz. Solo unos meses después encontraron dos nuevos exoplanetas que orbitaban alrededor de estrellas. Sus cortos periodos orbitales facilitaron el trabajo de los astrónomos que no necesitaban esperar meses o años para ver un exoplaneta completar su órbita. Ahora podían ver a los planetas dar una vuelta tras otra.

Cielo estrellado sobre Estocolmo en octubre.

El primer planeta orbitando una estrella de tipo solar que se encuentra fuera de nuestro sistema solar se localiza en la constelación de Pegaso. Orbita una estrella llamada 51 Pegasi que solo es visible a simple vista en cielos muy oscuros.

Sin embargo, las cuatro estrellas que forman el cuadrado de Pegaso son fáciles de identificar.



¿Por qué orbitaba tan cerca de la estrella? La pregunta desafió la teoría existente sobre los orígenes de los sistemas planetarios y condujo a nuevas teorías que consideraban la formación de grandes bolas de gas en los límites de estos sistemas solares para luego caer en espiral hacia la estrella anfitriona.

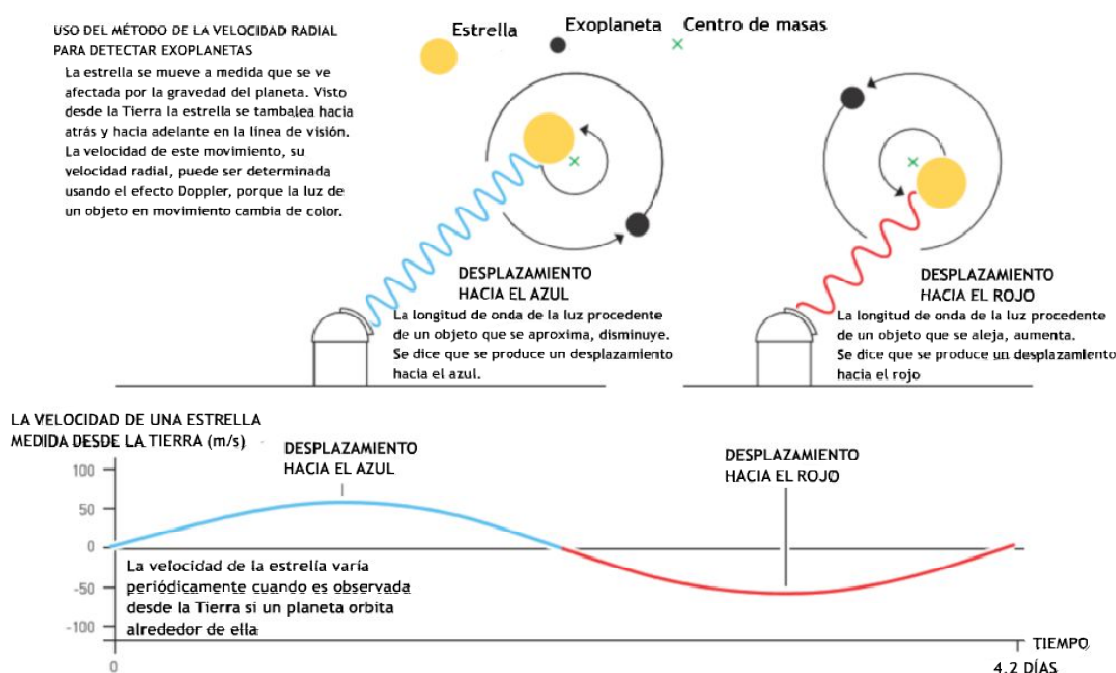
El refinamiento de los métodos condujo al descubrimiento

Se necesitan métodos sofisticados para rastrear un exoplaneta: los planetas no tienen brillo propio, simplemente reflejan la luz de las estrellas, tan débilmente, que su brillo es eclipsado por la brillante luz de la estrella anfitriona. El método utilizado por los grupos de investigación para encontrar un planeta se llama **método de velocidad radial**; mide el movimiento de la estrella anfitriona y su afectación por la gravedad del planeta. A medida que el planeta orbita alrededor de su estrella, la estrella también se mueve ligeramente. Ambos se mueven alrededor del centro de gravedad del sistema. Desde el punto de observación en la Tierra la estrella se tambalea hacia adelante y hacia atrás según la línea de visión.

La velocidad de este movimiento, la velocidad radial, se puede medir utilizando el conocido efecto Doppler: los rayos de luz de un objeto que se mueve hacia nosotros muestran una contracción de su longitud de onda (se desplazaban hacia el azul), y si el objeto se aleja de nosotros la longitud de onda es mayor (se desplaza hacia el rojo). Este es el mismo efecto que percibimos cuando el sonido de una ambulancia aumenta su tono (frecuencia) mientras se mueve hacia nosotros y disminuye el tono cuando ha pasado.

El efecto del planeta cambia alternativamente el color de la luz de la estrella hacia el azul o el rojo; estas alteraciones en la longitud de onda de la luz son detectadas por los instrumentos de los astrónomos. Los cambios en el color se pueden determinar con precisión midiendo la longitud de onda de la luz proveniente de la estrella, proporcionando una medida directa de su velocidad.

El problema es que las velocidades radiales son extremadamente bajas. Por ejemplo, la gravedad de Júpiter hace que el Sol se mueva a unos 12 m/s alrededor del centro de gravedad del sistema solar. La Tierra, sin embargo, contribuye con solo 0,09 m/s, lo que impone grandes exigencias a la sensibilidad del equipo si se quieren descubrir planetas similares a la Tierra. Para aumentar la precisión los astrónomos miden varios miles de longitudes de onda simultáneamente. La luz se divide en varias longitudes de onda utilizando un espectrógrafo, aparato esencial para estas mediciones.



A principios de la década de 1990, cuando Didier Queloz comenzó su carrera investigadora en la Universidad de Ginebra, Michel Mayor ya había pasado muchos años estudiando el movimiento de las estrellas, construyendo sus propios instrumentos de medición con la ayuda de otros investigadores. En 1977, Mayor pudo montar su primer espectrógrafo en un telescopio en el Observatorio de Alta Provenza, 100 km al noroeste de Marsella. Esto permitió detectar un límite inferior de velocidades de alrededor de 300 m/s, pero todavía era demasiado alto para ver un planeta tirando de su estrella.

Junto con el grupo de investigación, se le pidió al estudiante de doctorado Didier Queloz que desarrollara nuevos métodos para mediciones más precisas. Utilizaron numerosas tecnologías nuevas que permitieron observar rápidamente muchas estrellas y analizar los resultados in situ. Las fibras ópticas podían llevar la luz de las estrellas al espectrógrafo sin distorsión, y mejores sensores de imagen digital, CCDs, aumentaron la sensibilidad a la luz (Premio Nobel de Física 2009 a Charles Kao, Willard Boyle y George Smith). Computadoras más potentes permitieron a los científicos desarrollar software a medida para el procesamiento de datos e imágenes digitales.

Cuando el nuevo espectrógrafo se terminó en la primavera de 1994, el rango de velocidad que se podía detectar se redujo a 10-15 m/s y el primer descubrimiento de un exoplaneta estaba cada vez más próximo. En ese momento la búsqueda de exoplanetas no era parte de la astronomía convencional, pero Mayor y Queloz habían decidido anunciar su descubrimiento. Pasaron varios meses refinando sus resultados y, en octubre de 1995, estaban listos para presentar su primer planeta al mundo.

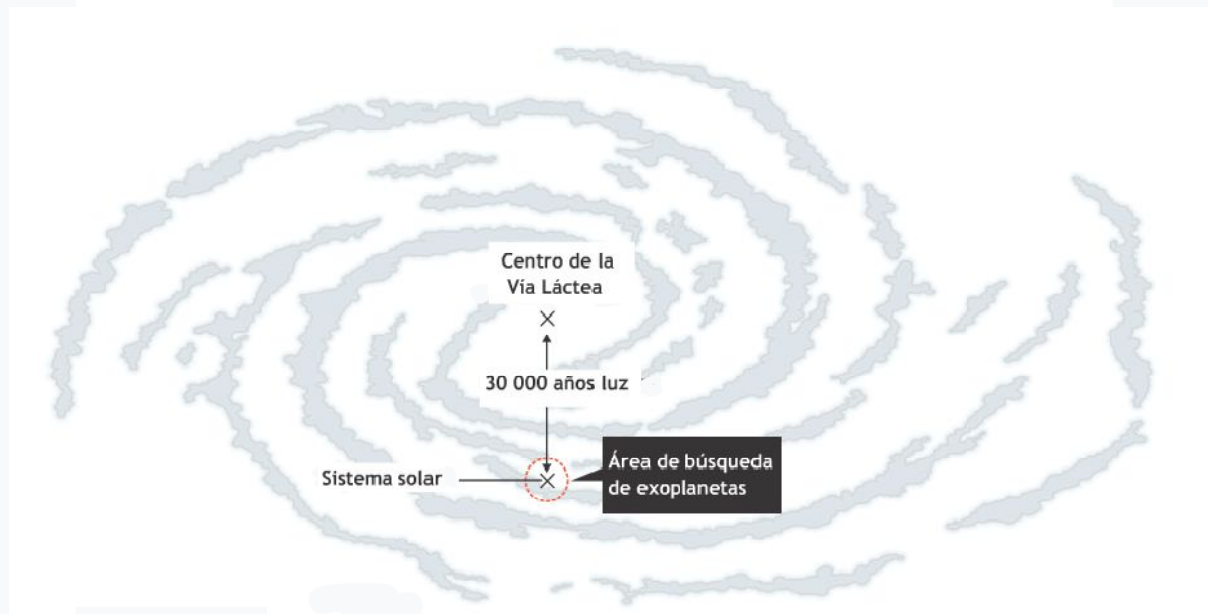
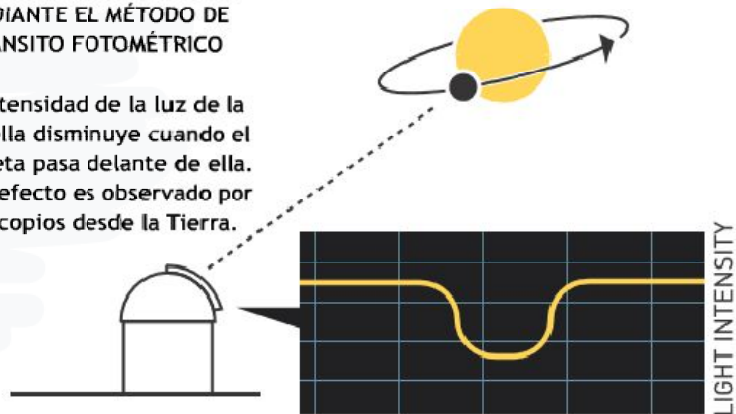
Una multitud de mundos es revelada

El primer descubrimiento de un exoplaneta orbitando una estrella inició una revolución en astronomía. Desde entonces, miles de nuevos mundos desconocidos han sido revelados. Los nuevos sistemas planetarios no solo están siendo descubiertos por telescopios en la Tierra, sino también desde satélites. TESS, un telescopio espacial estadounidense, actualmente está escaneando más de 200 000 de las estrellas próximas a nosotros, buscando planetas similares a la Tierra. Anteriormente, el telescopio espacial Kepler nos había recompensado generosamente, encontrando más de 2300 exoplanetas.

Junto con las variaciones en la velocidad radial **la fotometría de tránsito** se usa cuando se buscan exoplanetas. Este método mide los cambios en la intensidad de la luz de la estrella cuando un planeta pasa frente a ella, si esto sucede en nuestra línea de visión. La fotometría de tránsito también permite a los astrónomos observar la atmósfera del exoplaneta a medida que la luz de la estrella la atraviesa en su camino hacia la Tierra. A veces se pueden usar ambos métodos; la fotometría de tránsito proporciona el tamaño del exoplaneta, mientras que su masa se puede determinar utilizando el método de velocidad radial. Entonces es posible calcular la densidad del exoplaneta y así determinar su estructura.

ENCONTRANDO PLANETAS MEDIANTE EL MÉTODO DE TRÁNSITO FOTOMÉTRICO

La intensidad de la luz de la estrella disminuye cuando el planeta pasa delante de ella. Este efecto es observado por telescopios desde la Tierra.



El Sol es una de varios cientos de millones de estrellas en nuestra galaxia, la Vía Láctea, y debería de haber planetas orbitando la mayoría de esas estrellas. Hasta ahora los astrónomos han descubierto más de 4000 planetas alrededor de otras estrellas y continúan su búsqueda en el área del espacio más cercana a nosotros.

Los exoplanetas descubiertos hasta ahora nos han sorprendido con una asombrosa variedad de formas, tamaños y órbitas. Han desafiado nuestras ideas preconcebidas sobre los sistemas planetarios y han obligado a los investigadores a revisar sus teorías sobre los procesos físicos responsables del nacimiento de los planetas. Los numerosos proyectos concebidos para buscar exoplanetas, pueden darnos una respuesta a la eterna pregunta de si hay otra vida ahí fuera.

Los galardonados de este año han transformado nuestras ideas sobre el cosmos. Si bien los descubrimientos teóricos de **James Peebles** contribuyeron a nuestra comprensión de cómo evolucionó el universo después del Big Bang, **Michel Mayor y Didier Queloz** exploraron nuestros vecindarios cósmicos en la búsqueda de planetas desconocidos. Sus descubrimientos han cambiado para siempre nuestras concepciones del mundo.

LECTURAS ADICIONALES

Información adicional sobre los premios de este año, está disponible en el sitio web de la Real Academia de Ciencias de Suecia, www.kva.se, y en www.nobelprize.org, donde puede ver videos de las conferencias de prensa, las conferencias Nobel y más. La información sobre exposiciones y actividades relacionadas con los Premios Nobel y el Premio de Ciencias Económicas está disponible en www.nobelprizemuseum.se

La Real Academia Sueca de Ciencias ha decidido conceder el Premio Nobel de Física 2019

“Por la contribución a nuestro conocimiento de la evolución del universo y al lugar de la Tierra en el cosmos”

la mitad del premio a	y la otra mitad, conjuntamente a	
JAMES PEEBLES	MICHEL MAYOR	DIDIER QUELOZ
Born 1935 in Winnipeg, Canada. Ph.D. 1962 from Princeton University, USA. Albert Einstein. Professor of Science at Princeton University, USA.	Born 1942 in Lausanne, Switzerland. Ph.D. 1971 from University of Geneva, Switzerland. Professor at University of Geneva, Switzerland.	Born 1966. Ph.D. 1995 from University of Geneva, Switzerland. Professor at University of Geneva, Switzerland and University of Cambridge, UK.
“por los descubrimientos teóricos en cosmología “	“por el descubrimiento de un exoplaneta orbitando alrededor de una estrella”	