DIÁLOGOS CON DIDIER QUELOZ

Didier Queloz, Gemma Domènech i Joan Miquel González



Esta mañana contamos con un Premio Nobel, Didier Queloz, y con dos jóvenes astrónomos: Gemma Domènech i Joan Miquel González, que le harán las preguntas que todos vosotros nos habéis enviado.

¿Cuándo empezó a trabajar con Michel Mayor? ¿qué problema intentabais resolver inicialmente? ¿Y qué fue lo que le atrajo personalmente de esa línea de investigación? En aquella etapa, ¿imaginabas que detectar un planeta alrededor de una estrella similar al Sol estaba a vuestro alcance?

Empecé a estudiar Física porque, en realidad, no sabía muy bien qué quería hacer. Era una persona muy curiosa, interesada en muchas cosas, y pensé que la física, más que una profesión, era una forma de adquirir cultura científica y comprender el Universo y sus leyes. Durante mis estudios descubrí que tenía facilidad para aprender, pero nunca fui de esas personas que desde pequeñas saben exactamente a qué quieren dedicarse. De hecho, sigo teniendo el mismo problema: me interesan demasiadas cosas.

Al terminar mis estudios, conocí a Michel Mayor, que tenía un proyecto que me pareció especialmente atractivo: desarrollar un nuevo espectrógrafo y todo el software necesario para analizar sus datos. Me gustó tanto el proyecto como la personalidad de Michel. No era el típico

profesor que impartía clases muy estructuradas, sino que enseñaba de una manera apasionada, intensa y llena de ideas. Me sentía muy cómodo trabajando con él.

Además, siempre me había gustado construir y reparar cosas, de modo que tenía claro que quería dedicarme a la parte instrumental de la física. Estuve a punto de entrar en el campo de la física de partículas. De hecho, trabajé durante tres meses en Ginebra construyendo componentes de un detector. Fue una experiencia magnífica, pero me di cuenta de que no quería pasar mi vida trabajando bajo tierra. Necesitaba estar al aire libre. En aquella época practicaba mucho montañismo y era profesor de esquí, así que la astronomía, con sus telescopios y observatorios de montaña, encajaba mucho mejor conmigo. Por eso decidí hacer el doctorado en astronomía.

Michel Mayor ya había desarrollado, unos veinte años antes, un instrumento llamado CORAVEL, diseñado para medir las velocidades radiales de las estrellas y estudiar sistemas binarios. Ahora quería construir un instrumento mucho más preciso, capaz de detectar objetos de menor masa.

Hay que situarse en el contexto de los años noventa. Una de las grandes preguntas de la astrofísica estelar era cuál podía ser la masa mínima de una estrella. Se sabía que, para iniciar las reacciones termonucleares del hidrógeno, era necesaria una masa de aproximadamente 80 veces la de Júpiter, algo menos del 8 % de la masa solar. Sin embargo, todavía se conocían muy pocos objetos por debajo de ese límite. Eran las llamadas enanas marrones, y Michel estaba interesado en buscarlas alrededor de otras estrellas.

Surgió entonces la oportunidad de desarrollar un nuevo instrumento para el Observatorio de Haute-Provence, aprovechando el tiempo de observación con Luna, cuando las condiciones no eran adecuadas para determinados programas de cosmología. Así comenzó nuestra colaboración.

Lo interesante es que al principio nunca pensamos en buscar planetas. Nuestro objetivo era construir un instrumento capaz de detectar objetos de poca masa alrededor de otras estrellas. Michel me dijo que creía posible alcanzar una precisión de unos 50 metros por segundo en las medidas de velocidad radial. Esa precisión todavía no era suficiente para detectar planetas como el que acabaríamos descubriendo, para lo cual necesitábamos acercarnos a los 10 metros por segundo.

Por mi parte, tenía otra gran pasión: los ordenadores. En aquella época la informática era muy diferente de la actual, y decidí desarrollar un programa completamente nuevo para procesar los datos del espectrógrafo. Michel pensaba que sería un trabajo de unos seis meses, pero acabé dedicándole tres años. Era un software muy complejo e innovador para su época.

Sin embargo, ese trabajo resultó decisivo. Gracias al nuevo software y a diversas mejoras que introdujimos en el instrumento durante las pruebas, junto con el equipo del observatorio, descubrimos que podíamos alcanzar una precisión de unos 10 metros por segundo. Fue entonces cuando Michel y yo nos dimos cuenta de que teníamos un instrumento capaz de detectar planetas extrasolares. Y así nació nuestro programa de búsqueda de exoplanetas.

Por tanto, todo surgió de una manera bastante inesperada. No empecé mi doctorado con la intención de descubrir planetas, sino porque había encontrado un proyecto apasionante y una persona con la que me encantaba trabajar.

Y ese es precisamente el consejo que siempre doy a los estudiantes que empiezan un doctorado: no os obsesionéis con los detalles del tema. Buscad un buen proyecto y, sobre todo, una buena persona con la que trabajar. Si encontráis ambas cosas, tendréis muchas posibilidades de que la experiencia sea un éxito.

Así que, en el ámbito de la física estelar, cuando vió por primera vez la señal de velocidad radial de 51 Pegasi, ¿qué le hizo tomarla en serio y cómo comprobó que se debía a un planeta y no a un efecto instrumental o a la actividad de la propia estrella?

Lo primero que hay que tener en cuenta es que, en aquel momento, todo era completamente nuevo. Acabábamos de desarrollar un instrumento basado en una tecnología que nadie había utilizado antes de aquella manera.

Nuestro espectrógrafo fue el primero de una nueva generación de instrumentos conocidos como *espectrógrafos estabilizados alimentados por fibra óptica*. Muchas de las ideas fundamentales que introdujimos entonces se han mantenido hasta nuestros días, aunque naturalmente se han perfeccionado. Incluso algunos elementos del software y del formato de los datos que desarrollé siguen utilizándose actualmente.

Por tanto, cuando empezamos a trabajar con el instrumento, no sabíamos exactamente cómo iba a comportarse. Teníamos algunas indicaciones obtenidas durante las pruebas, pero tanto el hardware como el software eran completamente nuevos. Y cuando se trabaja con una tecnología que nadie ha utilizado antes, hay que ser especialmente escéptico con los resultados. No puedes confiar ciegamente en lo que te dice una máquina que todavía no conoces bien.

Además, se produjo una circunstancia curiosa. Justo cuando estábamos preparados para comenzar el programa de observaciones, Michel Mayor decidió tomarse un año sabático en Hawái. Me dijo que aprovechara para poner en marcha el proyecto y disfrutar de la experiencia.

Para mí era una oportunidad fantástica. Estaba terminando el doctorado y quería obtener suficientes datos para demostrar que habíamos construido un instrumento extraordinario, capaz de detectar planetas extrasolares.

Sin embargo, en aquella época todos pensábamos en planetas parecidos a Júpiter, con períodos orbitales de varios años. Por tanto, estaba claro que necesitaríamos mucho tiempo para descubrir alguno. Recuerdo que Michel me dijo: «No vas a descubrir ningún planeta durante tu doctorado». Y yo le respondí que, naturalmente, lo sabía. Era prácticamente imposible, pero estaba encantado de poner en marcha el programa. Así que Michel se marchó a Hawái y yo empecé las observaciones.

Podéis imaginar mi preocupación cuando empecé a analizar los datos y descubrí que una de las estrellas se comportaba de una manera completamente inesperada. Se trataba de 51 Pegasi. Mientras que las medidas de otras estrellas parecían razonables, las de esta estrella mostraban unas variaciones de velocidad radial que no tenían ningún sentido. No había ninguna razón conocida para que se comportara de aquella manera.

Mi primera reacción fue pensar que algo funcionaba mal. Había dedicado tres años a desarrollar el software y una parte importante de mi doctorado a construir y poner a punto el instrumento. Y ahora parecía que todo aquel trabajo no servía para nada.

Me preocupé muchísimo. Pensaba que había cometido algún error y que debía encontrarlo. Lo peor es que no se lo conté a nadie, ni siquiera a Michel. Me daba vergüenza reconocer que el instrumento podía estar fallando. Consideraba que era mi responsabilidad y que debía resolver el problema por mi cuenta.

Durante semanas revisé el software, comprobé los procedimientos de análisis y comparé los resultados con los de otras estrellas. Pero no encontraba ningún fallo que pudiera explicar aquellas variaciones.

Finalmente decidí abordar el problema de otra manera. En lugar de seguir buscando errores, intenté encontrar una explicación física a los datos. Y lo primero que se hace cuando se observa una variación de este tipo es buscar una periodicidad.

Naturalmente, encontré varios períodos posibles. Quienes trabajáis con estrellas variables sabéis perfectamente lo que significa esto. Cuando se dispone de pocas observaciones, aparecen los llamados *alias*, períodos aparentes que pueden confundirse con el verdadero.

Creí haber encontrado un período y regresé al telescopio aproximadamente un mes después para comprobarlo. Pero las nuevas observaciones no coincidían con mis predicciones. Fue una gran decepción. Sin embargo, al analizar los datos descubrí que existía otro período posible. Volví a calcularlo y esperé a disponer de nuevas observaciones.

Así continué durante varios meses, en una especie de juego del gato y el ratón. Los primeros datos eran de septiembre de 1994 y no fue hasta marzo de 1995 cuando conseguí encontrar un período que realmente encajaba con todas las observaciones.

Fueron cinco meses de trabajo intenso, alternando momentos de esperanza y optimismo con otros de profunda frustración. Y todo ello sin hablar con nadie, porque seguía convencido de que el problema era mío. Pero en marzo finalmente obtuve una solución robusta. El período era consistente y había superado las comprobaciones relacionadas con los posibles alias.

Fue entonces cuando decidí hablar con Michel. Le envié un fax que decía: «Michel, creo que he encontrado un planeta». Su respuesta llegó al día siguiente y fue extraordinariamente breve: «Sí, quizá».

Años después, Michel explicó en una entrevista que, en realidad, no me había creído, pero que había querido ser amable conmigo. Esa era precisamente su manera de ser, y una de las razones por las que siempre he pensado que elegí a la persona adecuada para trabajar.

Cuando regresó, le mostré todos los resultados. Pasamos varios días revisando los datos, los cálculos y las comprobaciones que había realizado. Finalmente, Michel reconoció que no encontraba ningún error y que yo había hecho prácticamente todo lo que se podía hacer.

Pero entonces me explicó con detalle algo que yo no había tenido suficientemente en cuenta: las teorías de formación planetaria. Según los modelos aceptados en aquella época, el planeta que creíamos haber descubierto no podía existir. Y aquello era un problema enorme. Estábamos obteniendo un resultado que contradecía lo que se suponía que sabíamos sobre la formación y evolución de los sistemas planetarios.

Había, además, otra cuestión que nos preocupaba mucho. Al otro lado del Atlántico, un equipo de astrónomos estadounidenses, entre ellos Geoffrey Marcy, llevaba varios años desarrollando un programa parecido al nuestro. Conocíamos las estrellas que estaban observando y habíamos elegido deliberadamente otras diferentes para no duplicar esfuerzos.

Pero había algo que no encajaba. Si realmente existía un planeta que completaba una órbita en tan solo cuatro días, debía ser relativamente fácil detectarlo. Y si existía uno, probablemente habría otros.

Entonces, ¿por qué los estadounidenses, que llevaban más de dos años observando y disponían de muchos más datos que nosotros, no habían encontrado ninguno?

Solo veíamos dos posibilidades. La primera era que aquello no fuera un planeta y que nuestros colegas ya hubieran detectado fenómenos similares y descartado esa interpretación. La segunda era que realmente existieran estos planetas y que los estadounidenses estuvieran a punto de anunciar su descubrimiento. Podéis imaginar la tensión que vivíamos. Por un lado, temíamos equivocarnos. Por otro, nos preocupaba que alguien se adelantara.

Decidimos que no podíamos anunciar nada hasta estar completamente seguros. Había que examinar todas las explicaciones alternativas. Las variaciones de velocidad radial podían deberse a pulsaciones de la estrella, manchas estelares u otros fenómenos que modificaran las líneas espectrales. Era necesario descartar cada posibilidad.

Durante los meses siguientes desarrollé nuevas técnicas de análisis para comprobar si las variaciones observadas eran realmente compatibles con el movimiento orbital de un planeta.

Una de ellas fue el análisis de los bisectores de las líneas espectrales, que permite estudiar posibles cambios en sus perfiles. Si la estrella experimenta pulsaciones o presenta determinadas alteraciones superficiales, las líneas pueden deformarse. En cambio, el movimiento orbital provocado por un planeta produce un desplazamiento global de las líneas sin modificar necesariamente su forma.

En aquel momento desarrollamos y aplicamos estas técnicas para comprobar nuestro resultado. En el artículo que publicamos en *Nature* apenas pudimos dedicarles un pequeño apartado, y creo que muchos lectores no comprendieron su importancia. Más adelante tuve que publicar trabajos adicionales explicando por qué las variaciones no podían atribuirse a pulsaciones o manchas estelares.

También consultamos discretamente con algunos especialistas en formación planetaria. Les preguntábamos si era posible que existiera un planeta de aquellas características. Curiosamente, sus respuestas no fueron tan negativas como esperábamos. Algunos reconocían que las teorías de formación planetaria todavía tenían muchas incertidumbres y que, por tanto, no podía descartarse completamente aquella posibilidad. Naturalmente, nos preguntaban por qué estábamos tan interesados en el tema y si habíamos encontrado algo. Nosotros respondíamos que no, que simplemente queríamos conocer su opinión.

Mientras tanto, había un problema práctico: 51 Pegasi se encontraba demasiado cerca del Sol en el cielo y no podíamos continuar observándola hasta julio.

Michel y yo decidimos preparar un plan muy concreto. Teníamos todos los resultados y prácticamente podíamos escribir el artículo, pero acordamos mantener el descubrimiento en secreto hasta obtener una confirmación definitiva.

La idea era sencilla: utilizaríamos la órbita que había calculado para predecir exactamente qué velocidad radial debía tener la estrella en julio. Si las nuevas observaciones coincidían con aquellas predicciones, tendríamos una prueba mucho más sólida.

Cuando llegó julio, regresamos juntos al observatorio, esta vez acompañados de nuestras familias. Tengo que reconocer que todavía teníamos muchas dudas. Yo había revisado todo lo que podía revisar, pero seguía preguntándome si no habría cometido algún error en el software o pasado por alto algún detalle. Michel también era muy prudente. El resultado parecía tan extraño que costaba creerlo.

Pero entonces ocurrió algo extraordinario. La primera noche observamos 51 Pegasi y medimos su velocidad radial. El resultado coincidía con la predicción, con una diferencia de apenas cinco metros por segundo. La segunda noche volvimos a observarla. La velocidad había cambiado exactamente como esperábamos. La tercera noche, según nuestros cálculos, debía producirse una variación mucho mayor. Realizamos la observación y, una vez más, el resultado coincidió con la predicción.

Después de tres noches empezamos a emocionarnos de verdad. Pero éramos suizos y queríamos estar completamente seguros, así que decidimos esperar una cuarta noche. Y la cuarta observación volvió a coincidir perfectamente con lo previsto.

En aquel momento comprendimos que teníamos algo realmente importante entre manos. La teoría, los cálculos y las observaciones encajaban como en un libro de física. Pero también nos dimos cuenta de que ahora empezaba otro problema: teníamos que convencer a nuestros colegas de que aquello era realmente un planeta.

Aquella etapa fue mucho más dura de lo que había imaginado. Para mí fue una experiencia especialmente difícil. Habíamos trabajado muchísimo, revisado todos los resultados y comprobado que las predicciones se cumplían. Estábamos convencidos de que el descubrimiento era correcto. Sin embargo, cuando lo presentamos a la comunidad científica, encontramos una resistencia enorme.

Algunos colegas reaccionaron con entusiasmo. Incluso hubo quien nos dijo que, si el descubrimiento se confirmaba, algún día recibiríamos el Premio Nobel. Nosotros nos reíamos,

porque nos parecía una posibilidad completamente absurda. Pero otros astrónomos rechazaban nuestra interpretación. Nos decían que no podía ser un planeta, que debía tratarse de pulsaciones estelares, de algún fenómeno desconocido o de un error que no habíamos detectado.

Se publicaron trabajos proponiendo explicaciones alternativas. Cada vez que creíamos haber descartado todas las posibilidades, aparecía una nueva objeción. Afortunadamente, tuvimos un golpe de suerte. Justo cuando anunciamos el descubrimiento, Geoffrey Marcy y su equipo disponían de tiempo de observación en el telescopio y pudieron comprobar inmediatamente nuestros resultados.

Al principio, Marcy estaba convencido de que nos habíamos equivocado. Pero después de realizar sus propias observaciones comprobó que las variaciones de velocidad radial coincidían con nuestras predicciones. Nos envió un correo electrónico felicitándonos y confirmando que tanto el período orbital como las efemérides eran correctos.

Para mí fue un alivio enorme. Aquello demostraba que el instrumento funcionaba correctamente, que el software procesaba bien los datos y que las variaciones que habíamos medido eran reales.Sin embargo, todavía quedaba una cuestión fundamental: demostrar que aquellas variaciones estaban causadas realmente por un planeta. Y para que la comunidad científica aceptara plenamente esa interpretación tuvieron que pasar varios años.

Durante aproximadamente cinco años continuamos encontrando nuevos planetas, especialmente después de desarrollar otro espectrógrafo, llamado CORALIE. Pero una parte importante de la comunidad astronómica seguía mostrando muchas reservas.

Solo un grupo relativamente reducido de investigadores creyó desde el principio en el potencial de aquel nuevo campo. Algunos de ellos, como Sara Seager, acabarían convirtiéndose en figuras destacadas de la investigación de exoplanetas. Fueron personas que decidieron apostar por esta disciplina cuando todavía muchos científicos dudaban de sus fundamentos.

La situación empezó a cambiar de manera decisiva cuando se detectó el tránsito del planeta HD 209458 b. Por primera vez se observaba cómo un exoplaneta pasaba por delante de su estrella, produciendo una pequeña disminución de su brillo. Aquella observación proporcionó una evidencia independiente y muy convincente de que estos planetas realmente existían. A partir de entonces, la aceptación de los exoplanetas avanzó rápidamente.

Todo este proceso me enseñó algo importante sobre cómo funciona la ciencia. Cuando realizas un descubrimiento que rompe con las ideas establecidas, no debes esperar que todo el mundo te felicite. Al contrario, puedes encontrarte con una oposición muy intensa.

Para mí, aquellos primeros años no fueron nada agradables. Había trabajado mucho, estaba convencido de que los resultados eran correctos y, sin embargo, tenía que enfrentarme continuamente a críticas y objeciones.

Creo que conseguí superar aquella etapa por dos razones. La primera fue que Michel Mayor resultó ser un mentor extraordinario. Su experiencia y su manera de afrontar las dificultades fueron fundamentales para mí. La segunda tiene que ver con mi propia personalidad. Nunca

me ha interesado demasiado mirar hacia atrás. Siempre estoy pensando en lo siguiente que quiero hacer. Así que decidí continuar trabajando. Si habíamos descubierto un planeta, debíamos encontrar más. Y después, planetas más pequeños. Y seguir mejorando los instrumentos y las técnicas de observación. Estaba convencido de que, si seguíamos obteniendo resultados sólidos, la comunidad científica acabaría aceptándolos.

Algunos colegas con más experiencia me dieron entonces un consejo que nunca he olvidado. Me dijeron que la resistencia forma parte del funcionamiento de la ciencia. Cuanto más importante es un descubrimiento, más intensas pueden ser las críticas. Pero también es cierto que, cuanto más rigurosamente se examina un resultado y más objeciones consigue superar, más sólido acaba siendo.

Cuando tus críticos han agotado todos sus argumentos y tu descubrimiento sigue resistiendo, significa que has hecho algo realmente importante. Y entonces, quizá, acabas entrando en los libros de historia. Aunque, como digo siempre, lo mejor es poder verlo mientras todavía estás vivo.

¿Le importaría compartir alguna anécdota de cuando recibió el Premio Nobel en 2019?

Una de las anécdotas más conocidas relacionadas con los premios Nobel es la famosa llamada telefónica en la que te comunican que has sido galardonado. Siempre se presenta como un momento casi mágico, pero hay algunas ideas equivocadas sobre cómo sucede realmente.

Muchos de los científicos que han recibido el Premio Nobel viven y trabajan en Estados Unidos. Esto tiene una explicación histórica. Durante las décadas de 1950 y 1960, Estados Unidos realizó enormes inversiones en investigación científica, mientras que en Europa las oportunidades eran mucho más limitadas. Como consecuencia, muchos investigadores europeos emigraron a Estados Unidos, donde podían desarrollar sus carreras.

Como los premios Nobel suelen reconocer descubrimientos realizados muchos años antes, todavía estamos viendo las consecuencias de aquella situación. Sin embargo, creo que esto cambiará en el futuro. Veremos más premios Nobel concedidos a mujeres, porque cada vez hay más mujeres dedicadas a la ciencia. También veremos más galardonados procedentes de Asia, donde la investigación científica ha crecido extraordinariamente, y posiblemente una cierta recuperación de Europa.

Pero volvamos a la famosa llamada telefónica. El anuncio de los premios Nobel de Física se realiza hacia las once de la mañana, hora europea. ¿Y dónde suele encontrarse un científico a esa hora? Trabajando, naturalmente. Por tanto, muchas veces ni siquiera contesta al teléfono.

En cambio, en Estados Unidos todavía es de madrugada. Por eso son tan conocidas esas historias de científicos que reciben una llamada en mitad de la noche, se despiertan sobresaltados y descubren que han ganado el Premio Nobel. Es una escena muy cinematográfica, pero no siempre sucede así.

En mi caso, estaba trabajando en Cambridge, organizando una importante reunión científica. En aquella época disfrutaba de un año sabático en el MIT, en Estados Unidos, pero había regresado temporalmente a Cambridge para participar en aquel encuentro.

Cuando organizo reuniones suelo desconectar el teléfono para evitar interrupciones. Así que, cuando intentaron localizarme desde la Academia Sueca, no pudieron contactar conmigo.

En un descanso de la reunión encendí el móvil y, justo en aquel momento, recibí una llamada. Pero no era de la Academia Sueca, sino de la oficina de prensa de la Universidad de Cambridge.

Al principio pensé que se trataba de alguna cuestión administrativa, porque siempre tenía problemas con los contratos en el Reino Unido. Cuando me dijeron que llamaban de la oficina de prensa, me sorprendí. No tenía ninguna noticia que anunciar ni había preparado ningún comunicado.

Entonces, la persona que me llamaba me preguntó:

—¿Es usted el profesor Queloz?
—Sí, soy yo.
—¿Sabe que le han concedido el Premio Nobel?

Mi primera reacción fue reírme.

—¡Sí, claro! ¡Muy divertido!

Lo curioso es que normalmente estoy pendiente de la semana en la que se anuncian los premios Nobel. No porque espere recibir uno, sino porque siempre tengo curiosidad por saber quiénes son los galardonados. Pero aquel año estaba tan ocupado, entre mi estancia en el MIT, los viajes a Cambridge y la organización de la reunión, que ni siquiera me había dado cuenta de que estábamos en la semana de los Nobel. Así que la noticia me pilló completamente desprevenido. Me parecía algo tan extraordinario que no podía creerlo.

—No, no, eso es imposible —respondí.

La persona que me llamaba empezó a dudar. Mi reacción había sido tan contundente que incluso ella pareció preguntarse si se habría equivocado de persona.

—Un momento, vamos a comprobarlo otra vez —me dijo.

Después de unos instantes volvió a hablar:

—Sí, efectivamente, es usted. Estamos viendo su fotografía.

Y así fue como me enteré de que había recibido el Premio Nobel. No mediante aquella famosa llamada de la Academia Sueca, sino a través de la oficina de prensa de Cambridge.

Naturalmente, me quedé completamente conmocionado. Era algo increíble. Además, en aquel momento estaba solo. Mi esposa se había quedado en Estados Unidos y todavía estaba durmiendo debido a la diferencia horaria. Más tarde me contó que, cuando se despertó y miró el teléfono, encontró una cantidad enorme de mensajes. Al principio se asustó, pensando que

había ocurrido algo grave. Cuando finalmente comprendió lo que estaba pasando, se puso a gritar de alegría.

Uno de mis hijos estaba viajando por la India. Después me llamó y me contó que se encontraba en un aeropuerto cuando vio un quiosco de prensa. Se acercó a mirar los periódicos y, de repente, descubrió mi fotografía en una portada. Así fue como se enteró de la noticia.

De modo que cada miembro de mi familia descubrió el premio de una manera diferente, y bastante peculiar. Esta es mi anécdota sobre la famosa llamada telefónica del Nobel.

Lo que vino después fue una semana absolutamente extraordinaria. Prácticamente una celebración continua. Dormimos muy poco, pero la emoción era tan intensa que apenas notábamos el cansancio.

Recibir el Premio Nobel es una experiencia difícil de describir. Durante aquellos días todo sucede a una velocidad increíble, rodeado de felicitaciones, llamadas, entrevistas y celebraciones.

Háblenos del estado actual de las técnicas de velocidad radial. Para encontrar un análogo de la Tierra alrededor de una estrella similar al Sol, ¿cuál es hoy el principal obstáculo para las mediciones de velocidad radial: la estabilidad instrumental, ¿la variabilidad estelar o la forma en que analizamos los datos? ¿Qué avance supondría la mayor diferencia en la práctica?

Actualmente se están produciendo avances extraordinarios en el desarrollo de nuevos instrumentos para estudiar los exoplanetas. Si comparamos los equipos actuales con los primeros que construimos, la evolución ha sido espectacular.

Nuestro primer espectrógrafo, ELODIE, hoy nos parecería una máquina bastante primitiva. Ya no está en funcionamiento, pero en su momento representó un avance tecnológico fundamental. Su precisión en las medidas de velocidad radial era de aproximadamente 10 metros por segundo, algo extraordinario para aquella época.

En este tipo de instrumentos, lo más importante no es únicamente alcanzar una gran precisión, sino mantener una estabilidad excepcional durante períodos muy largos. Para detectar planetas necesitamos repetir las medidas de velocidad radial de una estrella durante meses o incluso años, y cualquier pequeña variación instrumental puede afectar a los resultados.

Los espectrógrafos actuales utilizan los mismos principios fundamentales que desarrollamos entonces, pero incorporan tecnologías mucho más avanzadas y trabajan con telescopios de mayor diámetro.

Un buen ejemplo es ESPRESSO, instalado en el Very Large Telescope. Su precisión es aproximadamente cien veces superior a la de ELODIE y puede alcanzar valores del orden de los 10 centímetros por segundo.

Esta mejora, combinada con la mayor capacidad colectora de los grandes telescopios, nos permite plantearnos la detección de planetas mucho más pequeños, incluso similares a la Tierra.

Sin embargo, hemos llegado a un punto en el que nos enfrentamos a una dificultad fundamental. Cuando utilizamos la técnica de las velocidades radiales, en realidad no observamos directamente el planeta, sino la estrella alrededor de la cual orbita. Y, para ser más precisos, lo que estudiamos es la luz procedente de su fotosfera. Pero la fotosfera de una estrella no es una superficie tranquila y uniforme. Basta con observar las imágenes de alta resolución del Sol para comprobarlo. Su superficie presenta granulación, movimientos convectivos, manchas y campos magnéticos que evolucionan continuamente.

Todos estos fenómenos pueden producir pequeñas variaciones en las líneas espectrales y, por tanto, introducir señales que se confunden con las provocadas por los planetas.

Este es uno de los grandes desafíos actuales: hemos conseguido construir instrumentos extraordinariamente precisos, pero las propias estrellas introducen un ruido que dificulta aprovechar toda esa precisión.

Por tanto, no basta con seguir mejorando los espectrógrafos. También necesitamos comprender mucho mejor la física de las atmósferas estelares y desarrollar métodos capaces de separar las señales producidas por los planetas de las originadas por la actividad de sus estrellas.

Una de las estrategias consiste en aumentar la cantidad y la calidad de las observaciones. Para ello necesitamos más instrumentos, telescopios mayores y programas de seguimiento mucho más extensos.

Todavía queda muchísimo trabajo por hacer. Si consideramos las aproximadamente mil estrellas similares al Sol de nuestro entorno, solo conocemos planetas alrededor de una pequeña parte de ellas, quizá del orden del 10 %. Del resto sabemos muy poco. Esto significa que probablemente existen numerosos planetas pequeños que todavía no hemos sido capaces de detectar.

La otra gran técnica de detección es la de los tránsitos. Es un método extraordinariamente eficaz para descubrir planetas pequeños, aunque presenta importantes limitaciones. Para observar un tránsito, el plano orbital del planeta debe estar orientado de manera que, desde la Tierra, veamos cómo pasa por delante de su estrella.

Esta condición geométrica introduce un sesgo muy importante. La probabilidad de observar un tránsito disminuye rápidamente a medida que aumenta el período orbital del planeta. Para planetas con órbitas de varios meses o años, solo una pequeña fracción de ellos presenta la orientación adecuada.

En algunos casos podemos tener cien planetas y detectar únicamente uno mediante esta técnica, simplemente porque los demás no transitan delante de sus estrellas desde nuestra perspectiva. Por tanto, aunque los tránsitos permiten descubrir muchísimos planetas gracias a la enorme cantidad de estrellas que podemos observar, tienen una eficiencia geométrica muy limitada.

Sin embargo, presentan una ventaja extraordinaria: nos permiten estudiar las atmósferas de los exoplanetas. Y esta es precisamente una de las grandes direcciones hacia las que se está orientando la investigación actual.

Para descubrir planetas mediante tránsitos, lo más eficaz es utilizar telescopios espaciales. Ya disponemos de misiones como TESS, que está proporcionando una enorme cantidad de datos. Además, los datos de TESS son públicos. Cualquier persona interesada en buscar exoplanetas puede descargarlos y analizarlos. Son relativamente fáciles de utilizar y ofrecen oportunidades muy interesantes, también para los astrónomos aficionados.

En el futuro contaremos también con PLATO, una misión diseñada para descubrir y caracterizar planetas alrededor de numerosas estrellas, especialmente aquellos que pueden ayudarnos a comprender mejor los sistemas planetarios similares al nuestro.

Pero descubrir un planeta es solo el principio. Una vez detectado, necesitamos realizar observaciones complementarias para conocer sus propiedades. Por ejemplo, si descubrimos un planeta mediante un tránsito, podemos utilizar la técnica de las velocidades radiales para determinar su masa. Si conocemos también su radio, obtenido a partir del tránsito, podemos calcular su densidad media y empezar a investigar su composición.

También podemos estudiar la orientación de su órbita mediante el efecto Rossiter-McLaughlin, que permite medir cómo se modifica el espectro de la estrella mientras el planeta transita por delante de ella.

Y, naturalmente, queremos estudiar su atmósfera. Para ello utilizamos técnicas de espectroscopia de transmisión, analizando la luz de la estrella que atraviesa la atmósfera del planeta durante el tránsito. También podemos obtener información cuando el planeta pasa por detrás de la estrella, estudiando cómo cambia la luz total que recibimos del sistema. Estas técnicas nos permiten investigar la composición química de las atmósferas y buscar determinadas moléculas.

Actualmente se están desarrollando numerosos instrumentos, tanto terrestres como espaciales, destinados a mejorar estas observaciones. Sin embargo, creo que, a largo plazo, los tránsitos tienen una limitación fundamental. Aunque permiten realizar espectroscopia atmosférica, solo podemos obtener determinados tipos de información durante intervalos relativamente breves, cuando el planeta pasa por delante o por detrás de su estrella. Y eso restringe enormemente la cantidad de datos que podemos recoger.

Por esta razón, creo que el gran futuro de la investigación de exoplanetas está en la obtención de imágenes directas. No necesitamos imágenes porque sean bonitas. De hecho, incluso con los telescopios más avanzados, un exoplaneta seguirá apareciendo como un simple punto de luz. Lo verdaderamente importante es que, si conseguimos separar la luz del planeta de la de su estrella, podremos estudiarlo durante períodos mucho más largos.

Podremos analizar su espectro, investigar su atmósfera y observar cómo cambian sus propiedades con el tiempo. Incluso podríamos llegar a detectar variaciones relacionadas con la rotación del planeta o con sus estaciones.

Para conseguirlo necesitamos tecnologías capaces de separar angularmente el planeta de su estrella y suprimir el enorme brillo estelar, que normalmente oculta por completo la débil luz del planeta. Este es uno de los grandes campos de desarrollo instrumental actuales.

Necesitamos telescopios de gran diámetro, como el Extremely Large Telescope (ELT), y técnicas avanzadas que combinen imágenes de alta resolución angular con espectroscopia de gran precisión. La combinación de ambas técnicas permitirá extraer información mucho más detallada de los planetas.

Hasta ahora, una parte importante de nuestros esfuerzos se ha concentrado en descubrir nuevos planetas. Pero llegará un momento en que aumentar simplemente el número de exoplanetas conocidos dejará de ser nuestro principal objetivo. No necesitamos descubrir millones de planetas si después apenas sabemos nada sobre ellos. Lo verdaderamente interesante sería conocer con detalle los sistemas planetarios de, por ejemplo, las mil estrellas más próximas y similares al Sol.

Las velocidades radiales seguirán siendo fundamentales para detectar los planetas de estos sistemas, especialmente aquellos que no presentan tránsitos. Pero necesitaremos también obtener imágenes directas y estudiar sus propiedades físicas y químicas. Porque detectar un planeta y conocer aproximadamente su masa es solo una pequeña parte de lo que realmente queremos saber. Queremos comprender cómo son esos mundos, cómo se han formado, cómo evolucionan y qué condiciones presentan.

Cuando empezamos a buscar exoplanetas, éramos un grupo muy reducido de investigadores. Quizá unas cincuenta personas en todo el mundo, bastante obsesionadas con la idea de encontrar planetas alrededor de otras estrellas. Actualmente hay miles de científicos trabajando en este campo. Esto supone una enorme concentración de talento, creatividad y capacidad tecnológica. Y explica por qué los avances se están produciendo a una velocidad extraordinaria.

Si seguís de cerca la investigación de exoplanetas, prácticamente cada mes aparece algún resultado importante: nuevos descubrimientos, mejores instrumentos, técnicas de observación más precisas o información inesperada sobre las atmósferas planetarias. Además, disponemos de instalaciones extraordinarias, como el telescopio espacial James Webb, que está proporcionando información fascinante sobre numerosos sistemas planetarios. Y todo ello se complementa con la exploración de nuestro propio Sistema Solar, que también está viviendo una etapa de descubrimientos extraordinarios.

Por tanto, estamos entrando en una nueva fase de la astronomía de exoplanetas. Durante las últimas décadas nos hemos dedicado principalmente a demostrar que existen otros sistemas planetarios y a descubrir su enorme diversidad. Ahora el gran desafío ya no es simplemente encontrar otros mundos, sino empezar a comprender cómo son realmente. Y creo que esta nueva etapa será todavía más apasionante que la anterior.

¿Cómo podemos distinguir una señal atmosférica real de los efectos de la actividad de la estrella anfitriona y de las limitaciones de los modelos que utilizamos para interpretar las observaciones? ¿Qué resultados consideraría45 suficientemente sólidos y concluyentes en los próximos años?

Es una pregunta difícil, y creo que en esta sala hay algunos colegas que son más expertos que yo en este tema, porque trabajan directamente en este campo. De hecho, es una de las áreas de investigación más activas en la actualidad.

El problema fundamental es cómo separar las distintas señales que recibimos. Cuando observamos un sistema planetario, no vemos directamente el planeta, sino una combinación de la luz de la estrella y de los efectos producidos por el planeta. Esto ocurre tanto con la técnica de los tránsitos como con la de las velocidades radiales. Distinguir qué parte de la señal corresponde a cada uno de ellos es complicado.

Hay diferentes maneras de abordar este problema. La primera consiste en preguntarnos hasta qué punto comprendemos realmente las estrellas. Necesitamos mejorar los modelos de sus atmósferas y de los fenómenos físicos que se producen en ellas.

Curiosamente, esto está provocando un renovado interés por la física estelar. Durante algún tiempo, una parte de la comunidad científica había dejado de prestar tanta atención a este campo, pero ahora estamos descubriendo que comprender mejor las estrellas es fundamental para poder estudiar sus planetas.

La segunda estrategia consiste en mejorar la calidad de las observaciones. Para ello necesitamos nuevos instrumentos capaces de proporcionar datos más precisos. Esto puede significar recoger más fotones, aumentar la resolución espectral, observar en otras longitudes de onda o utilizar telescopios espaciales, que tienen la ventaja de evitar las perturbaciones introducidas por la atmósfera terrestre.

Naturalmente, cada opción presenta ventajas e inconvenientes. Si queremos utilizar telescopios de gran diámetro, debemos instalarlos en tierra, donde podemos conseguir una enorme capacidad colectora y una resolución espectral muy elevada. En cambio, los telescopios espaciales nos permiten observar determinadas regiones del espectro, especialmente en el infrarrojo, sin las limitaciones de la atmósfera, pero debemos aceptar restricciones en el tamaño de los instrumentos y, en algunos casos, en su resolución. Por tanto, debemos combinar diferentes técnicas y estrategias de observación.

En cualquier caso, soy optimista. Hay tantos investigadores trabajando en estos problemas, y tantas posibilidades de mejorar los instrumentos y los modelos, que estoy convencido de que avanzaremos rápidamente.

Actualmente existen debates sobre la interpretación de determinadas señales atmosféricas detectadas en algunos exoplanetas. Pero esto es completamente normal en ciencia. A medida que dispongamos de mejores observaciones, estas controversias se irán resolviendo.

¿Qué evidencias científicas considerarías necesarias para poder afirmar con suficiente confianza que una molécula detectada en la atmósfera de un exoplaneta constituye una biofirma, es decir, una señal creíble de la posible existencia de vida?

No soy especialmente partidario de buscar una molécula concreta como prueba de la existencia de vida, y tengo varias razones para ello.

La primera es que resulta extraordinariamente difícil determinar si una molécula tiene un origen biológico o si se ha producido mediante procesos puramente químicos. La química puede generar las mismas sustancias de maneras muy diferentes, especialmente cuando hablamos de moléculas relativamente sencillas.

Pensemos, por ejemplo, en el oxígeno. A menudo se considera una posible señal de vida, pero el oxígeno no es necesariamente un producto de la actividad biológica. Puede serlo, naturalmente, pero también puede generarse mediante procesos no biológicos. De hecho, cuando apareció la vida en la Tierra, prácticamente no había oxígeno libre en la atmósfera.

Por tanto, debemos ser muy prudentes con el concepto de biofirma. A veces parece que buscamos una especie de sello mágico: encontramos una determinada molécula y automáticamente concluimos que existe vida. Pero no creo que el descubrimiento de vida extraterrestre vaya a producirse de esa manera.

Lo más probable es que necesitemos reunir un conjunto de evidencias diferentes que, consideradas conjuntamente, apunten hacia una explicación biológica. 4Y aun así, probablemente nunca tendremos una certeza absoluta.

La única manera de demostrar de forma verdaderamente concluyente que existe vida sería obtener muestras y analizarlas directamente. Por esta razón, creo que, si algún día conseguimos confirmar de manera inequívoca la existencia de vida extraterrestre, probablemente será en algún lugar de nuestro propio Sistema Solar.

Técnicamente, podemos imaginar misiones capaces de recoger muestras de otros cuerpos del Sistema Solar y traerlas a la Tierra. Puede ser muy complicado, especialmente si hablamos de satélites de los planetas gigantes, pero es físicamente posible. En cambio, nunca podremos traer muestras de un exoplaneta con la tecnología que podemos prever actualmente. Tendremos que conformarnos con estudiarlo a distancia.

Una posibilidad interesante sería detectar una combinación de moléculas cuya presencia simultánea resultara muy difícil de explicar sin la existencia de algún proceso biológico. En particular, nos interesan las atmósferas que presentan un desequilibrio químico. Si encontramos sustancias que deberían reaccionar entre sí y desaparecer, pero que siguen estando presentes, significa que debe existir algún mecanismo que las repone continuamente. Ese mecanismo podría ser la vida.

Sin embargo, debemos tener cuidado, porque los propios planetas también son sistemas dinámicos capaces de producir y reciclar sustancias químicas. Los procesos geológicos, la circulación atmosférica y las interacciones entre la superficie y la atmósfera pueden mantener determinados desequilibrios sin necesidad de actividad biológica.

La vida también modifica profundamente la química de un planeta. En la Tierra, por ejemplo, los organismos participan en el ciclo del carbono y la fotosíntesis produce oxígeno, contribuyendo a mantener una composición atmosférica muy particular. Por tanto, necesitamos comprender tanto los procesos biológicos como los mecanismos físicos y químicos que pueden actuar en un planeta sin vida.

Si me preguntáis qué tipo de descubrimiento convencería más fácilmente a la comunidad científica, creo que sería encontrar algo muy parecido a la Tierra.

Imaginemos un planeta rocoso, con océanos, una atmósfera rica en nitrógeno y oxígeno y unas condiciones físicas y químicas muy similares a las de nuestro planeta. Si la vida sigue caminos evolutivos parecidos en diferentes lugares del Universo, podríamos encontrar algún día un mundo con esas características. Sería lo que a veces llamamos una Tierra 2.0.

Este sería el caso más sencillo de interpretar, porque dispondríamos de un ejemplo conocido con el que comparar nuestras observaciones. Pero cualquier planeta que se aleje significativamente de las condiciones terrestres planteará muchas más dificultades. Y probablemente la mayoría de los exoplanetas serán diferentes de la Tierra.

En esos casos, las discusiones sobre el posible origen biológico de determinadas moléculas podrían prolongarse durante mucho tiempo, hasta que comprendamos mucho mejor cómo funcionan esos mundos.

Creo que la estadística tendrá un papel fundamental en esta investigación. Cuando podamos estudiar las atmósferas de cientos de planetas, empezaremos a comprender mejor la diversidad de composiciones químicas que pueden existir.

Quizá descubramos que hay una enorme variedad de atmósferas, o quizá encontremos que muchos planetas presentan composiciones bastante similares. Esto nos permitirá determinar hasta qué punto los procesos puramente físicos y químicos pueden generar esa diversidad.

A menudo hablamos de las condiciones necesarias para que aparezca la vida, pero también debemos preguntarnos cuántos tipos diferentes de planetas rocosos pueden existir. Tal vez no haya una variedad ilimitada. Quizá los procesos de formación y evolución planetaria solo permitan un número relativamente reducido de configuraciones.

Cuando dispongamos de cientos de atmósferas bien caracterizadas, podremos comprobar si existen grandes familias de planetas con propiedades comunes. Y eso nos proporcionará una información extraordinariamente valiosa. Por esta razón, creo que todavía es demasiado pronto para hablar de moléculas concretas como pruebas de vida.

Cuando me preguntan cuál es mi biofirma favorita, normalmente prefiero no responder. Creo que plantear la cuestión de esa manera puede resultar engañoso. Lo importante no es buscar una molécula milagrosa, sino comprender qué condiciones hacen que un planeta pueda albergar vida.

Una de las primeras cuestiones que debemos investigar es la presencia de agua. Existe un consenso bastante amplio sobre la importancia del agua líquida para la vida tal como la

conocemos. Por tanto, descubrir un planeta con agua sería un resultado extraordinariamente interesante.

Pero no basta con detectar agua. También necesitamos saber en qué cantidad se encuentra y cómo está distribuida. Por ejemplo, sería importante determinar si un planeta tiene océanos y, en ese caso, cuál es su profundidad.

No sé hasta qué punto podremos llegar a medir estas propiedades en los exoplanetas. Dependerá de los instrumentos disponibles y de la información que consigamos extraer de sus atmósferas. La composición atmosférica y el balance energético del planeta pueden proporcionarnos algunas pistas sobre la cantidad de agua que contiene, pero existen muchas incertidumbres.

Además, tener mucha agua no significa necesariamente que un planeta sea más habitable. Si un planeta está cubierto por océanos extremadamente profundos, las enormes presiones en el fondo pueden dificultar el contacto entre el agua y las rocas y alterar los procesos geológicos.

En determinadas condiciones, podrían formarse capas de hielo de alta presión que separasen el océano del interior rocoso. Esto limitaría los intercambios químicos y podría dificultar procesos como el reciclaje de materiales asociados a la tectónica de placas. Y estos procesos pueden ser importantes para mantener condiciones favorables para la vida durante períodos muy largos.

Por el contrario, un planeta con muy poca agua también podría presentar dificultades para desarrollar o mantener la vida. Por tanto, probablemente necesitamos encontrar un equilibrio entre diferentes factores.

El agua es un excelente punto de partida, pero la habitabilidad depende de muchas otras condiciones. Todo lo que estamos discutiendo ahora es, en realidad, el comienzo de un campo científico que se desarrollará durante los próximos cien años.

Para avanzar de manera decisiva en estas cuestiones, necesitamos obtener imágenes directas de los planetas. Mientras dependamos exclusivamente de los tránsitos y de las observaciones indirectas, nuestras posibilidades de caracterizar sus atmósferas serán limitadas.

Necesitamos desarrollar una nueva generación de telescopios espaciales capaces de separar la luz de los planetas de la de sus estrellas y analizar directamente sus espectros.

El telescopio espacial James Webb está proporcionando resultados extraordinarios, pero hay que recordar algo importante: no fue diseñado originalmente para estudiar exoplanetas. Su concepción comenzó cuando el telescopio espacial Hubble todavía estaba en las últimas etapas de desarrollo. En aquella época, el objetivo principal de la nueva misión era estudiar el Universo lejano, las primeras estrellas y las primeras galaxias.

Naturalmente, son objetivos científicos extraordinarios. Yo mismo soy un gran admirador de la cosmología. Pero el James Webb no fue concebido pensando en la caracterización de

atmósferas de exoplanetas, porque cuando comenzó a diseñarse todavía no habíamos descubierto los primeros planetas alrededor de estrellas similares al Sol.

Cuando empezaron a aparecer los primeros exoplanetas, los investigadores se dieron cuenta de que sería muy interesante utilizar el futuro telescopio para realizar espectroscopia de tránsito. Sin embargo, surgió un problema importante: el James Webb estaba diseñado principalmente para observar objetos extremadamente débiles, mientras que muchos de los mejores sistemas para estudiar tránsitos planetarios tienen estrellas relativamente brillantes. En determinadas condiciones, esas estrellas podían saturar los detectores.

Por ello fue necesario adaptar algunos aspectos del diseño y desarrollar modos de observación que permitieran estudiar objetos brillantes. Introducir modificaciones de este tipo en una misión espacial tan compleja no es algo sencillo ni habitual.

Gracias a esos esfuerzos, hoy podemos utilizar el James Webb para investigar atmósferas planetarias, y los resultados están siendo muy interesantes. Pero sigue sin ser el telescopio ideal para lo que queremos hacer en el futuro.

Sabemos bastante bien qué necesitamos: grandes telescopios espaciales diseñados específicamente para obtener imágenes directas de planetas terrestres y analizar sus atmósferas.

Existen diferentes propuestas en esta dirección, como el proyecto Habitable Worlds Observatory y otros conceptos de futuras misiones espaciales. Estos son los instrumentos que realmente necesitamos para dar el siguiente gran paso en la búsqueda de vida extraterrestre.

Mientras llegan esas nuevas generaciones de telescopios, todavía tenemos enormes posibilidades científicas con los instrumentos actuales y los que entrarán en funcionamiento próximamente.

Uno de ellos es el telescopio espacial Nancy Grace Roman, que contará con una calidad óptica extraordinaria y tecnologías avanzadas de observación. Esta misión permitirá descubrir numerosos planetas mediante la técnica de las microlentes gravitacionales, especialmente planetas situados a distancias relativamente grandes de sus estrellas y otros objetos difíciles de detectar con los métodos tradicionales.

También disponemos de la misión Gaia, que proporcionará información fundamental sobre planetas gigantes situados en órbitas amplias mediante medidas astrométricas extraordinariamente precisas.

La combinación de todas estas técnicas nos permitirá conocer mucho mejor la arquitectura y diversidad de los sistemas planetarios.

Creo que tenemos trabajo más que suficiente para mantener ocupada a toda la comunidad científica durante los próximos veinte años. Pero, al mismo tiempo, debemos empezar a preparar la siguiente etapa. Porque el gran objetivo a largo plazo será obtener imágenes directas de planetas similares a la Tierra, estudiar sus atmósferas y comprender hasta qué punto pueden reunir las condiciones necesarias para albergar vida.

Solo entonces estaremos realmente preparados para abordar, con evidencias científicas sólidas, una de las preguntas más importantes de la humanidad: si estamos solos en el Universo.

¿Cómo cree que las nuevas medidas astrométricas de Gaia contribuirán al descubrimiento de exoplanetas y a ampliar nuestro conocimiento sobre la población de planetas extrasolares?

La misión Gaia utiliza la astrometría, una técnica que resulta especialmente interesante porque es complementaria a la de las velocidades radiales. Para entenderlo de una manera sencilla, podemos decir que ambas técnicas detectan el movimiento que un planeta provoca en su estrella, pero lo hacen de formas diferentes.

La técnica de las velocidades radiales mide las variaciones de velocidad de la estrella en nuestra dirección, a través del efecto Doppler. Es especialmente eficaz para detectar planetas cercanos a sus estrellas, que producen variaciones relativamente rápidas.

En cambio, la astrometría mide directamente los pequeños desplazamientos de la posición de la estrella en el cielo. En este caso, cuanto más alejado se encuentra el planeta de su estrella, mayor es el desplazamiento que puede provocar, para una misma masa planetaria.

Por tanto, las dos técnicas tienen sensibilidades diferentes y se complementan muy bien.

Hay muchos sistemas planetarios en los que las velocidades radiales presentan limitaciones importantes. Además, cuando buscamos planetas con períodos orbitales muy largos, podemos encontrarnos con señales ambiguas. Las estrellas tienen ciclos de actividad magnética que pueden durar varios años. El Sol, por ejemplo, presenta un ciclo de aproximadamente once años. Estos cambios de actividad modifican los perfiles de las líneas espectrales y pueden producir señales que se confundan con las de un planeta de período largo.

La astrometría no presenta este mismo problema, porque mide directamente los desplazamientos de la estrella en el cielo, en lugar de las variaciones de sus líneas espectrales. Por eso creo que la combinación de Gaia con las observaciones de velocidades radiales será extraordinariamente interesante.

Naturalmente, la astrometría también tiene sus limitaciones. Para detectar los pequeños desplazamientos provocados por los planetas necesitamos medir posiciones con una precisión enorme, y esto resulta mucho más fácil en las estrellas relativamente próximas.

En cualquier caso, esperamos que Gaia permita descubrir un número significativo de planetas que hasta ahora desconocíamos.

Además, nos ayudará a determinar con mayor precisión las masas de planetas ya detectados. Cuando utilizamos únicamente las velocidades radiales, normalmente obtenemos una masa mínima, expresada como (M\sin i), porque desconocemos la inclinación de la órbita respecto a nuestra línea de visión.

En los sistemas con tránsitos sabemos que la inclinación orbital es cercana a 90 grados y, por tanto, que el seno de ese ángulo es aproximadamente igual a uno. Esto nos permite conocer la masa real del planeta con bastante precisión.

Pero Gaia también podrá determinar la inclinación orbital mediante sus medidas astrométricas. Combinando esa información con las velocidades radiales, podremos calcular la masa real de muchos planetas que no presentan tránsitos.

Esto será muy importante para conocer mejor la distribución de masas de la población de exoplanetas.

¿Cuántos planetas descubrirá Gaia? Es difícil saberlo. Quizá unos cuantos miles. No creo que vaya a producirse un aumento espectacular comparable al de otras misiones, porque Gaia no fue diseñada específicamente para buscar exoplanetas. Sin embargo, es una de las aplicaciones científicas que puede desarrollar extraordinariamente bien.

La otra misión que me parece especialmente prometedora es el telescopio espacial Nancy Grace Roman. Creo que todavía no somos plenamente conscientes de su potencial, porque utilizará una técnica que resulta bastante desconocida para muchas personas: las microlentes gravitacionales.

Imaginemos una estrella muy lejana y brillante. Si otra estrella, mucho más cercana a nosotros, pasa casi exactamente por delante de ella, su campo gravitatorio desvía la luz procedente de la estrella del fondo. Este efecto actúa como una lente gravitacional y provoca un aumento temporal del brillo de la estrella lejana.

Ahora imaginemos que la estrella que actúa como lente tiene un planeta. La gravedad del planeta introduce una pequeña perturbación adicional en la señal de amplificación. Es precisamente esa pequeña alteración la que nos permite detectar su presencia.

Lo extraordinario de esta técnica es que resulta especialmente sensible a planetas situados a distancias de aproximadamente una a cuatro unidades astronómicas de sus estrellas. Y aquí encontramos una diferencia fundamental respecto a Gaia.

Las microlentes gravitacionales pueden detectar planetas de masas relativamente pequeñas, incluso comparables a la de Marte, en determinadas condiciones. Esto significa que podremos explorar una población de planetas de masas similares a las de Marte y la Tierra, situados a distancias de entre una y cuatro unidades astronómicas de sus estrellas. Es una región del espacio de parámetros de los exoplanetas que todavía conocemos muy poco.

Por tanto, espero con mucho interés los resultados que obtendrá Roman mediante las microlentes gravitacionales. Nos proporcionará información estadística extraordinariamente valiosa sobre una población de planetas que hasta ahora ha sido muy difícil de estudiar.

Creo que, durante los próximos veinte años, estas técnicas nos permitirán completar una parte importante de nuestra visión de los sistemas planetarios.

Hasta ahora, las principales técnicas de detección han sido especialmente eficaces para encontrar planetas relativamente próximos a sus estrellas. Las velocidades radiales y los tránsitos han realizado un trabajo extraordinario, pero han introducido un sesgo importante en

nuestra visión de la población de exoplanetas. Ahora ha llegado el momento de mirar un poco más lejos y descubrir qué ocurre en las regiones exteriores de los sistemas planetarios.

Esto es fundamental para comprender cómo se forman y evolucionan los planetas. Los modelos de formación planetaria predicen que muchos planetas se originan a distancias relativamente grandes de sus estrellas y que algunos de ellos experimentan posteriormente procesos de migración orbital.

De hecho, uno de los grandes descubrimientos de los últimos treinta años ha sido comprobar que los planetas pueden desplazarse considerablemente desde sus regiones de formación. Pero todavía no sabemos qué proporción de planetas ha experimentado esos desplazamientos y cuántos han permanecido aproximadamente en sus órbitas originales.

Para responder a esta pregunta necesitamos conocer mucho mejor la población de planetas situados a distancias intermedias y grandes de sus estrellas. Es posible que descubramos que una parte importante de los planetas ha migrado, pero también que muchos otros han permanecido cerca de sus lugares de formación.

La combinación de los resultados de Gaia, Roman y las técnicas tradicionales nos permitirá empezar a responder estas preguntas. Creo que este será uno de los grandes avances de los próximos veinte años: pasar de conocer principalmente los planetas cercanos a sus estrellas a comprender la arquitectura completa de los sistemas planetarios y, con ello, cómo se forman y evolucionan.

¿En qué aspectos cree que la inteligencia artificial puede aportar los mayores avances en la investigación de exoplanetas? Y, por otra parte, ¿qué comprobaciones y criterios científicos considera imprescindibles antes de dar por válido un descubrimiento realizado con ayuda de estas herramientas?

La inteligencia artificial es un tema muy amplio y, además, está evolucionando a una velocidad extraordinaria. Todo lo que podamos decir hoy probablemente habrá cambiado dentro de un par de años.

Lo que sí puedo afirmar es que, hace apenas dos años, en mi entorno científico prácticamente nadie se tomaba demasiado en serio la inteligencia artificial. Sabíamos que existían estas tecnologías y los modelos de lenguaje, pero no pensábamos que pudieran tener una utilidad real en nuestro trabajo. Y eso ha cambiado completamente.

Hace poco comentaba con algunos colegas que determinadas tareas que antes podían constituir una parte importante de una tesis doctoral en física teórica ahora pueden resolverse con inteligencia artificial en cuestión de horas. Esto está transformando profundamente nuestra manera de trabajar.

La inteligencia artificial es una herramienta extraordinariamente poderosa y estoy convencido de que la ciencia la incorporará de forma generalizada. Para nosotros representa una oportunidad fantástica. Sin embargo, todavía tenemos que aprender a utilizarla correctamente.

Uno de los grandes problemas es que no siempre comprendemos cómo llega a sus resultados. Y eso plantea una cuestión fundamental: ¿cómo podemos comprobar que lo que nos proporciona es correcto?

También debemos evitar que su utilización acabe eliminando etapas esenciales en la formación de los nuevos investigadores. Podríamos pensar que, si una inteligencia artificial es capaz de realizar buena parte del trabajo de un doctorando, ya no necesitamos tantos estudiantes de doctorado. Pero eso sería un error enorme. Si dejamos de formar investigadores, ¿quién hará ciencia en el futuro? ¿Cómo prepararemos a las nuevas generaciones?

Necesitamos encontrar un equilibrio entre aprovechar estas herramientas y mantener los procesos de aprendizaje que permiten desarrollar el pensamiento científico.

Creo que esta situación tiene ciertos paralelismos con otros cambios tecnológicos que hemos vivido. Recuerdo cuando empezaron a introducirse las máquinas de escribir y, más adelante, los ordenadores en la enseñanza. Hubo quien propuso dejar de enseñar a escribir a mano, argumentando que pronto todo el mundo utilizaría teclados y que, en el futuro, incluso podríamos hablar directamente con las máquinas. Pero descubrimos que escribir a mano desempeña un papel importante en el aprendizaje y en el desarrollo de determinadas capacidades cognitivas. Por tanto, no podemos eliminar una actividad formativa simplemente porque una máquina sea capaz de realizarla más rápidamente.

Con la inteligencia artificial sucede algo parecido. Debemos aprender a utilizarla sin perder las capacidades intelectuales que necesitamos para comprender y evaluar sus resultados.

Os explicaré una experiencia reciente que me impresionó especialmente. Habíamos obtenido una serie de imágenes de Júpiter con un telescopio pequeño y decidimos probar si podíamos procesarlas utilizando inteligencia artificial. En lugar de emplear un programa específico de tratamiento de imágenes, comenzamos a conversar con Claude, un modelo de inteligencia artificial.

Le explicamos qué queríamos conseguir, le proporcionamos algunas referencias de artículos científicos y le sugerimos determinadas bibliotecas de Python que podía utilizar. A partir de ahí, dejamos que realizara el trabajo.

En un momento determinado, la inteligencia artificial nos indicó que había detectado algunos satélites en las imágenes y nos preguntó si queríamos analizarlos también. Le respondimos que sí, que identificara sus posiciones y comprobara si eran coherentes con los datos astronómicos disponibles, utilizando también Gaia como referencia cuando fuera pertinente. Y lo hizo.

Pero lo más sorprendente llegó al final. La inteligencia artificial nos explicó que había realizado algunas operaciones adicionales que no le habíamos pedido. Había encontrado referencias que permitían mejorar la calibración fotométrica de las imágenes y ajustar los resultados para obtener una representación comparable con observaciones realizadas desde el espacio. Nos quedamos absolutamente sorprendidos. Todo aquel proceso había durado unos veinte minutos y apenas habíamos necesitado tres o cuatro intercambios de mensajes.

Conservé el registro completo de aquella conversación y ahora lo enseño a menudo, porque creo que ilustra perfectamente el cambio que estamos viviendo.

Tradicionalmente, para realizar ese trabajo habríamos necesitado buscar un programa adecuado, aprender a utilizarlo, configurar los parámetros y procesar las imágenes. Todo ello podía requerir varios días o incluso una semana. Ahora podemos conseguir un resultado parecido en veinte minutos.

Naturalmente, eso no significa que podamos aceptar los resultados sin comprobarlos. Seguimos necesitando comprender qué operaciones se han realizado y verificar que las conclusiones son correctas. Pero es evidente que esta tecnología está cambiando nuestra manera de hacer ciencia, del mismo modo que la informática la transformó hace algunas décadas.

Otro ejemplo interesante es una iniciativa reciente de Anthropic, la empresa que desarrolla Claude, que ha empezado a ofrecer recursos de computación para proyectos científicos.

Conozco el caso de un colega que presentó una propuesta y obtuvo una asignación equivalente a unos 20.000 dólares en capacidad de procesamiento. Su proyecto era relativamente sencillo de explicar, aunque muy complejo de realizar: disponía de millones de imágenes de Marte y quería buscar en ellas determinadas características relacionadas con la presencia y la historia del agua en el planeta.

Tradicionalmente, analizar una cantidad tan enorme de imágenes habría requerido años de trabajo de estudiantes de doctorado e investigadores posdoctorales. En cambio, con estas nuevas herramientas, una parte importante del análisis podría realizarse en un tiempo extraordinariamente corto. No me sorprendería que, en cuestión de un mes, pudieran disponer de resultados que antes habrían necesitado años de investigación.

Mi predicción es que la inteligencia artificial acelerará enormemente el progreso científico. Y eso puede resultar incluso un poco inquietante, porque la ciencia ya está avanzando a una velocidad muy elevada.

Precisamente por esta razón, creo que será cada vez más importante mantener una buena comunicación entre la comunidad científica y la sociedad. Necesitamos explicar qué estamos haciendo, cómo utilizamos estas herramientas y cuáles son sus posibilidades y limitaciones.

Actualmente muchas personas sienten inquietud ante la inteligencia artificial porque tienen la impresión de que su desarrollo está escapando a nuestro control. Y creo que esa preocupación es comprensible. Debemos tomarnos muy en serio los riesgos asociados a una tecnología tan poderosa. Pero no deberíamos tener miedo de utilizarla para ampliar nuestras capacidades.

A lo largo de la historia hemos vivido otras transformaciones tecnológicas profundas. La imprenta, las máquinas de escribir y los ordenadores cambiaron radicalmente nuestra manera de trabajar, aprender y comunicarnos.

Me gustaría preguntarte ahora por el trabajo que estás desarrollando actualmente, que combina disciplinas como la física, la química y la biología. Recientemente hemos conocido la iniciativa Genesis, que estás poniendo en marcha este año y que tiene como objetivo estudiar el origen de la vida desde una perspectiva interdisciplinaria. ¿Podrías explicarnos brevemente en qué consiste este proyecto y qué puede aportar la colaboración entre diferentes disciplinas científicas al estudio del origen de la vida que la astronomía, por sí sola, no puede ofrecer?

Es un tema al que he dedicado muchísimo tiempo y energía durante los últimos años.

Durante prácticamente toda mi carrera como astrónomo he hablado sobre la posibilidad de encontrar vida en otros planetas. Pero debo reconocer algo: creo que muchas de las cosas que he dicho durante estos treinta años eran equivocadas, sencillamente porque no sabía lo suficiente sobre aquello de lo que estaba hablando. Y creo que esto les ocurre a muchos astrónomos.

Hablamos de zonas habitables, de biofirmas y de las condiciones necesarias para la vida. Son conceptos útiles desde el punto de vista astronómico, pero no necesariamente nos permiten comprender qué es la vida ni cómo puede surgir. Si realmente queremos conectar la astronomía con el problema del origen de la vida, necesitamos adoptar una perspectiva mucho más amplia.

Tuve la suerte de participar en una iniciativa que cambió profundamente mi manera de entender esta cuestión.

Hace algo más de doce años, la Fundación Simons, impulsada por el filántropo Jim Simons, decidió poner en marcha un ambicioso programa de investigación dedicado al origen de la vida. La idea era reunir a veinticuatro investigadores principales de diferentes disciplinas científicas para trabajar conjuntamente durante diez años.

Entre ellos había astrónomos, químicos, bioquímicos y especialistas en ciencias planetarias. Todos estudiábamos aspectos relacionados con el origen de la vida, pero desde perspectivas muy diferentes. Y tengo que reconocer que, al principio, la experiencia fue un auténtico desastre.

El principal problema era que prácticamente no nos entendíamos. Cada disciplina utiliza su propio lenguaje, sus conceptos y su terminología. A veces empleamos palabras diferentes para describir fenómenos similares y, en otras ocasiones, utilizamos una misma palabra con significados completamente distintos.

Recuerdo, por ejemplo, mis dificultades iniciales para comprender algunos conceptos de química, como las reacciones de reducción. En química, reducir una sustancia tiene que ver con la transferencia de electrones y los estados de oxidación, algo muy diferente del significado cotidiano que podemos atribuir a esa palabra.

Puede parecer una cuestión menor, pero cuando investigadores de distintas especialidades intentan trabajar juntos, estas diferencias se convierten en auténticas barreras.

Durante los primeros años dedicamos mucho tiempo simplemente a explicar qué hacíamos, qué significaban nuestros conceptos y cómo podíamos relacionar los resultados de unas disciplinas con los de otras. Y eso fue extraordinariamente enriquecedor.

Cuando hablo de interdisciplinariedad, no quiero decir que un astrofísico tenga que convertirse en químico, ni que un químico deba aprender a construir telescopios. Lo que quiero decir es que un astrónomo necesita comprender los fundamentos de la química que pueden ser relevantes para su investigación, aunque no sea él quien realice los experimentos químicos.

Por ejemplo, los químicos pueden identificar determinadas moléculas o procesos que resulten especialmente interesantes para estudiar el origen de la vida. Ese conocimiento puede influir directamente en el diseño de los instrumentos astronómicos, porque quizá necesitemos observar determinadas longitudes de onda o buscar moléculas específicas en las atmósferas de los exoplanetas. Sin ese diálogo, los astrónomos podríamos estar construyendo instrumentos que no respondieran a las preguntas más importantes desde el punto de vista químico o biológico. Y lo mismo ocurre con las ciencias planetarias.

Durante aquella experiencia descubrí hasta qué punto era limitado mi conocimiento sobre la Tierra. Naturalmente, como físico y astrónomo, tenía algunas nociones sobre su estructura y evolución. Pero desconocía muchos detalles de su historia geológica, de la tectónica de placas y de los procesos que han transformado nuestro planeta durante miles de millones de años.

También aprendí que los científicos que estudian la historia de la Tierra se enfrentan a dificultades importantes cuando intentan reconstruir acontecimientos muy antiguos. El registro geológico es incompleto y muchos materiales han sido transformados o destruidos por los procesos tectónicos.

Esto explica, por ejemplo, el enorme interés que tienen los planetólogos por estudiar Marte. Su superficie conserva registros geológicos muy antiguos que pueden ayudarnos a comprender procesos que en la Tierra han desaparecido.

Todo este conocimiento es fundamental cuando intentamos averiguar qué condiciones permitieron la aparición de la vida y si podrían reproducirse en otros planetas.

Pero este intercambio de conocimientos no surge espontáneamente. Hay que crear las condiciones para que investigadores de diferentes disciplinas puedan encontrarse, hablar y trabajar juntos. Y eso fue precisamente lo que intentamos hacer durante los diez años que duró el programa de la Fundación Simons.

Fue una etapa extraordinariamente interesante, que coincidió además con descubrimientos tan importantes como el sistema TRAPPIST-1, lo que nos permitió compartir resultados y explorar nuevas preguntas científicas.

Cuando terminó el programa, la Fundación Simons decidió darlo por concluido. Había financiado diez años de investigación y consideraba que, a partir de aquel momento, correspondía a los propios científicos encontrar la manera de continuar.

Algunos de nosotros estábamos convencidos de que aquella experiencia había sido demasiado valiosa para abandonarla. Así que empezamos a buscar oportunidades para

desarrollar iniciativas similares. En mi caso, en aquella época trabajaba en Cambridge y participamos en la creación de una gran propuesta interdisciplar.

Imagínese que vamos a Marte y encontramos microbios ¿Hay que dejarlo para ellos?

Es una pregunta muy interesante. Creo que existen dos posibilidades y que ambas son científicamente plausibles. No estamos hablando de ciencia ficción.

La primera posibilidad es que encontremos microorganismos en Marte que hayan llegado allí procedentes de la Tierra. Este es precisamente uno de los grandes riesgos de la exploración humana del planeta.

Si empezamos a plantearnos la construcción de ciudades o bases habitadas en Marte, lo más probable es que acabemos llevando microorganismos terrestres y contaminando su entorno.

Por eso creo que sería una muy mala idea que Elon Musk llevara seres humanos a Marte. Sería la mejor manera de trasladar allí todos los problemas de contaminación biológica que ya tenemos en la Tierra. Desde luego, yo no lo recomendaría, aunque probablemente no me haría caso.

La segunda posibilidad es mucho más interesante: que la vida haya surgido de manera independiente en Marte y en la Tierra, siguiendo procesos similares. Incluso podríamos imaginar que, durante las primeras etapas del Sistema Solar, Marte hubiera reunido condiciones más favorables que la Tierra para la aparición de la vida.

En ese caso, podríamos plantearnos un escenario fascinante: que la vida hubiera surgido primero en Marte y que, posteriormente, algunos microorganismos hubieran llegado a la Tierra transportados por meteoritos. Esto significaría que la vida terrestre podría tener un origen marciano.Es una posibilidad que no podemos descartar.

También podría ocurrir que encontráramos formas de vida marcianas con algunas diferencias respecto a las terrestres. Personalmente, este sería el resultado que más me interesaría, porque podría indicarnos que la vida surgió mediante procesos semejantes en ambos planetas, pero que después evolucionó de manera diferente debido a las distintas condiciones ambientales.

Cualquiera de estos descubrimientos sería extraordinario, porque nos permitiría avanzar enormemente en nuestra comprensión del origen y la evolución de la vida.

El único escenario que me parecería realmente desafortunado sería el primero: contaminar Marte con microorganismos terrestres antes de haber podido determinar si existe o existió vida autóctona. Por eso espero que no lleguemos a establecer bases humanas permanentes en Marte, al menos mientras no hayamos resuelto estas cuestiones científicas fundamentales.

Afortunadamente, creo que es poco probable que eso suceda en un futuro próximo. Enviar seres humanos a Marte y mantenerlos allí es una empresa extraordinariamente compleja y difícil.

Si queremos establecer bases humanas fuera de la Tierra, podemos hacerlo en la Luna. No tengo ningún inconveniente con ello. La Luna es un lugar adecuado para ese tipo de proyectos y no esperamos encontrar allí vida autóctona.

Los únicos microorganismos que podrían encontrarse en la Luna serían, en principio, los que nosotros mismos hubiéramos llevado durante las misiones espaciales, como las del programa Apolo. Pero Marte es diferente. Antes de contaminarlo con nuestra presencia, deberíamos aprovechar la oportunidad extraordinaria que nos ofrece para investigar si la vida puede haber surgido en otro mundo.

¿Cómo se sintió cuando supo que había ganado el Premio Nobel? ¿Era consciente de que su trabajo podía llegar a recibir un reconocimiento tan importante?

La verdad es que me sentí completamente desbordado. Fue demasiado para mí. Al principio no podía asimilar lo que estaba ocurriendo. No sabía muy bien cómo reaccionar ni qué hacer con aquel reconocimiento. Me parecía casi imposible de creer. Necesité bastante tiempo para comprender realmente lo que significaba.

Creo que la semana de la ceremonia de entrega de los premios me ayudó mucho a asimilarlo. Durante aquellos días participas en numerosos actos, conoces a muchas personas, te reúnes con el rey de Suecia, con representantes del Gobierno y de la Fundación Nobel, visitas museos y descubres la historia de Alfred Nobel y de los premios.

Todo ese proceso te permite comprender poco a poco la dimensión del reconocimiento que has recibido.

Suelo decir que convertirse en premio Nobel es, en cierto modo, convertirse en un embajador de la ciencia. Es una responsabilidad que adquieres a partir de ese momento. Algunos galardonados la ejercen de una manera más activa que otros, pero todos tenemos la oportunidad de utilizar ese reconocimiento para ayudar a la ciencia.

Y no me refiero únicamente a divulgar conocimientos entre el público general, sino también a transmitir la importancia de la investigación científica a personas que tienen capacidad de decisión, como los responsables políticos y los gobiernos.

El Premio Nobel te proporciona una visibilidad y una autoridad que pueden servir para defender la ciencia y contribuir a que quienes toman decisiones comprendan mejor su importancia.

¿Pensaba que algún día recibiría el premio Nobel?

Es curioso, porque cuando realizamos el descubrimiento de 51 Pegasi b, algunas personas nos dijeron que aquello merecía un Premio Nobel y que seguramente acabaríamos recibiéndolo. Para algunos parecía algo evidente. Pero para nosotros, desde luego, no lo era.

Creo que esto les ocurre a muchos científicos. Cuando trabajas durante años en un proyecto, conoces perfectamente todos sus detalles, las dificultades que has tenido que superar y las limitaciones de tus resultados. Por eso, lo que haces acaba pareciéndote relativamente normal. En cambio, cuando observas el trabajo de otros investigadores, te impresiona mucho más.

Personalmente, siempre he tenido la sensación de que mis colegas hacen cosas extraordinarias. Veo sus investigaciones y pienso que son mucho más inteligentes que yo, que tienen ideas brillantes y que están realizando descubrimientos fascinantes. Por eso resulta muy difícil valorar objetivamente la importancia de tu propio trabajo en comparación con el de los demás.

Además, hay muchísimos científicos excelentes, muchísimos físicos que han realizado contribuciones extraordinarias. Y, sin embargo, cada año el Premio Nobel de Física solo puede concederse a un máximo de tres personas. Por tanto, hay una enorme cantidad de investigadores que podrían merecerlo y que nunca llegarán a recibirlo.

Aunque alguien te diga que tu descubrimiento podría ser reconocido con un Nobel, es muy difícil llegar a creérselo. Y creo que es mejor que sea así. Si realizas una investigación esperando que algún día te concedan el Premio Nobel, lo más probable es que acabes decepcionados.

Nosotros nunca trabajamos con esa expectativa. Naturalmente, sabíamos que nuestro descubrimiento había sido importante y que algunas personas lo consideraban merecedor del premio, pero no era algo que contempláramos seriamente. Era una posibilidad que existía en algún lugar de nuestra mente, pero nada más. Por eso, cuando finalmente recibí la noticia, me produjo una conmoción tan grande. Nunca había esperado realmente que llegara aquel momento.

¿Alguna vez piensa en cuál puede ser el objetivo del universo? ¿Cuál es el propósito del Universo?

Esta es, en realidad, una pregunta filosófica o teológica, no una pregunta científica. Y precisamente ahí reside una de las características más interesantes de la ciencia: la ciencia intenta explicar cómo funcionan las cosas, pero no necesariamente por qué existen.

Podemos investigar cómo se formó el Universo, cómo evolucionó y qué procesos hicieron posible la aparición de la vida. Pero preguntas como por qué existe el Universo o cuál es el propósito de nuestra existencia quedan fuera del ámbito de la ciencia. ¿Cómo podríamos responder científicamente a una pregunta de ese tipo?

A partir de ahí, cada uno debe desarrollar su propia filosofía personal. En mi caso, suelo decir que probablemente somos bastante irrelevantes en el conjunto del Universo. Quizá incluso nuestro Universo sea uno entre una cantidad inmensa, posiblemente infinita, de universos. Podría ser que existieran innumerables universos y que el nuestro fuera uno de los pocos en los que se han dado las condiciones necesarias para que aparezca la vida y, finalmente, la conciencia. No sabemos si esto es así, pero es una posibilidad fascinante.

Y si realmente somos uno de esos casos excepcionales en los que la materia ha llegado a desarrollar conciencia y capacidad para comprender el mundo que la rodea, creo que deberíamos aprovecharlo.

Por eso, mi filosofía de vida es bastante sencilla: aprovechar al máximo esta extraordinaria oportunidad de existir, disfrutar del tiempo que tenemos y tratar de ser lo más amables posible con las personas que nos rodean.

Al fin y al cabo, estamos aquí durante un tiempo limitado. Así que lo mejor que podemos hacer es disfrutar de la vida y procurar que nuestra existencia también sea positiva para los demás.

¿Hemos utilizado nuestros telescopios espaciales para observar la Tierra como si fuera un exoplaneta, con el objetivo de comprobar y calibrar los instrumentos y métodos que utilizamos para buscar vida en otros mundos?

Sí, de hecho, ya se han realizado experimentos de este tipo. Algunos colegas han desarrollado programas muy interesantes utilizando datos de satélites para estudiar qué señales detectaríamos si observáramos la Tierra desde el espacio como si fuera un exoplaneta.

Y la conclusión es que, con los datos y conocimientos de los que disponemos, sí seríamos capaces de identificar indicios claros de la presencia de vida en la Tierra.

Algunos experimentos han analizado la luz terrestre reflejada por la superficie de la Luna. Este método resulta especialmente interesante, porque nos permite estudiar el espectro de la Tierra de una manera parecida a como observaríamos un exoplaneta lejano.

Naturalmente, debemos ser prudentes al interpretar los resultados, porque conocemos de antemano las características de la Tierra y sabemos que está habitada. Eso hace que el experimento no sea exactamente equivalente a estudiar un planeta completamente desconocido.

Sin embargo, estos trabajos son muy útiles para comprobar qué señales podemos detectar y evaluar la eficacia de las técnicas que utilizamos en la búsqueda de vida fuera del Sistema Solar.

Por tanto, sí, este tipo de investigaciones ya se han realizado y nos están proporcionando información muy valiosa.

¿Cree que algunos de los planetas que hoy consideramos inhabitables podrían llegar a reunir las condiciones necesarias para albergar vida dentro de millones de años? Es decir, ¿podríamos estar descartando actualmente planetas que, en el futuro, se conviertan en mundos potencialmente habitables?

Hay que tener en cuenta que los procesos geológicos se desarrollan en escalas temporales enormes, generalmente mucho mayores que unos pocos millones de años. Por ejemplo, el ciclo geológico del carbono, que regula el intercambio de CO_2 entre la atmósfera, los océanos

y el interior de un planeta, puede actuar en escalas de unos cien millones de años. Por tanto, cuando hablamos de transformaciones importantes en las condiciones de un planeta, debemos pensar en períodos de decenas o centenares de millones de años.

Naturalmente, también pueden producirse cambios climáticos en escalas temporales más cortas, del orden de veinte mil o cincuenta mil años. Estos cambios pueden estar relacionados con variaciones orbitales y otros factores que afectan a la estabilidad del clima.

Pero también existen acontecimientos extraordinarios capaces de transformar radicalmente las condiciones de un planeta en un período muy breve. Por ejemplo, el impacto de un gran asteroide puede provocar cambios ambientales enormes, y algo así podría suceder prácticamente en cualquier momento.

Estos impactos pueden producirse en cualquier planeta. De hecho, en Júpiter se observan con cierta frecuencia, ya que es un planeta gigantesco cuya gravedad atrae o altera las trayectorias de numerosos objetos del Sistema Solar. Y, por supuesto, también pueden ocurrir en la Tierra.

A propósito de esto, no sé si sabéis que en 2029 tendremos un acontecimiento astronómico muy interesante: el paso extremadamente cercano de un asteroide. Se trata de Apofis, que pasará a una distancia inferior a la de la Luna y que, según las previsiones, podrá observarse incluso a simple vista desde determinadas regiones de la Tierra.

El acercamiento tendrá lugar el 13 de abril de 2029. Curiosamente, será un viernes 13. ¡Y no es ninguna broma! Creo que sería una ocasión magnífica para organizar una gran actividad pública de observación astronómica.

Un acontecimiento de estas características puede servir para despertar el interés de muchas personas por la astronomía y explicar cómo estudiamos los asteroides, cómo calculamos sus órbitas y qué sabemos sobre los riesgos de impacto. Sería una excelente oportunidad para acercar la ciencia al público.

¿Usted que es astrónomo profesional disfruta observando el cielo? ¿Conoce el cielo?

Sí, por supuesto que me gusta observar el cielo, pero cuando lo hago me interesa sobre todo su dimensión poética y emocional. Para disfrutar del cielo no necesito grandes telescopios. Tengo unos prismáticos que utilizo habitualmente para observar aves y otros animales, y que también me sirven para contemplar los astros.

A veces, cuando estoy con amigos, les enseño las constelaciones, como Orión, o les muestro algunos planetas. Incluso con unos simples prismáticos podemos disfrutar de observaciones muy bonitas.

He tenido la suerte de conocer los cielos oscuros desde muy pequeño. Durante mi infancia pasaba todos los veranos en una isla griega, porque mi madre es griega y mi abuelo también nació en Grecia. En aquella época, la isla prácticamente no tenía iluminación artificial. Ni siquiera disponíamos de electricidad.

Recuerdo que dormíamos al aire libre, algo perfectamente posible durante las cálidas noches de verano en Grecia. Y sobre nuestras cabezas teníamos un cielo extraordinario, completamente oscuro, atravesado por la Vía Láctea.

Desde niño me acostumbré a contemplar nuestra galaxia, las estrellas y las estrellas fugaces. Era algo que formaba parte de mi vida cotidiana. Por eso me produce cierta tristeza pensar que muchas personas, especialmente quienes han vivido siempre en grandes ciudades, nunca han tenido la oportunidad de contemplar realmente la Vía Láctea.

Para mí, la belleza del cielo es comparable a la belleza de la naturaleza. Me emociona observar las estrellas del mismo modo que me emociona contemplar un paisaje, un animal o cualquier otra maravilla de nuestro planeta. Es una relación profundamente emocional con el Universo.

Pero cuando quiero comprender científicamente lo que estoy observando, la situación cambia por completo. Una imagen, por sí sola, no es suficiente para entender el Universo. Necesitamos ir mucho más allá de lo que podemos ver. Suelo decir que la astrofísica no es una ciencia de imágenes, sino una ciencia de representaciones mentales.

Cuando vienen equipos de televisión para entrevistarme, a menudo me piden imágenes que ilustren mis investigaciones. Y yo les respondo que, en realidad, no tengo imágenes de lo que estoy estudiando. Porque nuestro trabajo consiste en construir modelos, desarrollar formulaciones matemáticas, realizar medidas e interpretar los resultados. A partir de todos esos elementos elaboramos una representación mental de cómo funciona el Universo.

Pensemos, por ejemplo, en el Big Bang y en la evolución del cosmos. No disponemos de una fotografía del Big Bang. No podemos observar directamente todo lo que ocurrió en aquellos primeros instantes. Sin embargo, tenemos una enorme cantidad de evidencias científicas que nos permiten construir un modelo muy sólido sobre el origen y la evolución del Universo.

Y eso es precisamente lo que hace la astrofísica: utilizar las observaciones, las medidas y las leyes de la física para comprender realidades que muchas veces no podemos visualizar directamente.

Por supuesto, los científicos también somos seres humanos y necesitamos emocionarnos. Por eso sigo disfrutando enormemente de la contemplación del cielo nocturno. De hecho, conozco bastante bien las constelaciones, precisamente porque llevo toda la vida observándolas.

También he pasado mucho tiempo en el hemisferio sur, trabajando en la instalación y el desarrollo de instrumentos astronómicos. Durante aquellas estancias, muchas noches salía al exterior simplemente para contemplar el cielo. Con el tiempo he acabado familiarizándome también con las constelaciones australes.

Así que sí, puedo salir a caminar por la noche, mirar las estrellas y orientarme perfectamente, identificando dónde están el norte, el sur, el este y el oeste. Pero, sobre todo, sigo disfrutando del cielo con la misma fascinación que sentía cuando era niño y contemplaba la Vía Láctea desde aquella pequeña isla griega.

Einstein demostró que la teoría de Newton, aunque extraordinariamente útil, no era completamente correcta y necesitaba ser ampliada. Teniendo en cuenta este precedente, ¿Cree que la investigación científica actual es suficientemente innovadora y está abierta a cuestionar las teorías establecidas, o considera que existe un cierto sesgo de confirmación que nos lleva a buscar resultados que refuercen los modelos que ya aceptamos, en lugar de explorar ideas verdaderamente nuevas y revolucionarias?

Entiendo perfectamente lo que hay detrás de tu pregunta. Pero creo que, antes de responder, es importante explicar cómo funciona realmente la ciencia y cómo se construye el conocimiento científico.

La ciencia comienza con la recopilación de datos y evidencias. Esto es válido para todas las disciplinas, desde la física hasta las ciencias sociales. Observamos la realidad, recogemos información y tratamos de identificar regularidades y relaciones entre los fenómenos.

Pensemos, por ejemplo, en los orígenes de la medicina. Durante miles de años, las personas utilizaron determinadas plantas y observaron que algunas podían aliviar enfermedades o producir efectos concretos en el organismo.

No comprendían necesariamente los mecanismos que explicaban esos efectos, pero la experiencia les permitía identificar relaciones entre determinadas sustancias y sus consecuencias. A partir de estas observaciones empezaron a establecerse principios generales.

Y aquí es donde aparece un elemento fundamental del conocimiento científico: la capacidad de construir modelos que no solo expliquen lo que ya hemos observado, sino que también permitan predecir fenómenos nuevos.

Cuando disponemos de un modelo científico, podemos aplicarlo a situaciones completamente diferentes de aquellas que permitieron desarrollarlo. Por ejemplo, las correcciones relativistas que necesitamos aplicar al sistema GPS tienen su origen en las mismas teorías físicas que utilizamos para comprender fenómenos astronómicos.

A primera vista, determinar nuestra posición mediante señales de satélites y estudiar el movimiento de los cuerpos celestes parecen actividades muy diferentes. Sin embargo, ambas pueden describirse utilizando los mismos principios físicos. Esta capacidad de establecer conexiones y realizar predicciones es una de las grandes fortalezas de la ciencia.

Naturalmente, todos los modelos científicos dependen de los datos disponibles en el momento en que se construyen. Cuando obtenemos observaciones más precisas o exploramos situaciones que antes no podíamos estudiar, podemos descubrir que un modelo resulta demasiado sencillo para explicar todos los fenómenos. Pero eso no significa necesariamente que fuera incorrecto.

Por ejemplo, solemos decir que Einstein demostró que Newton estaba equivocado. Sin embargo, no es exactamente así. Newton tenía razón dentro del ámbito de aplicación de su

teoría. Sus leyes describen extraordinariamente bien el movimiento de los cuerpos en una enorme cantidad de situaciones. Lo que ocurrió es que, con el tiempo, aparecieron observaciones y problemas que la física newtoniana no podía explicar satisfactoriamente.

Einstein desarrolló entonces una teoría más general, capaz de describir fenómenos que quedaban fuera del alcance de la teoría de Newton. Pero la física de Newton no desapareció. Sigue siendo perfectamente válida como aproximación en las condiciones en las que habitualmente la utilizamos. Esto es muy importante: una nueva teoría científica no siempre destruye la anterior, sino que muchas veces la amplía y establece sus límites de validez.

Y el propio Einstein también tuvo que enfrentarse a las dificultades de interpretar sus ecuaciones. Cuando desarrolló la relatividad general y empezó a aplicarla al Universo, apareció la cuestión de la constante cosmológica.

Desde el punto de vista matemático, las ecuaciones permiten introducir determinados términos que después debemos interpretar físicamente. Einstein modificó sus ecuaciones para obtener un modelo cosmológico que consideraba adecuado en aquel momento. Posteriormente, con el descubrimiento de la expansión del Universo, cambió la interpretación de ese término.

Este ejemplo demuestra que incluso las teorías más brillantes están condicionadas por los conocimientos y las observaciones disponibles en cada época. Así es como funciona la ciencia.

La mayor parte del tiempo, los científicos trabajamos suponiendo que los modelos que utilizamos son correctos. Pero eso no significa que nos limitemos a repetir experimentos para confirmar lo que ya sabemos. Lo que hacemos es utilizar los conocimientos existentes para investigar cuestiones nuevas.

Partimos de un modelo que ha demostrado funcionar y lo aplicamos a situaciones que todavía no hemos explorado. Y, al hacerlo, estamos poniendo a prueba ese modelo, aunque nuestro objetivo principal no sea comprobar su validez. En ocasiones, los resultados coinciden con nuestras predicciones y podemos avanzar en la investigación. Pero otras veces encontramos algo inesperado: una observación que no encaja con lo que el modelo predice. Y ahí es donde empieza la parte más interesante.

Naturalmente, cuando aparece una anomalía, lo primero que debemos preguntarnos es si hemos cometido algún error. La mayoría de las veces, puedo asegurarlo por experiencia, el problema está en los instrumentos, en las medidas o en el procedimiento utilizado. Es mucho más probable que tengamos un problema de calibración o un error experimental que haber descubierto una nueva ley de la naturaleza.

Pero, en algunas ocasiones, después de revisar cuidadosamente todos los posibles errores, la anomalía sigue ahí. Y entonces puede que hayamos encontrado algo realmente nuevo. Por eso no creo que el progreso científico consista en intentar ser revolucionario deliberadamente. Si uno se propone cuestionar todas las teorías establecidas simplemente por el deseo de realizar un descubrimiento espectacular, es muy probable que acabe perdiendo el tiempo. Lo

importante es investigar con rigor y, al mismo tiempo, mantener la mente abierta ante los resultados inesperados.

El descubrimiento de 51 Pegasi b es un ejemplo muy interesante de lo que estoy explicando. Un año antes de que nosotros anunciáramos el descubrimiento, otro equipo de investigadores estadounidenses había observado aquella misma estrella. Sus instrumentos no eran tan precisos como los nuestros, pero tenían suficiente sensibilidad para detectar las variaciones de velocidad radial que provocaba el planeta.

Recordemos que 51 Pegasi b produce una variación de velocidad de aproximadamente 50 metros por segundo de amplitud, es decir, unos 100 metros por segundo entre el máximo y el mínimo de la señal. Es una señal considerablemente grande.

Por tanto, aquel equipo tenía datos en los que aparecía una variación que podría haber permitido descubrir el planeta. Pero no se la creyeron.

En aquella época, la existencia de un planeta gigante orbitando tan cerca de su estrella resultaba completamente inesperada. No encajaba con los modelos de formación planetaria que se aceptaban entonces. Así que interpretaron aquellas variaciones como posibles problemas instrumentales o errores en las observaciones.

Habían detectado una anomalía, pero no consideraron seriamente que pudiera corresponder a un planeta. Y, por ese motivo, no realizaron el descubrimiento.

Nosotros también encontramos una señal que inicialmente parecía difícil de explicar. Pero decidimos investigarla, comprobarla y determinar si podía tener un origen real. Y así llegamos al descubrimiento de 51 Pegasi b.

Creo que este ejemplo ilustra perfectamente una cuestión fundamental de la investigación científica. La diferencia entre descubrir algo nuevo y pasar por alto un descubrimiento puede estar en nuestra capacidad para reconocer una anomalía y tomárnosla en serio.

Estoy convencido de que muchos científicos, a lo largo de su carrera, tienen alguna oportunidad de encontrarse con un resultado inesperado que podría conducir a un descubrimiento importante. Algunos reconocen esa oportunidad, investigan la anomalía y consiguen avanzar hacia algo nuevo. Otros, en cambio, la descartan porque no encaja con sus expectativas o porque consideran que probablemente se trata de un error. Y esa diferencia puede resultar decisiva.

Por tanto, no creo que debamos hacer ciencia con la intención expresa de provocar una revolución. Lo que debemos hacer es utilizar los mejores modelos disponibles, investigar cuestiones nuevas y mantener siempre una actitud crítica ante nuestros propios resultados. Debemos estar preparados para reconocer que algo no funciona como esperábamos y tener la curiosidad suficiente para averiguar por qué.

Las grandes revoluciones científicas no suelen surgir porque alguien se proponga ser revolucionario, sino porque alguien observa algo inesperado y decide no ignorarlo.

¿Seríamos capaces de detectar nuestro propio Sistema Solar desde una distancia de muchos años luz utilizando las técnicas y los instrumentos de los que disponemos actualmente para buscar exoplanetas?

Sí, creo que podríamos detectar Júpiter. Si lleváramos suficiente tiempo observando el Sol desde otra estrella, con los instrumentos de los que disponemos actualmente, probablemente seríamos capaces de descubrir Júpiter. Pero creo que, por ahora, sería el único planeta de nuestro Sistema Solar que podríamos detectar con cierta facilidad.

Esto significa que una civilización situada en otro sistema estelar, con una tecnología similar a la nuestra, podría llegar a descubrir que el Sol tiene al menos un planeta. Y resulta interesante pensar que, incluso con una tecnología que todavía es bastante limitada, ya tenemos la capacidad de detectar sistemas planetarios situados a muchos años luz de distancia.

Florence Libotte:

Con esta última respuesta damos por finalizado el turno de preguntas y llega el momento de despedir a nuestro invitado, el profesor Didier Queloz.

Para nuestra Agrupación, haber podido compartir este encuentro contigo ha sido una experiencia extraordinariamente gratificante. Nuestro deseo era ofrecer a toda la comunidad de astrónomos aficionados un acontecimiento especial, significativo y memorable. Y creemos que, gracias a tu participación y a la presencia de todos vosotros, lo hemos conseguido. Muchísimas gracias.

Didier Queloz:

Muchas gracias a todos vosotros por haber sido un público tan entusiasta. Ha sido realmente fantástico. He disfrutado muchísimo de este encuentro y creo que hemos compartido un momento extraordinario. Espero haberos transmitido algunas ideas interesantes y, sobre todo, haberos dado motivos para seguir reflexionando sobre las grandes preguntas que plantea la astronomía.

Estoy seguro de que esta conversación continuará, porque muchos de los temas que hemos tratado hoy no son más que el principio. En los próximos años tendremos nuevos descubrimientos y muchas más historias fascinantes que contar.

Además, España cuenta con una comunidad astrofísica muy activa y con importantes proyectos de investigación. Tenéis la suerte de disponer de observatorios extraordinarios, como los de las islas Canarias, que se encuentran entre los mejores del hemisferio norte. Por tanto, seguid atentos a todo lo que está por venir, porque estoy convencido de que nos esperan años apasionantes para la astronomía. Y quién sabe, quizá vuelva a visitaros en otra ocasión. ¡Muchas gracias a todos!