

Entrevista a Roger Penrose

por

Oscar García Prada

La siguiente entrevista fue realizada en diciembre de 1996 en el Mathematical Institute of Oxford. Una versión más breve de la misma aparecerá en revista cultural de Barcelona "Lateral".

Sir Roger Penrose ha explorado numerosos campos dentro de las Matemáticas y la Física, entre ellos, la teoría de la relatividad, la mecánica cuántica, la astrofísica, la cosmología, figuras geométricas posibles e imposibles, así como el funcionamiento del cerebro humano. Junto con el físico teórico Stephen Hawking, Penrose ha ampliado nuestra comprensión de los agujeros negros y de la teoría del Big Bang sobre el origen del universo. Su trabajo sobre enlasetados no periódicos ha ayudado a comprender la naturaleza de los cuasicristales.



Nacido en Inglaterra en 1931, Penrose obtuvo su licenciatura en el University College de Londres en 1952 y su doctorado en la Universidad de Cambridge en 1957. A lo largo de su carrera ha ocupado puestos de investigador y profesor en diversas universidades inglesas y americanas del máximo prestigio. Desde 1973 hasta el momento actual, en el que acaba de retirarse, ha ocupado el puesto de Rouse Ball Professor de la Universidad de Oxford. Fue elegido miembro de la

Royal Society en 1972. Entre sus numerosos premios figuran el premio Adams de la Universidad de Cambridge (1966), el premio Dannie Heineman de Física de la American Physical Society y el American Institute of Physics. Ha compartido con Hawking la medalla Eddington de la Royal Astronomical Society (1975) y el premio de Física de la Fundación Wolf (1988).

Pregunta: Creo que sería útil tener cierta información sobre su educación. ¿Cuándo comenzó a interesarse por las Matemáticas y la Física?

Respuesta: Creo que mi interés por las Matemáticas surgió a una edad bastante temprana, recuerdo haber fabricado a los diez años algunos de los poliedros de Arquímedes. Imagino que estuve interesado por las Matemáticas antes pero creo que empezó a ser algo más serio alrededor de los diez años.

P: ¿Ha habido algún otro matemático o científico en su familia?

R: Sí, mi padre era un científico. Fue catedrático de genética humana, pero tenía intereses muy amplios y le atraían las Matemáticas, aunque no a nivel profesional. Tenía verdadero talento para trabajar en ellas y le interesaban de verdad, en particular, las cuestiones geométricas. También tengo un hermano mayor, Oliver, que más tarde fue catedrático de Matemáticas, y que fue muy precoz. Aunque es tan sólo dos años mayor que yo, iba cuatro cursos por delante de mí en el colegio. Desde temprana edad sabía muchas matemáticas y se interesó muchísimo por ellas y por la Física. Más tarde se doctoró en Física. También a mi madre le atraía la geometría, aunque su formación era médica, como mi padre.

P: ¿Tuvo buena ayuda en el colegio? ¿Tuvo buenos profesores?

R: Creo que es justo decir que al menos hubo un profesor que estimuló mi interés. Sus clases eran muy interesantes, aunque no entusiasmantes.

P: ¿Dónde estudió?

R: Comencé a ir al colegio en Canadá. No recuerdo si entonces me interesaban mucho las Matemáticas. En Canadá fui al colegio entre los 8 y los 13 años. Volví a Inglaterra a los 14 años.

P: Pero usted nació en Inglaterra.

R: Sí, nací en Inglaterra. Fuimos a América justo antes de la Segunda Guerra Mundial. Mi padre tenía un trabajo en London, Ontario, en el Hospital de Ontario. Fue director de Investigación Psiquiátrica. Estaba interesado en las enfermedades mentales y su transmisión genética, se convirtió en un experto en estos temas. Lo que más le interesaba eran cuestiones tales como qué factores son más importantes o tienen más influencia: los factores hereditarios o los factores ambientales.

Nací en Colchester, en Essex, que es el pueblo más antiguo de Inglaterra. Bueno, creo que hay una pequeña controversia acerca de si lo es o no, pero tiene una muralla romana. Es un antiguo pueblo romano. Allí mi padre trabajó en un proyecto que se llamaba el *Estudio Colchester* que trataba de decidir qué factores, ambientales o hereditarios, eran los más importantes en las enfermedades mentales y la conclusión a la que llegó fue que el problema era mucho más complicado de lo se había creído en un principio. Creo que esa es la respuesta correcta.

P: ¿Esto fue antes de ir a Canadá?

R: Fue antes de ir a Canadá. Fuimos a América cuando empezaba a verse claro que iba a haber una guerra. Mi padre tuvo esta oportunidad de trabajar en el extranjero y no la desaprovechó.

P: ¿Cuándo regresó?

R: Regresé nada más acabar la Guerra. Estábamos de vuelta en Inglaterra en 1945, donde continué yendo al colegio, al colegio del *University College* en Londres, donde estaba el profesor tan estimulante que he mencionado ante-

riormente y fui interesándome más y más por las Matemáticas, pero no como una carrera, yo iba a ser médico, se suponía que iba a ser médico. Recuerdo el momento en que los estudiantes teníamos que decidir qué asignaturas íbamos a cursar en los dos años finales. Todos nosotros teníamos que subir a hablar con el director, uno tras otro. Cuando me llegó el turno, subí con la intención de ser médico. El director me preguntó qué asignaturas quería cursar cuando comenzase a especializarme en mis estudios el curso siguiente y le dije que Biología, Química y Matemáticas, y ante esto, me dijo: *No, eso es imposible, no se pueden cursar Matemáticas y Biología simultáneamente*. Pero en ese momento no estaba dispuesto a perderme las Matemáticas, y le dije que entonces cursaría Matemáticas, Física y Química. Cuando llegué a casa, mis padres se enfadaron bastante. Mi carrera de Medicina había desaparecido de un plumazo.

P: ¿Dónde realizó sus estudios universitarios?

R: Comencé en Londres. Fui al *University College* (UC) de Londres donde obtuve mi título de licenciado. Mi padre era profesor allí y eso lo hacía todo más fácil, y es que una de las razones de la elección de UC era que no tenía que pagar matrícula alguna. Los profesores disfrutaban de esa prerrogativa. También mi hermano mayor cursó la carrera en el UC, y después fue a Cambridge, donde se doctoró en Física. Yo también hice el doctorado en Cambridge. En realidad, en esa época yo era un matemático puro. Me había especializado en geometría, geometría algebraica. Fui a Cambridge a hacer investigación en geometría algebraica y trabajé con Hodge. A la vez que yo empezó Michael Atiyah, que luego fue un famoso matemático, presidente de la *Royal Society*, rector del *Trinity College* y el primer director del Instituto Isaac Newton.

Cuando uno comienza su trabajo de investigación no tiene la menor idea de quién es ni cuán capacitada está la gente que le rodea, y yo pensaba que ese individuo, Atiyah, que aunque sabía muchas matemáticas, claro, era simplemente uno más, de nivel medio. Me costó algún tiempo darme cuenta de que había algo especial en él. Recuerdo que al principio el ambiente era un poco intimidante.

Así que trabajé con Hodge. Pero tan sólo durante un año, porque los problemas que a mí me interesaban no estaban en su línea de trabajo. Luego trabajé dos años con John Todd. Fue en ese periodo cuando realmente comencé a sentir un mayor interés por la Física, principalmente a causa de mi amistad con Dennis Sciama, quien me tomó bajo su tutela. Era buen amigo de mi hermano Oliver y creo que yo le había impresionado un poco en una visita mía a Cambridge. Le había hecho algunas preguntas acerca del estado de equilibrio del universo en las que creo que él no había pensado y debió considerar que merecía la pena cultivar mi interés en Física.

P: Así que, ¿fue Sciama una de las personas que más le influyó en ese tiempo?

R: Influyó mucho: me enseñó gran cantidad de Física y me hizo apreciar el placer de hacer Física. Era capaz de transmitir la emoción de lo que estaba

sucedido en la Física del momento. Pero no sólo me influyó Dennis Sciama sino también en gran medida las clases a las que asistía por mi cuenta durante mi primer año. Recuerdo tres cursos en particular, ninguno de los cuales tenía nada que ver con la investigación que se suponía que estaba haciendo.

Uno de ellos fue el curso que Bondi impartía sobre relatividad general. Fue un curso fascinante. Bondi tenía un maravilloso estilo enseñando que convertía el tema en algo vivo.

Otro curso al que asistí fue el de Dirac sobre mecánica cuántica, que también era muy hermoso pero de manera totalmente diferente. Su curso era una sucesión de clases perfectas, francamente estimulantes.

Y el tercer curso, que más tarde ha resultado ser muy influyente, aunque en ese momento no me daba cuenta, fue un curso en lógica, lógica matemática, dado por Steen y en el que aprendí sobre máquinas de Turing y acerca del teorema de Gödel y creo que entonces se formó mi particular punto de vista sobre estas cuestiones y que se haría explícito tiempo después. La importancia del teorema de Gödel apareció muy clara y también la idea de las máquinas de Turing y demás, y creo que en ese periodo se formó mi opinión, que todavía mantengo, de que hay algo en los fenómenos mentales, en nuestra comprensión de las Matemáticas en particular, que no se puede encerrar en ningún tipo de cálculo. Desde entonces mantengo este punto de vista.

P: Usted ha trabajado en una enorme variedad de áreas pero déjeme comenzar con su trabajo en los años sesenta sobre cosmología. Usted, junto con Stephen Hawking, descubrió los teoremas de singularidades. Por esos teoremas les concedieron el prestigioso premio Wolf. ¿Puede hablarnos de estos teoremas y de lo que dicen acerca del espacio-tiempo?

R: Bien, las singularidades son regiones del espacio-tiempo donde las leyes físicas, básicamente, no funcionan. La principal singularidad de la que se oye hablar es el Bing-Bang, que representa el origen del universo. Ahora bien, eso es el futuro en estos modelos cosmológicos específicos que fueron introducidos de acuerdo con las ecuaciones de la relatividad general de Einstein y que describen la curvatura del espacio-tiempo en términos de la cantidad de materia.

Al principio, estas ecuaciones se aplicaron a un universo muy uniforme e isotrópico y en concordancia con los modelos estándar que se utilizan para describir la cosmología a gran escala. Si se extrapolan hacia atrás estos modelos se halla que al comienzo de todo hay un instante en el que la densidad es infinita y toda la materia está concentrada en un sólo punto. Si se quiere, el Big-Bang representa la explosión de materia, de hecho todo el espacio-tiempo se origina en este único suceso. Esto suscitaba, por supuesto, el interés de la gente, y el mío propio, porque representa un límite a lo que podemos entender en términos de leyes físicas.

Este mismo esquema de ideas volvió a reaparecer más tarde cuando la ciencia empezó a preocuparse de qué le ocurre a una estrella que es demasiado masiva para no colapsar sobre sí misma. Mucho antes, alrededor de 1930, Chandrasekar demostró que las estrellas enanas blancas, que son cuerpos realmente densos, debían tener la masa del sol o un poco más. Ahora sabemos

que tales objetos existen: la estrella compañera de Sirius es el ejemplo más famoso. Chandrasekar pudo comprobar que si un cuerpo tiene una masa de al menos una vez y media la del Sol, entonces al contrario que en el caso de las enanas blancas, se colapsaría sin parar sobre sí misma. Fundamentalmente, la razón de que una enana blanca no se colapse es la llamada presión de degeneración del electrón, que se debe a que los electrones cumplen un principio de exclusión que dice que dos electrones no pueden hallarse en el mismo estado, y en consecuencia, cuando éstos están demasiado concentrados impiden el colapso de la estrella. Luego el principio de exclusión es efectivamente lo que evita que una gran enana colapse. Sin embargo, lo que Chandrasekar demuestra es que la gravedad supera esto y si la estrella es demasiado masiva la presión de degeneración de sus electrones no es capaz de impedir el colapso.

Ocurre de nuevo en lo que se llama presión de degeneración de los neutrones (que es, una vez más, el poder del principio de exclusión, pero ahora aplicado a neutrones) que los electrones son empujados contra los protones y se tiene una estrella que está formada básicamente de neutrones. Y estos neutrones se mantienen separados por no poder estar en el mismo estado. Si utilizamos de nuevo el argumento de Chandrasekar en las estrellas de neutrones, se ve que también ellas tienen una masa máxima (más allá de la cual colapsarían). Se creyó inicialmente que esta masa máxima no era mucho mayor que la de una enana blanca, pero ahora sabemos, tras tiempo de incertidumbre al respecto, que de hecho es mayor.

La consecuencia de todo esto es que un cuerpo de una masa de, digamos, dos veces la del Sol no parece tener una situación de equilibrio y se iría colapsando sin parar a menos que pudiera desprenderse de parte de su materia. Aunque, en realidad, parece poco probable, especialmente si comienza con una masa de, digamos diez veces la masa del Sol, que pudiera desprenderse de suficiente materia.

¿Qué es, entonces, lo que realmente sucede? Bien, alrededor de 1939 Oppenheimer y algunos de sus estudiantes, más concretamente, Oppenheimer y Snyder desarrollaron un modelo de colapso de un cuerpo. Consideraron un cuerpo ideal, al que llamaron *polvo*, que no tenía presión, simplemente materia sin presión. Supusieron que poseía una simetría esférica perfecta, y demostraron que este cuerpo colapsaría sobre sí mismo dando lugar a lo que ahora llamamos agujero negro. Un agujero negro es lo que aparece cuando un cuerpo se concentra a un tamaño muy pequeño y con una masa tan grande que hace que la velocidad de escape del cuerpo sea la velocidad de la luz, o superior. La velocidad de escape no es sino la velocidad a la que un cuerpo, cuando es arrojado desde la superficie, escapa al infinito y no vuelve a caer. En el caso de la Tierra, la velocidad de escape es, aproximadamente, de unos 25.000 millas por hora. Pero si concentráramos la Tierra suficientemente, o si consideramos un cuerpo mayor de, digamos, algo más de dos veces la masa del sol, concentrado en unos cuantos kilómetros, nos ponemos ya en la situación en que la velocidad de escape es la velocidad de la luz. Se convierte en un agujero negro y entonces nada, ni siquiera luz, ni señal alguna, podrá escapar.

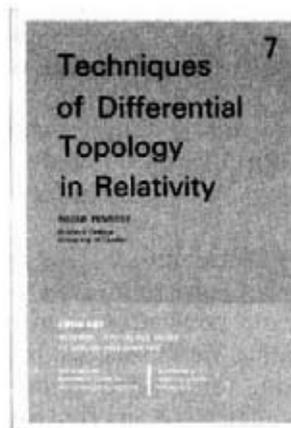
Esto es exactamente lo que sucede en el modelo que Oppenheimer y Snyder desarrollaron en 1939. Pero en aquel entonces nadie prestó atención alguna, y menos que nadie, por lo que parece, Einstein, a quien no le interesaba particularmente el tema. Creo que en aquel tiempo la opinión de la mayoría era que el modelo que habían sugerido Oppenheimer y Snyder no era apropiado: si uno elimina la hipótesis de simetría esférica, quién sabe si el cuerpo se concentraría en una minúscula partícula en el centro o si se pondría a danzar fluyendo con un complicado movimiento. Creo que este era el punto de vista que se tenía entonces. Y uno no puede por más sino preguntarse, si, en realidad, la hipótesis fundamental no era que no hubiera presión, porque la materia sí tiene presión cuando está concentrada.

Todo este asunto volvió a surgir, básicamente, al principio de los años sesenta (alrededor de 1960) cuando se descubrieron los primeros cuásares. Los cuásares son cuerpos muy, muy brillantes, que al mismo tiempo son tan pequeños y tan masivos que uno tiene por fuerza que preguntarse si en ellos no se había alcanzado el tipo de límites de los que hemos estado hablando. Si los cuásares se encontrasen completamente dentro del llamado horizonte de sucesos (en el que la velocidad de escape excede a la velocidad de la luz) no se les podría ver. Pero suficientemente próximos a ese límite se podría tener procesos realmente violentos que podrían producir objetos extraordinariamente brillantes a la vez que muy, muy concentrados. Al principio de los años sesenta volvió a interesar si no podía ser que lo que ahora llamamos agujeros negros estuvieran realmente ahí afuera, en el mundo, en el universo. De manera que yo mismo comencé a pensar en este problema y en la pregunta de si uno podía soslayar la hipótesis de simetría esférica perfecta utilizando técnicas de naturaleza topológica, que yo ya había comenzado a desarrollar por otros motivos. Lo que normalmente se hacía era resolver complicadas ecuaciones y eso no es una buena idea si lo que quieres es introducir irregularidades porque entonces, simplemente, no puedes resolver las ecuaciones. De manera que observé el problema desde un punto de vista totalmente diferente que consistía en mirar las cuestiones generales, básicamente cuestiones de tipo topológico, que permitían obtener una contradicción de la hipótesis de que tuviera lugar el colapso sin que hubiera singularidades. Lo que había demostrado básicamente era un teorema enviado a publicar en 1964 pero de hecho publicado en Enero de 1965 en *Physical Review Letters*. Demostré que el colapso ocurre mientras no se verifique una determinada condición cualitativa a la que llamé la existencia de una superficie atrapada. Si esta superficie aparece cuando uno la espera, entonces se puede probar el teorema que demuestra que debes tener en cierto sentido una singularidad. Lo que demuestra realmente es que el espacio-tiempo no puede continuarse, que llega a un fin en algún sitio, pero no dice cual es la naturaleza de ese final. Simplemente dice que el espacio-tiempo no puede continuarse indefinidamente.

P: ¿Puede verificarse si el teorema es válido en nuestro universo?

R: Bien, la primera pregunta es: ¿existen los agujeros negros? y esa es una consecuencia teórica del tipo de teorema, en colaboración con Hawking, al que me acabo de referir.

Stephen Hawking apareció siendo un estudiante de doctorado principiante, que estaba trabajando con Sciama, y tomó los resultados donde yo los había dejado, introdujo algunos otros resultados y más tarde lo pusimos todo junto...; lo que en realidad hicimos fue probar que si el colapso alcanza un cierto punto de no retorno, entonces aparecen las singularidades.



Uno espera que para todo cuerpo grande haya ese punto de no retorno. No hace falta ninguna hipótesis de simetría y, de hecho, el cuerpo en cuestión puede ser absolutamente irregular. Yo creo que el razonamiento es, digamos, lógicamente correcto; en suma: hay singularidades. Eso sí, tenemos, en el teorema, una hipótesis importante de la que aún desconocemos si es cierta o no, y es la llamada *censura cósmica*. El motivo de elegir un nombre tan llamativo no era sino atraer la atención sobre el papel esencial de esa hipótesis. Introdujimos este término, como una manera de señalar que hay una hipótesis de peso. Censura cósmica significa que no hay singularidades desnudas.

Como consecuencia de los teoremas de singularidad sabemos que éstas tienen lugar al menos, bajo condiciones adecuadas, que son condiciones iniciales razonables. Pero lo que no sabemos es si esas singularidades se hallan necesariamente ocultas a nuestra vista, o, en otros términos, si se hallan revestidas con lo que llamamos un horizonte, de manera que no podemos verlas. Eso es lo que uno tiene en el caso de un agujero negro: un horizonte que protege a la singularidad de ser vista desde fuera. Es perfectamente posible que pudiéramos tener lo que llamamos una singularidad desnuda que no se encuentre protegida y oculta tras un horizonte. Pero la verdad es que a estas singularidades desnudas se las considera más disparatadas aún que los agujeros negros. El consenso general en el momento actual es que quizás no existan. Yo también me inclino hacia ese punto de vista, creo que no existen. Ahora bien, si suponemos que no existen, entonces hemos de admitir que ha de haber agujeros negros.

Todo esto no responde a su pregunta. Se trata de una conclusión teórica: si un cuerpo con un tamaño por encima de un determinado umbral se colapsa, entonces, según la teoría, se producen agujeros negros.

Lo que sí que podemos observar son algunos ejemplos de sistemas de estrella doble: la componente que uno ve es una estrella. La primera que se ha observado se llama *Cygnus X-1*. *Cygnus X-1* es una fuente de rayos X, la señal de rayos X proviene de este objeto al que vemos como una super estrella gigante azul que se encuentra en órbita alrededor de algo. Este algo es invisible, pero que, sin embargo, parece ser la fuente emisora de rayos-X. Lo que quiero decir es que no puede verse mediante un telescopio, pero que parece ser la fuente de los rayos X. Ahora bien, una emisión de rayos-X tiene lugar cuando hay material que es arrastrado dentro de una pequeña región y que se va calentando

durante ese proceso de arrastre al tiempo que adquiere una forma de disco (que es la forma en que habitualmente son observados). Ese material es arrancado de la estrella compañera, la estrella azul super gigante, y se arrastra hacia el agujero dando vueltas en espiral y se va calentando hasta alcanzar una cierta temperatura de rayos-X; esa es la fuente de rayos-X y eso es lo que vemos. Esto no quiere decir que ese objeto sea realmente un agujero negro. Sin embargo la dinámica del sistema es tal que obliga a que el objeto sea más masivo que una enana blanca o que una estrella de neutrones, en vista del argumento de Chandrasekar.

La evidencia es pues indirecta. Si se quiere, lo que sabemos es simplemente que hay un pequeñísimo objeto de materia altamente concentrada que parece estar arrastrando hacia sí el material circundante y en cuyas sus proximidades se ven rayos-X y rayos gamma.

Las fuentes de rayos gamma parecen funcionar de manera similar. Hoy en día disponemos de muchos ejemplos, otros sistemas de doble estrella, centros de galaxias... Hay cierta evidencia de un objeto realmente concentrado en el centro de nuestra propia galaxia, del orden de tres millones de masas solares. Parece ser un fenómeno estándar el que las galaxias puedan tener estos objetos altamente concentrados, que pensamos que son agujeros negros, en sus centros, algunos de lo cuales pueden ser enormes. Se cree actualmente que los cuásares puede que sean galaxias que tienen en sus centros objetos que son mucho más brillantes que la galaxia completa de manera que lo que se ve es tan sólo su región central, que es extraordinariamente brillante. Brillan a causa del material arrastrado hacia su interior y que llega a estar extraordinariamente caliente y que es proyectado en ciertas direcciones. Se ven incluso ejemplos en los que los centros de las galaxias arrojan como llamaradas a borbotones y otros fenómenos parecidos. Pero toda esta evidencia es indirecta, no es que uno sepa que allí hay agujeros negros, es simplemente que la teoría nos dice que debería haber agujeros negros. La teoría es consistente con las observaciones, se ajusta realmente bien a lo observado, pero las observaciones no nos dicen directamente que esos son agujeros negros. Existe la posibilidad potencial de la observación directa de un agujero negro; y cuando digo directa me refiero a que la teoría de los agujeros negros ha alcanzado tal nivel de desarrollo que conocemos con toda precisión el tipo de geometría que debería haber.

Esta geometría, conocida como la geometría de Kerr, que parece ser el único punto final de un objeto que se ha colapsado para formar un agujero negro y esta geometría tiene propiedades específicas muy interesantes. Algunas de esas propiedades podrían ser usadas como prueba para saber si esos objetos realmente concentrados que conocemos están realmente de acuerdo con la geometría de Kerr. De esta manera podríamos disponer de evidencia mucho más directa de la existencia de los agujeros negros. Pero esto es una tarea para el futuro. Hay algunas otras ideas por ensayar y puede que se consiga buena evidencia directa de los agujeros negros, pero ésta, por el momento, es un tanto indirecta.

P: ¿Cuáles serían las implicaciones más espectaculares de las singularidades?

R: Las singularidades nos dicen que las leyes de la Física, las leyes de la relatividad clásica, son, en cierto sentido, limitadas. Siempre he considerado las singularidades como una virtud particular de la relatividad general. Nos marcan las limitaciones de la teoría, algo inusual. Hay quien piensa, por el contrario, que se trata de una debilidad de la teoría, porque tenía esos defectos. Pero quiero resaltar que realmente nos marcan el punto donde se hace precisa otra Física. Creo que este es un potente ingrediente de la teoría. Se trata de un punto de encuentro de la teoría cuántica con la relatividad general, un punto donde intervienen juntas: las cosas son a la vez pequeñas y masivas o, si se prefiere, en lo pequeño es donde los efectos cuánticos son importantes mientras que en lo masivo es donde la relatividad general predomina. De manera que cuando se presentan juntas, y ese es el caso de las singularidades, los efectos de ambas, relatividad general y mecánica cuántica, deben ser analizados agregadamente. Esto se aplica al Big-Bang y se aplica a las singularidades en los agujeros negros y podría ser aplicable a todo el universo si fuese a colapsar y es que el universo es, si se quiere, simplemente un gran conglomerado de agujeros negros: un único, enorme agujero negro, si así se prefiere. Al comienzo, el estudio de las singularidades de los agujeros negros estaba justificado porque de partida ya se sabía que había una singularidad en el Big-Bang. Las singularidades en los agujeros negros son exactamente lo mismo, pero el tiempo fluye en ella en la dirección contraria. De manera que si se tiene una se debería tener la otra. Se trata de un argumento bastante verosímil. Pero cuando se analizan todas estas cosas con detalle vemos que la estructura que tiene el universo, como un todo, es completamente diferente. El Big-Bang tiene una estructura uniforme muy suave. Mientras que lo que uno espera encontrar en las singularidades correspondientes a los agujeros negros es un complicado caos, un final de espectro completamente diferente. Todo esto está íntimamente relacionado con la segunda ley de la Termodinámica. Porque la segunda ley de la Termodinámica nos dice que en condiciones normales tenemos simetría temporal y si retrocedemos paso a paso hacia atrás en el tiempo nos vamos aproximando a una estructura sumamente ordenada que corresponde a las primeras etapas de la historia del universo, y cuanto más hacia atrás regresamos nos acercamos por fin a una estructura ordenada que es sin duda el Big-Bang. Luego, ¿cuál es la fuente de este orden? ¿cuál es la naturaleza de dicha estructura en el Big-Bang?

La gravedad cuántica está relacionada con lo que acabo de decir. Creemos que es aquí donde la teoría cuántica y la gravitación interactúan. Y lo que esto nos dice es algo que he estado repitiendo durante años y a lo que se ha prestado muy poca atención. Se trata de un asunto muy obvio, realmente obvio. La estructura de las singularidades exhibe de manera evidente a la relatividad general y la mecánica cuántica actuando juntas. Esa estructura de las singularidades es asimétrica respecto al tiempo y esto nos dice que las leyes que intervienen en la gravedad cuántica, combinando la teoría cuántica con la relatividad general, deben ser asimétricas en el tiempo, mientras que las leyes usuales en Física son simétricas en el tiempo. Esto también nos dice, por lo menos así me lo parece a mí, que las leyes de la gravedad cuántica no

se deducirían con tan sólo aplicar la mecánica cuántica a la relatividad general. La verdad es que ésta es una afirmación aventurada, porque nadie sabe cómo poner todo esto en práctica, de cómo lograr la unión entre estas dos teorías. Y es que creo que la combinación de estas dos teorías debe dar lugar a una nueva teoría de un carácter completamente diferente. No se trata sólo de mecánica cuántica: la mecánica cuántica debería "aleatorizar" su propia estructura y tendría que involucrar una asimetría en el tiempo. Tengo razones para creer que todo esto se halla íntimamente ligado con el problema de la medición, el colapso de la función de onda, y esos fenómenos curiosos de la teoría cuántica que hacen que en muchos aspectos sea una teoría totalmente insatisfactoria. Como punto de vista, como imagen física, como interpretación filosófica del mundo, la mecánica cuántica es muy peculiar porque hace intervenir procedimientos incompatibles y mi particular punto de vista es que sólo la entenderemos cuando logremos combinar la relatividad general de Einstein con la mecánica cuántica en una sola teoría. Este punto de vista mío sobre gravedad cuántica difiere bastante del que la mayoría parece sostener y que básicamente consiste en intentar cuantizar la relatividad general y cuantizar la gravitación general y cuantizar el espacio-tiempo. Cuantizar significa tomar las reglas de la mecánica cuántica tal y como son y aplicárselas a una teoría clásica. Pero no me gusta usar esa palabra, porque creo que la teoría que buscamos demanda también un cambio en la misma estructura de la mecánica cuántica. Cuantizando no vamos a lograr esa nueva teoría que tiene a la teoría cuántica estándar en un extremo y a la teoría general de la relatividad en otro extremo; se precisa una teoría de carácter distinto al de esas otras dos.

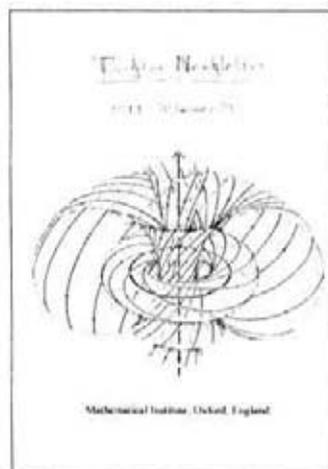
P: Permítame ahora discutir otro aspecto de su trabajo. Una de sus mayores invenciones es la teoría de los *twistors* que usted introdujo hace unos 30 años, si no estoy equivocado. ¿Cuál es el principal objetivo de la teoría de los *twistors*?

R: Bueno, el principal objetivo de la teoría de los *twistors* siempre tiene que ser encontrar la unión apropiada entre la teoría general de la relatividad y la mecánica cuántica. De manera que supongo que ya tenía ese punto de vista hace más de treinta años, antes de trabajar sobre singularidades, asimetría y todo aquello, y creo que ya sentía la necesidad de mirar las cosas de una manera radicalmente diferente. Permítame mencionar dos de las razones que motivaron la introducción de los *twistors*.

En primer lugar tenemos que los fenómenos no son locales: la mecánica cuántica nos dice que lo que ocurre en un lado de la habitación parece depender de lo que ocurre en otro lado, como pusieron de manifiesto los experimentos realizados por Alain Aspect en París hace unos 20 años. Aunque por supuesto cuando comencé con los *twistors* estos experimentos no se habían realizado todavía, las ideas de este tipo de fenómenos en Einstein, Podolsky, Rosen estaban ya presentes.

Ahora bien, yo diría que esa propiedad es tan sólo una vaga motivación, no es realmente algo sobre lo que la teoría de los *twistors* tenga mucho que

decir, ni siquiera ahora, pero sí dice, en cierto modo, que este aspecto de que los fenómenos no son locales es importante en nuestras descripciones y la teoría de los *twistors*, según se ha desarrollado, tiene ciertamente características de no localización más allá de aquéllas de las que yo estaba al tanto cuando comencé a pensar en estas ideas. Originalmente pensaba más en términos de rayos de luz completos como elementos fundamentales que en términos de puntos en el espacio-tiempo. La razón de pensar en rayos de luz surgió en realidad de algo totalmente diferente, que creo que es la motivación más importante subyacente en la teoría de los *twistors*, y que no era sino la unión entre la mecánica cuántica y la relatividad general sea cual sea ésta. Tengo la firme convicción de



que los números complejos y las estructuras analíticas complejas, las estructuras holomorfas, en fin, fundamentalmente números complejos, su álgebra y su análisis están en la raíz del comportamiento del mundo físico. Supongo que en parte la razón para pensar así proviene de mi educación matemática: cuando por primera estudié los números complejos, el análisis complejo, en la Universidad de Londres, flipé (como se dice ahora). Me pareció un tema fascinante, cosas, sencillas por otra parte, como que si una función tiene derivada entonces es analítica, y otras por el estilo, siempre me han resultado asombrosas.

P: Entonces, ¿qué son en realidad los *twistors* y en qué sentido son más fundamentales que los puntos del espacio-tiempo?

R: Verá, si continúo con el análisis complejo acabaré contestando también a eso. Ante todo, el análisis complejo es simplemente matemáticas, preciosas matemáticas tremendamente útiles en muchas otras áreas de matemáticas. Pero en teoría cuántica, uno se da cuenta, por primera vez, cómo el análisis complejo se sitúa en la raíz del asunto, en el sentido de que uno ve que está realmente allí, en la naturaleza, y que la naturaleza opera, al menos a pequeña escala, según los números complejos.

Una de las primeras cosas que hice en relatividad (aunque estoy seguro de que otras personas se habían dado cuenta antes que yo, pero en cualquier caso, no se sabía, o por lo menos no era bien conocido) y que me llamó poderosamente la atención es lo siguiente: al mirar al cielo ves una esfera, pero si dos observadores miran al mismo cielo, y uno de ellos se está moviendo a gran velocidad en relación al otro, entonces estos observadores ven un cielo ligeramente transformado uno respecto al otro y la transformación de ese cielo es una que preserva círculos y conserva ángulos. Pero se sabe en análisis complejo que se puede añadir un infinito a los números complejos y obtener así una esfera (la esfera de Riemann) y que las transformaciones que conservan ángulos son exactamente las transformaciones analíticas complejas. Me impresionó so-

bremanera este fenómeno porque dice, más o menos, que cuando miras al cielo lo que estás viendo es la esfera de Riemann, y que los números complejos están ahí afuera, en el cielo. Esta fascinante conexión matemática que, en cierta medida, contiene todas las transformaciones de la relatividad, tenía que significar algo. Ya sabíamos cuán fundamentales eran los números complejos en la mecánica cuántica y aquí los ves en un papel central en la teoría de la relatividad. De manera que mi posición fue decir, de acuerdo, no pensemos en los puntos, lo que ves cuando miras al cielo son rayos de luz, quiero decir que tú y una estrella en la distancia estáis conectados por estos rayos de luz y la familia de las cosas que estás viendo cuando miras al cielo es la familia de los rayos de luz que pasan través de tu ojo en ese momento. Luego lo que tiene la estructura compleja (en el sentido de números complejos) es el espacio de rayos de luz. Y eso quiere decir que quizás se pueda analizar la conexión entre la estructura del espacio-tiempo y los números complejos concentrándose en los rayos de luz y no en los puntos. Este fue realmente el origen de la teoría de los *twistors*.

Bueno, quizás esté engañando un poco al contar esto, pero supongo que uno siempre engaña un poco cuando explica una idea a la que se ha habituado. De hecho, aunque estos fenómenos ya los conocía y era consciente de su importancia fue otra cosa lo que realmente me guió en la dirección de los *twistors*. Es algo un poco técnico pero tiene que ver con que, de acuerdo, ves los números complejos en el cielo pero también los ves en muchas otras partes, por ejemplo, en las soluciones de las ecuaciones de Einstein. Los números complejos comenzaron a aparecer en cuanto hubo que buscar soluciones específicas de las ecuaciones de Einstein y resultó que con frecuencia era posible expresar elegantemente ciertos hechos utilizando números complejos y esto fue, para mí, muy sugerente. Tenía entonces esta imagen de un iceberg, en la que lo que estás viendo es la pequeña parte de la punta y el resto está debajo y no lo ves. Por debajo del agua se oculta un volumen realmente muy grande donde están estos números complejos, y escarbas y ves un poco más, pero el resto está debajo y no lo ves. Me parecía que estas soluciones en las que se manifiestan los números complejos eran tan sólo la punta del iceberg y que estaban realmente por debajo gobernando la manera en la que opera la estructura fundamental. Había que buscar, intentar averiguar de qué estructura compleja se trataba. No resultó fácil. Quizás no sea apropiado describir esto en detalle aquí, pero más o menos la dificultad era que ciertos hechos relacionados con las soluciones de las ecuaciones de Maxwell y las de las ecuaciones de Einstein demuestran que el espacio de rayos de luz no es en sí un espacio complejo, porque no tiene el número correcto de dimensiones. Si te centras en la estructura correcta comprendes que ésta es parte de otra que es una estructura extendida que tiene seis dimensiones y que sí es un espacio complejo propiamente dicho.

Retrospectivamente, ahora puedo describir estas cosas satisfactoriamente. Pongámoslo de esta manera, piensa en un rayo de luz. Un rayo de luz no es sino un fotón idealizado, pero idealizado en un aspecto específico que es el que quiero resaltar. Si se piensa en el rayo de luz como un camino a través del espacio-tiempo, pero si recuerdas que las partículas sin masa, en particular los

fotones, también tienen espín en la dirección de su movimiento entonces has de tener en cuenta este espín, y además conviene no olvidar que también tienen energía. El espín es un parámetro discreto, ya que es o espín a derecha o espín a izquierda, pero cuando introducimos la energía, que es un parámetro continuo, tenemos un grado más de libertad. Este espacio es naturalmente el espacio complejo de dimensión 3, que es justo la mitad del número de dimensiones reales que tenemos. De manera que se tiene todo, tienes los espines a derecha, los rayos de luz, los espines a izquierda y todo junto está ligado formando el espacio proyectivo de los *twistors*. Comprender que este espacio es más fundamental que el espacio-tiempo porque es un espacio complejo es un punto de partida que enlaza con otros temas en los que he estado interesado durante años, como los espinores y la manera general de tratar los espinores, cosas que había aprendido en las clases de Dirac, de hecho en ambas clases, de Bondi y de Dirac. Comprendí entonces que esta noción de los espinores como forma de tratar la relatividad general era una potente manera de razonar, pero entonces no hice lo que en realidad quería hacer que era librarme de los puntos y obtener descripciones que fueran enteramente holomorfas –enteramente complejas–. Estas descripciones estaban ahí y creo que siguen estándolo. Creo que ésta era una de las preguntas que quería hacerme.

P: Por tanto, ¿cómo se relacionan los *twistors* con los teoremas de singularidades? ¿tienen algo que decir acerca de esos teoremas?

R: La respuesta corta a esta pregunta es: no, o en versión ligeramente ampliada: todavía no. Pero se espera que sí que tengan algo que decir, aunque la teoría esté desarrollándose en dos direcciones totalmente diferentes.

La teoría de los *twistors* está motivada por el objetivo de tratar de poner juntas la relatividad general y la mecánica cuántica. Si se tiene éxito en esta dirección entonces habrá algo que decir acerca del problema de las singularidades, pero de momento tiene muy poco que ver directamente con el problema de las singularidades. Lo veo como un largo camino indirecto, pero que es necesario recorrer antes para poder comprender cómo encaja realmente la teoría general de la relatividad de Einstein con la teoría de los *twistors* y aunque se han hecho considerables avances hace veinte años y también recientemente, todavía es un puro interrogante. Todavía no comprendemos del todo cómo debemos representar la teoría de Einstein en la teoría de los *twistors*, pero hay serios indicios de que hay una buena conexión entre las dos, creo que ahora se puede afirmar esto. Pero ¿cómo?, todavía no está claro. Mi punto de vista es que la principal cuestión de la teoría de los *twistors* es ver cómo incorporar la teoría de Einstein en el marco de los *twistors* y, esto aún no se ha logrado. Lo que empieza a parecer claro es que en el proceso de incorporar la teoría de Einstein a la de los *twistors* también hay que incorporar las ideas de la mecánica cuántica, por lo que mi esperanza es que al introducir la relatividad general clásica en el ámbito de la teoría de los *twistors* se verá cómo la teoría cuántica debe combinarse con la relatividad general y que en esa combinación se verá también cómo trabajar con las singularidades, porque es el lugar en el que la combinación de las dos teorías aparece y debe haber asimetría en el

tiempo. De esta manera aparecen juntas y esto explicaría la diferencia entre las singularidades pasadas y futuras. Pero todos estos temas son esperanzas, no son algo que yo pueda hacer en estos momentos.

P: La teoría de los *twistors* ha tenido un gran éxito en cuanto a su aplicación dentro de las Matemáticas; ¿ha sido también de gran ayuda en la comprensión del mundo físico?

R: Diría que no mucho. Puede resultar curioso que yo diga esto. Esto no ocurre sólo en la teoría de los *twistors*, también sucede con la teoría de cuerdas, por ejemplo. En ésta se comenzó con grandes ambiciones de resolver problemas de Física y en lugar de esto surgieron ideas que tienen implicaciones dentro de las Matemáticas. Éste es también el caso de la teoría de los *twistors*, sus aplicaciones y su interés. Si reunieras a todas aquellas personas que afirman que trabajan en la teoría de los *twistors*, verías que en su mayoría son matemáticos sin ningún interés concreto en Física, interesados en geometría diferencial, sistemas integrables, o en teoría de representaciones, pero entre los que muy pocos tienen en la Física su interés primordial. Un poco irónico, ¿no? Al menos a mí así me lo parece: nos encontramos ante una teoría que se supone va a ser la respuesta a los problemas de la Física, y nadie tiene interés en el aspecto físico de la teoría.

P: Ha mencionado usted la teoría de cuerdas ¿hay alguna conexión entre la teoría de cuerdas y la de los *twistors*?

R: Creo que probablemente las hay. Es algo que no se ha estudiado en profundidad. Los grupos de personas que trabajan en estas áreas son más o menos disjuntos. Ha habido algunos intentos de unir estas teorías y aunque creo que todavía no se ha encontrado el vehículo apropiado para unirlos, hay algunas ideas. No me sorprendería que en el futuro se encontrara alguna conexión importante entre estas dos áreas, ahora mismo no hay demasiado.

P: Y acerca de las ideas actuales sobre *p-branas*, ¿qué opina? parecen más adecuadas ...

R: Bueno, hay cierta conexión. De hecho, está bastante claro que hay conexión, pero no sé qué importancia puede tener. Estuve hablando con Ed Witten recientemente acerca de la *5-branas*, comentando cuán interesante podría ser. Es curioso porque hay un trabajo de Michael Singer, de hace algunos años, trabajos de Andrew Hodges y también míos, en los que se sugiere que lo que se debería estudiar es cierta generalización de las cuerdas. Las cuerdas deberían pensarse como superficies, porque son cuerdas en el tiempo, es decir, algo unidimensional en el tiempo, y por tanto hay dos dimensiones. Estas cosas se estudian de manera natural en conexión con espacios complejos unidimensionales, superficies de Riemann. Pero lo que teníamos en mente estaba mucho más en la línea con los *twistors*, sería estudiar la versión en tres dimensiones complejas, como los espacios de *twistors* de Pretzel y cosas así, en los que como hay tres dimensiones complejas, hay seis dimensiones reales, y si se les puede considerar como *branas*, serían *5-branas*. Ahora bien, ¿hay conexión entre estas *5-branas* y las *5-branas* de la teoría de cuerdas? No lo sé,

no. No lo he investigado en detalle y creo que no lo he comentado con Witten. Pero puede que sí que haya ahí algo por explorar, no lo sé. Podría haber tal conexión, sí.

P: Bueno, los anteriores logros que hemos comentado son fantásticos pero en cierto sentido algunos de ellos han sido eclipsados por sus enlosetamientos no periódicos. Al principio de los 70 creo que descubrió dos losetas con las que se puede enlosetar el plano, pero de manera no periódica, es decir sin simetría traslacional. ¿Cómo descubrió este enlosetado no-periódico?

R: Bueno, los enlosetados me interesaban por pura diversión. Siempre he estado garabeteando enlosetados. Si me aburría con lo que estaba haciendo, entonces intentaba colocar formas distintas juntas sin ningún interés científico concreto, aunque supongo que había alguna conexión con mi interés por los temas de cosmología. Las grandes estructuras del universo son muy complicadas a gran escala, pero parece que, en el fondo, deben estar gobernadas por leyes sencillas. Estaba intentando encontrar un modelo para este tipo de cosas en el que estructuras muy sencillas producen grandes complicaciones en áreas grandes y tenía interés en cierto tipo de diseños jerarquizados. Jugaba con losetas jerarquizadas, como decía, formando grandes estructuras a partir de otras más pequeñas y entonces usaba las grandes para producir otras de escala aún mayor, que tienen el mismo carácter pero diferente escala respecto de las que acabas de construir. Así que jugaba con los enlosetamientos jerarquizados y también tenía interés en Escher y su trabajo y una vez coincidí con él. Acababa de producir formas de losetas, unidades que sólo enlosetaban de maneras complicadas y el mismo Escher utilizó una de éstas en el que, creo, fue su último dibujo.

P: ¿Tiene esto algo que ver con los objetos imposibles de Escher? ¿Así se llaman, no es cierto?

R: Eso es diferente. Los objetos imposibles: la escalera, y, como lo llaman ahora, el triángulo son objetos con los que mi padre y yo jugábamos. Por este motivo conocíamos a Escher, porque incorporó estas cosas a algunos de sus dibujos: *Ascending and Descending* utiliza la escalera y *Waterfall* utiliza el triángulo. La verdad es que Escher usó estas formas porque le había enviado una copia de nuestro trabajo. También le dejé, cuando le visité, una copia de un rompecabezas que había hecho con piezas de madera y que él intentó montar. Lo consiguió, lo hizo bien, y más tarde cuando le explicaba la base sobre la que estaba construido realizó un dibujo que se llama *Ghosts*, que, como antes mencioné, parece ser el último dibujo que hizo estando ya bastante enfermo. Este dibujo estaba inspirado en la loseta que le había enseñado 12 orientaciones diferentes de esa forma. Pero esto era tan sólo una línea anecdótica, simplemente un divertimento. Los enlosetamientos surgieron en dos etapas. Jugaba con pentágonos y tengo que decir que ninguna de estas cosas aparecían por allí. Estoy seguro de que tengo una deuda con Kepler, aunque no me diese cuenta en ese momento, porque mi padre poseía un libro, que ahora tengo yo, en el que había un dibujo que Kepler había diseñado y que tenía diferentes enlose-

tamientos con los que jugaba y algunos de ellos tenían pentágonos. Ahora, al mirar hacia atrás, me doy cuenta de que esos enlosetamientos con pentágonos eran muy parecidos a las formas de enlosetamientos que yo produje más tarde. Ahora me doy cuenta de estas cosas porque las había visto, pero no era algo en lo que pensara cuando estaba produciendo las mías propias, simplemente aderezaban mi forma de pensar, que creo debe de ser bastante similar a lo que le sucedió a Schechtman cuando descubrió los quasicristales, porque él no pensaba en mis enlosetamientos, pero cuando hablé más tarde con él, me dijo que los conocía y sospecho que es el tipo de cosas que se ponen en una especie de marco en la mente de manera que cuando ves algo eres más receptivo de lo que hubieras sido de otra manera. Sí, estoy seguro de que esto fue lo que me pasó con Kepler, que me hizo más receptivo a ese tipo de diseño.

P: Quería preguntarle si es cierto que estas formas tridimensionales de losetas que han aparecido en los últimos años han cambiado algunos temas, como los cuasicristales que ha mencionado antes. ¿Se le ocurrió alguna vez que serían posibles este tipo de aplicaciones de sus enlosetamientos no periódicos?

R: Sí, pero fui muy cauteloso, porque aunque sabía que tenían posibilidades teóricas, lo que me preocupaba era cómo montarlas. Si alguna vez tratas de armar estas cosas verás que es muy difícil y que sin cierta prudencia es difícil no cometer errores continuamente. A veces en conferencias sobre enlosetamientos me preguntaban: ¿significa esto que hay una área completamente nueva en cristalografía en la que se usan?, y mi respuesta tiende a ser, bueno, sí, eso es cierto, sin embargo, ¿cómo puede la naturaleza producir cosas como éstas? Y es que requieren un montaje no local, por lo menos eso me parecía. Quizás puedan sintetizarse esos objetos con gran dificultad en el laboratorio pero no veía como podría producirlos la naturaleza espontáneamente.

Ahora creo que aunque los vemos, la situación sigue siendo más o menos la misma y no creo que se sepa cómo producirlos espontáneamente; hay diferentes teorías acerca de cómo pueden surgir. Quizás haya algo un poco no local, algo básicamente mecánico cuántico, acerca de estos temas y aunque yo creo que esto es probablemente cierto, no es un área en la que haya consenso. De hecho no se está siquiera totalmente de acuerdo en que los cuasicristales tengan este tipo de diseño, aunque creo que ahora está bastante aceptado, y, en cualquier caso, es una descripción bastante próxima a la realidad.

Ví por primera vez los objetos físicos reales, los patrones de difracción, cuando me los mostró Paul Steinhardt en un congreso en Jerusalén en el que ambos participamos. Este congreso trataba de cosmología y mi conferencia trató sobre relatividad general y energía y la suya sobre cosmología inflacionaria; se acercó y me dijo que quería hablar sobre algo que no tenía nada que ver con el congreso y me enseñó estos patrones de difracción. Me asombraron. Eran muy gratificantes, y, de hecho, de forma harto curiosa, no me sorprendieron del todo. Debí pensar que sí, que debían ser correctos y que la naturaleza era capaz de fabricarlos, de alguna manera. Quiero decir que la naturaleza actúa de esa manera: no conocemos cómo hace multitud de cosas pero parece tener una manera de conseguirlas que puede parecer milagrosa. Esos patrones eran simplemente otro ejemplo de esto.

P: ¿Hay algún otro ejemplo entre sus divertimentos matemáticos, a los que me consta es tan aficionado, que aparezca en la Naturaleza, en la Física?

R: Una respuesta que puedo darle es algo que aprendí de mi padre: no se puede trazar una línea entre lo recreativo y lo real. Él era un poco así, hacía cosas para divertirse, hacía objetos de madera, que eran juguetes para los niños, rompecabezas. En su trabajo hacía cosas tales como complicadas reglas deslizantes que se suponía hacían algunos cálculos estadísticos de sus tests, y hacía modelos. Creo recordar que hizo un busto de uno de sus pacientes y en los últimos años de su vida pasó mucho tiempo produciendo modelos químicos que tenían la propiedad de reproducirse a sí mismos. Ahora si piensas en todo esto, te das cuenta que no hay una línea que divida lo recreativo y lo real.

P: En 1989 publicó un libro que fue todo un éxito de ventas en muchos países, por supuesto me refiero a "La nueva mente del emperador". En este libro habla de ordenadores e inteligencia artificial, la mente, las leyes de la Física, y otras muchas cosas, pero ¿cuál es el tema central del libro?

R: He comentado anteriormente en la conversación que me había formado cierto punto de vista mientras era estudiante de doctorado. Creo que antes de eso yo estaba bastante de acuerdo con la idea de que todos somos ordenadores pero, no obstante, me parecía que los teoremas de Gödel nos dicen que hay aspectos de nuestro entendimiento que no pueden ser encuadrados en el ámbito computacional.



Sin embargo, todavía mantengo un punto de vista científico que es que tiene que haber algo en las leyes de la Física que nos permite comportarnos de la manera que lo hacemos.

Las leyes físicas son muy profundas y creo que sabemos mucho menos acerca de ellas de lo que mucha gente admitiría.

Estaba bastante preparado para creer que había algo fuera de la computación. La lógica matemática me ha interesado durante mucho tiempo. El hecho de que haya cosas de naturaleza matemática fuera de la computación es algo que he entendido desde hace mucho tiempo, nunca me asustó, y siempre me pareció perfectamente natural.

Un día, en un programa de televisión, "Horizonte," reposición de una emisión que ya había visto anteriormente, escuché a Marvin Minski y Edward Friedkin, y a otras personas, hacer afirmaciones ridículas sobre cómo los ordenadores iban a poder hacer todo lo que podemos hacer nosotros. Lo que decían tenía lógica, si fuese cierto que somos ordenadores; no creía en tal hipótesis y me pareció que eso era algo que en forma alguna habían tenido en cuenta. No sólo no lo habían tenido en cuenta ellos, sino que, en realidad, nadie lo había considerado hasta entonces. Antes de todo esto yo tenía pensado escribir un libro popular o semipopular sobre Física, sobre el mundo. Era algo que había pensado hacer

en algún momento de mi vida, quizás cuando me retirase. Pero este asunto me hizo ver ese libro con una perspectiva particular para la que parecía el momento oportuno. Explicaría cosas acerca de la Física y de cómo es el mundo hasta donde lo conocemos hoy, pero con el enfoque particular de averiguar si hay espacio para algo que tuviera carácter no-computacional. Nunca había visto a nadie discutir este aspecto; nadie, al menos así lo creo, había considerado esto un punto de vista seriamente. Me pareció necesario plantearlo. Y eso es lo que hice.

P: De manera que por un lado había un ataque profundo a la inteligencia artificial y por otro también cuestionaba el hecho que ha mencionado antes de que la mecánica cuántica es incompleta pero que hemos de entender las leyes físicas para poder comprender el funcionamiento de la mente.

R: Creo que realmente tenía ese punto de vista, sentía que si había algo no computacional tenía que estar fuera de las leyes físicas que actualmente conocemos, porque estas leyes parecen tener ese carácter computacional. Bueno, esta última cuestión no está tan clara, pero al menos ése parece ser el caso. Y también me parece que el vacío mayor en nuestra comprensión se sitúa en cuanto comenzamos a aplicar la mecánica cuántica a objetos de gran tamaño, en los que las reglas de la mecánica cuántica nos dan respuestas sin sentido y nos dicen cosas como que los gatos tienen que estar vivos y muertos al mismo tiempo y otras cosas parecidas que no tienen ningún sentido. Nuestro mundo no es así. Sin embargo, se suponía que la teoría cuántica era totalmente precisa. Como no entendemos las manifestaciones de esa teoría a gran escala, parece que la teoría no puede ser suficientemente precisa y que debe haber algunos cambios que tengan lugar cuando intervienen objetos a gran escala. Creo que ya entonces pensaba que esto tenía que ver con cómo los fenómenos gravitacionales se entrelazan con los efectos cuánticos, pues es entonces cuando los cambios empiezan a aparecer. Ésta era mi forma de verlo en aquellos tiempos, y todavía lo veo así. Pero cuando escribía "La nueva mente del emperador" no tenía una idea muy precisa de qué efectos cuánticos podían ser realmente relevantes en las funciones cerebrales y podían tener influencia a mayor escala y dónde debían intervenir estas nuevas nociones físicas no computables. Empecé a escribir el libro con la esperanza de haber aclarado mis ideas al respecto para cuando ya lo estuviera terminando. Y así ocurrió. Quiero decir que cuando comencé, ignoraba muchas cosas que tenían que ver con el cerebro, y que tuve que estudiarlas con cierta profundidad para poder escribir esos capítulos específicos. Por ejemplo, sobre la idea concreta de la plasticidad del cerebro, de que las conexiones entre las neuronas pueden cambiar y que estos cambios pueden tener lugar muy rápidamente. Me pareció que esto era muy importante y quizás la Física intervenga en la naturaleza de dichos cambios.

P: ¿Le sugirió esto alguna pista acerca de cuáles eran los cambios que había que hacer en mecánica cuántica?

R: Bueno había un gran paralelismo. Me había interesado mucho esa cuestión, y se hizo aún más interesante por su relación con el problema de

la mente. Creo que hay una relación muy importante con la mente. Y eso convierte en más urgente, en más interesante o en apasionante el conseguir entender cómo tienen lugar los procesos de medición en mecánica cuántica. Me hizo pensar más en serio que antes y me obligó a cambiar mi punto de vista entre los dos libros.

P: Se refiere usted ahora a su segundo libro "Sombras de la Mente", ¿trata de los mismos problemas en este otro libro?

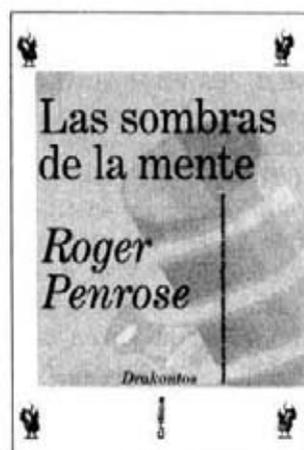
R: Sí, "Sombras de la Mente" tiene una intención ligeramente ambivalente. Comencé a escribirlo con el propósito de rebatir ciertas críticas e interpretaciones erróneas de "La nueva mente del emperador". No se me había ocurrido que el tratamiento del teorema de Gödel en "La Nueva Mente del Emperador" fuera a recibir réplicas tan vehementes como las que recibió de algunas personas. Era un novato. No pensé que algunas personas podrían sentirse atacadas.

En el libro explicaba que si uno tiene un sistema en el que cree y del que piensa que puede ser útil en demostraciones matemáticas, entonces se puede fabricar un enunciado que está fuera del sistema. Ahora bien, se necesita una hipótesis, la de que el sistema debe ser consistente, que no me preocupé de recalcar porque me parecía bastante obvio que no tiene sentido utilizar un sistema si no crees que es consistente. Me refero a demostraciones en un sistema en el que no necesariamente crees, ¿qué te hace creer en el resultado, si no crees en el sistema? Esto me parecía obvio pero no lo enuncié explícitamente.

Estos detalles pueden ser criticados, y la gente así lo hizo. Era necesario discutir todos estos temas con mucho más cuidado en "Som-

bras". No era mi intención escribir un libro largo o divulgativo. Se trataba simplemente de aclarar esos temas, quizás incluyendo los detalles técnicos y sin arredrarse ante las necesarias complejidades. Pero cuando estaba escribiendo el libro sucedieron dos cosas.

Una de ellas es que recibí una carta de Stuart Hameroff en la que me hablaba acerca del citoesqueleto cuyas células tiene una estructura interna que desconocía absolutamente. La mayoría de las personas que trabajan en inteligencia artificial parecían no estar al tanto entonces, incluyendo a Marvin Minski, como me aseguró más tarde. Me pareció que había un área totalmente nueva, un área en la que resultaba mucho más verosímil que los efectos cuánticos pudieran ser importantes. Se trata de estructuras mucho más pequeñas, estructuras organizadas mucho más compactamente. Estas estructuras eran *microtúbulos*, donde es creíble que pudieran tener lugar fenómenos cuánticos coherentes. Todavía es difícil ver cómo puede ocurrir esto, porque es difícil mantener estados cuánticos de gran escala, que es lo que se necesita para que estas



ideas funcionen; es necesario ir más allá de lo que es posible hacer hoy en día en cualquier laboratorio de Física. No se ha realizado ningún experimento físico que haya logrado alcanzar el tipo de coherencia cuántica que se precisaría para que tuviese lugar el tipo de fenómeno que yo creo sucede continuamente en nuestro cerebro. La naturaleza ha sido mucho más inteligente que lo que el sistema ha podido ser hasta ahora. Sin embargo, el citoesqueleto y, en particular, los microtúbulos me parecen estructuras donde sí, por qué no, esto sería posible.

Esto me forzó a cambiar la naturaleza del libro, quería que aparecieran en él los microtúbulos y el citoesqueleto y para ello debía aprender un poco más acerca de esto y a expresar por qué pensaba que era importante en relación al funcionamiento del cerebro.

La otra cosa que sucedió fue que en cierta medida cambié el punto de vista que durante tanto tiempo había mantenido y que aparece expresado en "La Nueva Mente del Emperador," y que, más o menos, dice que si tienes una discrepancia demasiado grande entre dos estados entonces éstos no se superponen, los estados se reducen. Esta discrepancia se mide en términos de la geometría del espacio, es decir, en términos gravitacionales. A esto yo lo denomino *criterio de un gravitón*, y tiene que ver con cuántos gravitones son relevantes para esta distinción, para la diferencia entre esos dos estados. Mi propio punto de vista, que desarrollé en un trabajo posterior, y también lo expuesto en trabajos que habían sido hechos por otros, en particular, por el húngaro Diósi y el italiano Ghirardi, y otros colegas que habían propuesto diferentes ideas en relación con la reducción del estado cuántico, me llevaron a modificar la forma de entender las superposiciones. Se trata de una modificación significativa. Esencialmente, cuando tienes dos estados que son muy distintos uno del otro no se forman superposiciones, pero si son diferentes uno de otro, de manera parecida, entonces se convierten en inestables y aparece una gradación de tiempo necesaria para que sí se superpongan, para que cambien de uno a otro. Esto es un poco técnico. Hay una escala de tiempo, no un brusco salto, que produce resultados mucho más plausibles. Es un punto de vista más verosímil, más fácil de utilizar, mucho más relevante, quizá, para la acción del cerebro; se ve claro cómo se puede usar. Stuart Hameroff y yo hemos colaborado en perfilar una serie de sugerencias de cómo esta idea puede llevarse a cabo, pero hemos encontrado fuerte oposición a este programa por parte de mucha gente. Estas ideas son decididamente especulativas, no hay duda al respecto. Pero no creo que se pueda considerar como especulativo la afirmación de que algo como lo acabo de describir sea lo que en realidad ocurre. La consciencia parece ser un fenómeno tan diferente de otras cosas que vemos en el mundo físico que tiene que ser algo muy especial. En cuanto a su organización física puedo discernir con claridad que se trata de las ideas tradicionales de la Física organizadas en sistemas más complejos. Pero tiene que haber algo más, tiene que haber algo de naturaleza completamente diferente de las otras cosas que son importantes en la forma en la que funciona el mundo. Algo que aunque se use sólo ocasionalmente tenga una organización tan refinada que se aproveche

de la reducción de estados y la canalice en la dirección de hacernos funcionar, pero que muy raramente se aproveche en los fenómenos físicos de manera útil.

P: En esos libros nos muestra usted al filósofo que lleva dentro, ¿cómo se enfrenta usted al Gran Misterio?

R: Bueno, hay gran cantidad de preguntas sin respuesta, por supuesto. Querría enfatizar que incluso si todo lo que Stuart Hameroff y yo decimos resultara ser absolutamente correcto, esto no daría una respuesta a esas preguntas, o mejor, a esa pregunta, aunque eso sí, nos aproximaría un poco en la dirección correcta. En realidad, creo que se está avanzando bien poco en la respuesta a esas preguntas. El aspecto principal de mi punto de vista es que para saber cómo funciona la mente, quiénes somos, qué es la consciencia, por qué estamos aquí y cómo es que en el universo tienen cabida seres que pueden ser conscientes de su propia existencia, o si hay vida después de la muerte y cualquier pregunta de este tipo, me parece que tenemos que saber más acerca de cómo es el mundo y realmente sabemos muy poco. A menudo se dice que los físicos no dudan en afirmar que la solución a la gran teoría del universo está ya a la vuelta de la esquina, y que casi ya conocemos la Teoría de Todo. Pero yo no creo que nos hallemos en ese punto; creo que hay grandes áreas de las que casi no tenemos conocimientos. Es bastante curioso que se crea tener una teoría que pretende abarcar, al menos en principio, la mayoría de las cosas que ves a tu alrededor, y explicar si se comportan de una manera o de otra, cuando a una de las cosas más fundamentales simplemente no se le hace ni caso, casi como si se la barrera bajo la alfombra, y me refiero a la reducción de estados cuánticos. Los físicos dicen que la teoría cuántica es elegante, funciona perfectamente y describe cómo se comportan las partículas pequeñas, pero lo que la teoría cuántica no describe es como se comportan las grandes colecciones de partículas pequeñas. Simplemente, da respuestas falsas. Por ejemplo, la teoría cuántica dice que se podría fácilmente poner a un gato, el famoso gato de Schrödinger en un estado en el que simultáneamente estuviera vivo y muerto. Esto es lo que nos dice la teoría. Simplemente está mal, eso no pasa. Lo que quiero decir es que hay algo importante que falta en nuestra visión del mundo. Se trata de algo enorme, y no, simplemente, de un pequeño fenómeno que no hemos alcanzado a comprender porque nos falta un último decimal correcto, o por la constante de acoplamiento o por algo del estilo. No, se trata de un aspecto fundamental en la manera en la que el mundo se comporta y que, simplemente, no comprendemos; y comprenderlo es un pequeño paso hacia la comprensión de lo que es la mente. Creo que es parte de ello, pero no será la respuesta a la pregunta. Algún día sabremos qué son los estados de reducción y espero que cuando lo sepamos, si no nos hemos destruímos antes, tendremos alguna teoría que lo explique. Pero esta teoría tendrá como parte de su propia naturaleza una manera totalmente diferente de mirar al mundo de la que tenemos ahora. Ya hemos visto lo que sucedió con la teoría general de la relatividad de Einstein. Antes teníamos la teoría de Newton que nos decía cómo se atraían los cuerpos mediante fuerzas y cómo se movían y todo era elegantemente preciso. La teoría de Newton es

increíblemente precisa. Nos dice cómo se mueven los planetas en órbitas casi con total precisión, no es absolutamente precisa, pero casi. Se podría pensar que bastaría una ligera modificación para que fuese totalmente correcta, pero eso no es lo que sucedió. Einstein produjo una teoría de estructura totalmente diferente, completamente diferente de la teoría de Newton y aunque da respuestas que son casi exactamente las mismas, el marco filosófico es bastante diferente. La propia naturaleza del espacio se alabea, nuestra concepción del espacio cambia totalmente. Lo que quiero decir ahora es que cuando vemos en qué forma ha de transformarse la teoría cuántica para acomodar la reducción de estados como un fenómeno y el proceso de medición como un fenómeno, nos damos cuenta de que la teoría correcta entenderá de una manera totalmente diferente qué es la materia y cómo es el mundo.

P: ¿Quiere con esto decir que es un paso que nos ayudará a tratar estas cuestiones que suelen considerarse como exclusivas de la religión?

R: Creo que sí, pero me parece que soy más tolerante. Quizá no sea esa la palabra correcta, digamos que creo que soy un poco más receptivo a las opiniones religiosas que la mayoría de las personas que sostienen opiniones totalmente científicas. No es que crea en el dogma que forma parte de la religión, quiero ser preciso, no creo en los dogmas de ninguna religión establecida. Por otra parte, las religiones intentan estudiar cuestiones que la ciencia no trata. Los asuntos morales, la moralidad, ¿son algo externo a nosotros? Yo llamo a estas cosas *inesencialmente platónicas*. Hay una noción platónica, una noción absoluta de qué son estas cosas. Y tengo que decir que me inclino en esa dirección. Creo que no es algo hecho por el hombre, sino que hay cosas externas a nosotros que en este momento no podemos comprender científicamente, pero que sin embargo son parte de un gran marco conceptual que quizás algún día se entienda globalmente. Estas cuestiones hoy en día no se consideran como parte de la ciencia, sino como parte de la religión. Como he dicho, no creo en dogmas religiosos, y pienso que la religión está buscando a tientas algo para lo que aún no tenemos respuestas y que está fuera de la ciencia tradicional. Creo que todo este proyecto debería ampliar su perspectiva y cambiar profundamente su carácter.

P: Hemos hablado hasta ahora tan sólo de una pequeña parte de su trabajo, pero ¿cuál es el resultado, teorema o teoría, del que se encuentra más satisfecho?

R: ¿Resultado mío?

P: Suyo.

R: Tengo que decir que la teoría de los *twistors*, sí, desde luego, la teoría de los *twistors*. Los enlosetados no periódicos son bonitos, y es algo que se puede enseñar a cualquiera, pero no es algo profundo, no es algo a lo que haya dedicado una parte de mi vida. Supongo que lo que más te gusta es aquello a lo que has dedicado más tiempo. Sí, diría que la teoría de los *twistors*, aunque no es muy apropiado llamarlo teoría porque todavía desconocemos cuál es la

teoría, la teoría de verdad. Pero no sé si es una respuesta a su pregunta porque no es un resultado, ni un teorema, sino un conjunto de ideas.

De lo que me siento más orgulloso es de todo el programa encaminado a representar la teoría de Einstein en términos de la teoría de los *twistors*. En particular me siento muy satisfecho de la construcción del *gravitón no lineal*, aunque no es tan sólo una etapa en este camino. Espero que cuando comprendamos realmente cómo se pueden incorporar las ecuaciones de Einstein a la teoría de los *twistors* tendremos una perspectiva mucho más amplia de lo que esto es tan sólo parte. Pero todavía no hemos llegado a ese punto.

P: ¿Cómo elige un problema? quiero decir ¿cuál es su método de trabajo? Le he visto muchas veces en sus clases y seminarios haciendo dibujos ¿visualiza así las cosas?

R: Gran parte es visual, aunque no exclusivamente. Algunas de las cosas que he hecho no son totalmente visuales, las cosas algebraicas, por ejemplo, pero encuentro las imágenes visuales absolutamente esenciales en mi trabajo y esa es la manera en la que trabajo habitualmente. A veces empiezo a escribir pero no me ayuda mucho. Y ocurre también que puedo ver una imagen, pero que dibujarla en un trozo de papel me no ayuda porque no es algo que se pueda expresar bien de esa manera. Es una imagen que es difícil de expresar. Algunas veces puedo expresar ideas de manera precisa mediante dibujos, pero otras veces esa precisión resulta engañosa. Tienes que saber lo que significa. Quiero decir que los dibujos no son realmente precisos porque puedo dibujar algo que no tiene el número correcto de dimensiones y que en realidad se halla en un espacio complejo en lugar de en uno real, pero acabas desarrollando un sentido que te permite decidir lo que es y lo que no es fiable en un dibujo. En cierta medida es un alivio cuando puedes obtener un resultado mediante cálculos, cuando puedes reducir un resultado a cálculo, pero la verdad es que realmente hay pocas cosas entre las que hago que se puedan resolver con cálculos, porque ese no es el problema, el problema es conceptual o geométrico, generalmente conceptual. Tienes que mirar a las cosas desde el punto de vista correcto. Y esto, en ocasiones, puede ser muy complicado. Creo que en cuanto a las Matemáticas, soy mejor en geometría, visualizando cosas. No me resulta fácil trabajar con fórmulas complicadas, o con cosas analíticas. Es un trabajo cuesta arriba. Hasta cierto punto, hay que interpretar geoméricamente los conceptos del análisis.

P: ¿En qué está trabajando ahora?

R: La mayor parte del tiempo, siempre que no esté intentando escribir interminables cosas, una tras otra, o todas a la vez, me intereso por el problema de las ecuaciones de Einstein y los *twistors* o el problema del *googly* que creo que está casi a punto de ser resuelto, pero todavía no está completamente claro¹. Pero el que considero el problema clave, cuando trato de investigar

¹En la revisión de esta entrevista, realizada en agosto de 1998, el Profesor Penrose nos ha comentado que han surgido nuevas ideas que permiten conjeturar una solución al problema.

y que no está mezclado con otras cosas es tratar de formular las ecuaciones de Einstein dentro de la teoría de los *twistors* en un marco completo, para terminar lo que el gravitón no lineal sólo alcanzó a medias.

P: Ha mencionado usted a algunos matemáticos, pero ¿podría decirme quién es el matemático que más admira?

R: Esa es una pregunta difícil, la historia es muy larga. Hay muchos grandes matemáticos, pero no estoy seguro de poder señalar sólo uno. Siempre he sentido una gran admiración por Riemann, porque fue como un milagro. Creo que como matemático quizá me decantase por Riemann, pero no está claro porque hay algunos en el lado de la Física. Siempre he pensado en Galileo, Newton, Maxwell y Einstein como las cuatro figuras más grandes, pero supongo que hay que decir que la figura de Newton me impone aún más que la de Einstein. Einstein tuvo ideas absolutamente maravillosas: la relatividad general es una teoría formidable a la que pongo a la cabeza de la lista de teorías porque es asombrosa. Pero Newton fue un matemático portentoso, y Einstein no lo era tanto, aunque tenía esas tremendas intuiciones, intuiciones físicas. Newton tenía esa gran potencia como matemático con profundas intuiciones físicas. Nunca me olvido de Maxwell o Galileo, a los que siempre he admirado. No quisiera señalar a ninguno en particular, pero diría que Riemann como matemático, creo que incluso más que Gauss. Y Arquímedes, otra figura impresionante.

P: ¿Qué opina sobre la dirección en la que se encamina la investigación matemática de hoy en día?

R: Hay mucha investigación.

Me inquieta el papel que juega la tecnología en cómo van las cosas, y esto no es culpa ni de los matemáticos ni de los físicos. En cierto sentido la tecnología es un problema, porque aunque es maravillosa, tienen el efecto de magnificar las modas. Las modas controlan lo que se investiga por lo fácil que resulta comunicar ideas de un extremo al otro del mundo: es instantáneo. Esto hace que se pueda avanzar mucho en áreas que están de moda, pero siento que con todo, así se pierde algo. Es un poco tonto pensar de este modo, pero cuando las comunicaciones eran mucho más difíciles había esos pequeños grupos de personas centradas en su propio trabajo. Quizás tenga una visión romántica y sentimental de cómo eran las cosas entonces, probablemente equivocada, quizás ya entonces las modas eran importantes. Pero hay algo en la globalidad del papel que las modas juegan ahora que encuentro un poco inquietante. Es peor en Física que en Matemáticas, pero la situación en Matemáticas también es bastante mala. Siempre he creído que las Matemáticas eran inmunes a este tipo de cosas, pero no es cierto. Antes cada uno trabajaba en lo suyo desarrollando sus propias ideas, y en ocasiones se reunía con otros y alguna idea común fructificaba. Ahora vas a cualquier sitio y todo el mundo trabaja en lo mismo y es un poco descorazonador. En Física es así.

P: La comunicación es beneficiosa, pero el aspecto que usted destaca es bastante negativo.

R: Sí, es un aspecto perjudicial. Pero hay otro asunto que también me preocupa, y aunque no es relevante en Matemáticas, pero sí en lo es en Física, y que tiene que ver con los enormes gastos en que hay que incurrir para realizar grandes experimentos. Hay que desarrollar experimentos que cada vez requieren máquinas más y más grandes para observar energías más y más grandes. Por supuesto que entiendo por qué interesa. Pero se requiere respaldo de gobiernos, ingentes cantidades de dinero y enormes organizaciones. Para decidir quién recibe estos dineros se crean comisiones integradas por expertos en esas áreas. Pero, ¿por qué son expertos? ¿por qué forman parte de esas comisiones? Quizá porque fueron la gente importante en el desarrollo de las teorías al uso. Y de esta manera las teorías al uso quedan entronizadas y es difícil romper el cerco.

Todo esto está relacionado con lo que antes decía. Las modas en un área experimental combinadas con el efecto adicional que supone el coste de los experimentos, delimitan ciertas maneras de pensar.

P: También es algo político.

R: Se convierte en algo político, sí, y no es justo, no se tiene la libertad de pensamiento que había antes. Sólo estoy señalando los puntos negativos, porque quizás los positivos sean más obvios, no lo sé. Claramente hay una enorme actividad. En cualquier parte del mundo te encuentras con personas que en otras circunstancias, sin los medios de comunicación actuales, no hubieran tenido la oportunidad de pensar científicamente y que ahora sí que pueden hacerlo. Eso es positivo y estoy de acuerdo con eso pero sólo estoy señalando que también hay una parte negativa que encuentro un poco inquietante. Veo esto en Física, y no estoy seguro de que las direcciones que estén de moda sean realmente aquellas en las que se debería centrar el progreso.

P: ¿Está cuestionando la manera en la que se decide lo que es importante y lo que no lo es?

R: Sí, creo que hay que encontrar una fórmula mejor.

P: ¿Podría aconsejar a los jóvenes investigadores cómo tratar con esto?

R: Es difícil aconsejar a los jóvenes investigadores porque están atrapados en el sistema. Si un joven investigador quiere encontrar trabajo debe dedicarse a una área que vaya a ser apreciada por quienes pueden darle ese trabajo. Si hablase exclusivamente desde el punto de vista de la ciencia diría que, por ejemplo, hay problemas entusiasmantes e importantes como la reducción de estados cuánticos o como por qué se equivoca la mecánica cuántica, pero si un joven investigador se centra en pensar en esos problemas su actividad será considerada como marginal, o quizá, hasta un poco tonta. La teoría de los *twistors* parece tener éxito entre los matemáticos, pero hay muy pocos físicos que conocen o aprecian esta teoría.

P: Recuerdo haber leído en uno de sus trabajos que desde ese punto de vista la teoría de los *twistors* era un asunto esotérico.

R: Sí, no se estudia demasiado. Pero eso no me disgusta. Si hubiera mucha gente trabajando en los *twistors* sería muy complicado estar al tanto de lo que están haciendo. Y tendría que aprender lo que hacen y comprender su notación que probablemente sería diferente de la mía y eso es un trabajo duro. Pero sí sé que nadie está trabajando en algo entonces es cuando no tengo prisa, porque no tengo que llegar antes.

P: Eso es cierto. Pero ¿cuál de los avances científicos recientes, en general, le ha impresionado más, o ha encontrado usted más interesante?

R: Es difícil. Diría que la cosmología. El fenómeno de lentes gravitacionales. Trabajé en ello un poco hace algún tiempo. Es algo realmente asombroso. Sí, diría que astrofísica y cosmología.

P: ¿Cuáles son los aspectos que le resultan más interesantes?

R: Como decía considero el fenómeno de lentes gravitacionales particularmente apasionante. Lo encuentro interesante porque es una consecuencia de las teorías de Einstein de relatividad general que se consideraba difícil incluso de medir. Lo que primero apuntó a que la teoría de Einstein era correcta, de manera convincente, fue el experimento de Eddington que demostró que el Sol desviaba la luz de las estrellas. Pero imaginar que estos efectos se podían observar a escala cosmológica, es decir, que una galaxia pusiera en foco a otra, hubiera parecido ridículo. Sin embargo, hoy en día es una herramienta usual para la observación. Se utiliza constantemente. Permite determinar la masa de un objeto midiendo cuánto enfoque ejerce en la imagen que está detrás suyo. Es maravilloso. Creo que me gusta, no sólo porque es una herramienta potente en cosmología sino porque utiliza algo que me es muy querido.

Pero este es sólo uno de los temas. Hay otras muchas cosas. Por ejemplo, esos experimentos en mecánica cuántica en los que puedes detectar efectos cuánticos no locales entre dos objetos separados por una distancia de doce metros, o incluso más. Esto es asombroso. Sabíamos que esos efectos estaban ahí, pero detectarlos es algo muy distinto.

Me fascinan los cuasicristales, los superconductores de alta temperatura, ciertos desarrollos en Biología, las novedades sobre las células, los citoesqueletos y los microtúbulos. Quizá sea porque mi conocimiento de lo que ocurre en biología es tan sólo parcial, al tiempo que me he interesado en cierta medida por el tema, es por lo que las novedades en Biología me parecen más notables.

P: Usted escribió el prefacio del libro “¿Qué es la Vida?”

R: Así es. El autor cree que las ideas sobre lo no periódico son como el corazón de la vida.

P: Cristales aperiódicos. ¿Qué nos puede decir sobre cristales aperiódicos?

R: He jugado un papel en su desarrollo. Ya comenté cuánto le interesaban a mi padre y como diseñó esos mecanismos que se reproducen a sí mismos. Complicados mecanismos hechos de madera, con pequeñas poleas que producían copias de sí mismos. Él los denominaba, siguiendo la terminología de

Schrödinger, *cristales aperiódicos*. Eran como cristales que crecían hasta un punto en el que se paraban, como la vida. De alguna manera esto le influyó, e indirectamente también a mí. Pero no podría precisar la conexión histórica.

P: ¿Qué libros está leyendo en este momento?

R: No tengo demasiado tiempo. De vez en cuando, por razones diversas, tengo que escribir alguna reseña. No estoy leyendo ningún libro en estos momentos. Me pesa no disponer de tiempo para leer por diversión.

P: Bueno, esto está relacionado con mi siguiente pregunta. Si el día tuviese 36 horas, ¿qué le gustaría hacer?

R: Si tuviera 36 horas, creo que debería imponerme a mí mismo una norma que no permitiera usar las 12 horas extras en actividades directamente relacionadas con mi trabajo. Por ejemplo, me encanta leer si tengo oportunidad, me gusta ir al teatro, al cine, asistir a conciertos y todas esas cosas. Me gustaría hacer todo eso mucho más. Hay películas que no he tenido la oportunidad de ir a ver, algunas películas de ahora que me gustaría ver. Pero lo que más me gusta es leer. Solía leer mucha ficción científica, pero ahora no tengo ocasión de hacerlo. A veces leo a Michael Frayn. Lo encuentro tremendamente divertido.

P: Y en cuanto a música, ¿tiene algún compositor favorito?

R: Bueno, sí, prefiero la música clásica, aunque a veces disfruto también con la música pop. Mis padres tenían cada uno su propio compositor favorito. Para mi padre Mozart, exclusivamente: era su dios. El favorito de mi madre era Bach, siempre que mi padre no estuviera cerca, y es que tenía ese carácter tan dominante. Más tarde me dí cuenta de que realmente Bach era mi favorito. Siempre he considerado a estos dos, Mozart y Bach, por encima de cualquier otro compositor. Pero en Bach veo más, es algo a lo que siempre puedes volver y encontrar más. Encuentro mágica la perfección en Mozart. Siempre lo he considerado por encima de Beethoven, quien para mí carece de magia, fuerza sí, pero no verdadera magia. Quizá incluso Schubert tenga algo de la magia que no veo en Beethoven. Pero también me gustan algunos modernos como Stravinski y Sostakovitch. Y mucho más atrás en el tiempo, me gusta Vivaldi.

P: Bueno, es una pena que el día no tenga 36 horas y ya le he robado mucho tiempo. Muchas gracias.

R: Ha sido un placer. Espero que haya sido de utilidad.

Oscar García Prada. Departamento de Matemáticas. Universidad Autónoma de Madrid. 28049 Madrid.
email: oscar.garcia-prada@uam.es

Transcripción y traducción del inglés por María José Alcón.