



Academia de Ciencias Matemáticas,
Físico-Químicas y Naturales de Granada

**INFORMACIÓN, MECÁNICA
CUÁNTICA Y CONCIENCIA**

DISCURSO LEÍDO EN EL ACTO DE SU RECEPCIÓN
COMO ACADÉMICO NUMERARIO POR EL

EXCMO. SR. D.

JESÚS SÁNCHEZ-DEHESA MORENO-CID

GRANADA, 2005



Academia de Ciencias Matemáticas,
Físico-Químicas y Naturales de Granada

**INFORMACIÓN, MECÁNICA
CUÁNTICA Y CONCIENCIA**

DISCURSO LEÍDO EN EL ACTO DE SU RECEPCIÓN
COMO ACADÉMICO NUMERARIO POR EL

EXCMO. SR. D.

JESÚS SÁNCHEZ-DEHESA MORENO-CID

GRANADA, 2005

**INFORMACIÓN,
MECÁNICA
CUÁNTICA Y
CONCIENCIA**

INFORMACIÓN, MECÁNICA CUÁNTICA Y CONCIENCIA

JESÚS SÁNCHEZ-DEHESA MORENO-CID

Ce petit recueil se dédie de préférence aux personnes qui n'ont point de système et sont absentes des partis; qui par là sont libres encore de douter de ce qui est douteux et de ne point rejeter ce qui ne l'est pas.

Paul Valéry

Se necesitan sitios donde se escuchen otras voces aparte de las del Olimpo y el luciente Parnaso.

M. Ruiz Amézcuca

Excelentísimo Sr. Presidente,
Excelentísimos e Ilustrísimos Sres. Académicos,
Señoras y señores,

Gratitud y responsabilidad son dos palabras que me gustaría utilizar para testimoniar mi agradecimiento a todos aquellos que han hecho posible mi elección como miembro de esta noble e ilustre comunidad; en particular, a su excelentísimo presidente, profesor Pardo Sánchez, y al ilustrísimo profesor García Olmedo por haberme ins-

tado y alentado a solicitar esta plaza. Asimismo el profesor García Olmedo ha tenido a bien ser mi padrino en este acto de ingreso, por lo que le estoy muy reconocido. Espero que, falto de méritos suficientes pero rico en ilusiones, sea capaz de desempeñar mis funciones, cualesquiera que estas sean, como académico; y estar a la altura de tan ilustres compañeros. Para ello no dudéis que os pediré parecer a todos y cada uno de vosotros, ilustrísimos académicos, si la ocasión viniere, y en particular a mis ilustrísimos coetáneos, los profesores Hita Villaverde, González Caballero y Battaner López. Dejadme antes de comenzar que, en palabras de Gracián, os confiese mi desconcierto y ruegue vuestra benevolencia.

El objeto de mi discurso es algo que me está admirando en los últimos tiempos, más que por saberlo por no advertirlo. Quizás por su riqueza y por la profusión de relaciones interdisciplinarias y, en último término, porque es quizás lo más cercano al concepto de verdad en el sentido más coloquial del término. Se trata del fenómeno de la información. No he podido resistir la tentación de reclamar vuestra atención hacia él antes de que mi admiración degenerase en rutina, si bien he de advertiros que mi contribución hacia su conocimiento y su, a veces controvertida e intrincada, conexión con mi campo de trabajo, la física cuántica, sea sólo reciente y demasiado técnica.

En este discurso recorreremos un itinerario que va desde el núcleo atómico a la región montañosa, hasta ahora inaccesible, de la conciencia con el ave de la mecánica cuántica, deteniéndonos en los caravasares de la información y aún de la filosofía.

Mecánica Cuántica

Hasta los albores del siglo veinte las ondas eran ondas y las partículas, partículas, sin ninguna ambigüedad. Es lo que nos decía la física clásica, la física de Newton, en coincidencia con nuestros sentidos naturales más primarios. Esta distinción entre ondas y partículas no pudo explicar una serie de hechos experimentales relativos a la radiación que emiten los cuerpos al ser calentados y a la interacción luz-materia. Para poder hacerlo se hizo necesaria la extensión de la teoría clásica a lo que hoy se conoce como mecánica cuántica de la mano de Planck, Einstein, Bohr, Born, Heisenberg, Schrödinger, y muchos otros.

Hoy día no se conoce otra teoría sobre la radiación y la materia que, en manos de los físicos, resulte más fiable ni que haya causado tanta consternación entre los filósofos. Aunque ya entre sus padres fundadores se plantearon diferencias de opinión acerca de si la nueva teoría era completa o no, discusión que se mantiene hasta hoy, lo cierto es que no se ha observado excepción alguna a sus predicciones. La mecánica cuántica permite comprender no solamente los átomos, las moléculas y los núcleos con elevada precisión, sino también todos los elementos e incluso las estrellas. Explica no solamente el mecanismo de la generación de la energía en nuestro Sol y otras estrellas sino también el mecanismo de las reacciones químicas femtosegundo a femtosegundo, y ha hecho/está haciendo posible el desarrollo de una serie de herramientas de lo que actualmente se denomina tecnología cuántica, desde el increíble chip del silicio hasta los láseres que conocemos hoy día, no solo el láser de luz, ya

convencional, sino el láser atómico recientemente descubierto y el inminente láser molecular. Además, la mecánica cuántica combinada con la relatividad especial por Dirac, esto es, la mecánica cuántica relativista, es la base del modelo estándar de las partículas elementales que ha permitido una unificación parcial de las fuerzas o interacciones que actúan en los niveles atómico, nuclear y subnuclear. Es de esperar que algún día se consiga la combinación correcta de la mecánica cuántica con la relatividad general.

A lo largo de la última década hemos asistido a grandes avances en tecnología cuántica. Numerosos descubrimientos y desarrollos tecnológicos, que ya disfrutamos, demuestran nuestro control creciente de los sistemas cuánticos, lo que ha permitido la aparición de un nuevo campo del quehacer científico, la ingeniería cuántica. La maestría creciente en la manipulación de la radiación y de la materia en el nivel cuántico está conduciendo a aplicaciones asombrosas de la nano, pico, femto y aún attotecnología. Las más familiares que se hallan son quizás las de la industria de los semiconductores. Estamos llegando probablemente al final de la ley de Moore, según la cual cada dieciocho meses se dobla el número de transistores en un chip de silicio dopado, y por tanto también su velocidad computacional y su capacidad de memoria. Los constituyentes de un chip empiezan a tener tamaños tan pequeños que las propiedades de los átomos individuales y los electrones se ven obligadas a jugar un papel determinante. El comportamiento de tales objetos cuánticos no se puede describir de una forma clásica. A menos que los ingenieros cuánticos desarrollen una nueva tecnología competitiva, la ley de Moore habrá llegado

a su fin, y con ello a la necesidad de actualizar nuestros ordenadores personales ¡cada dieciocho meses!

Una nueva tecnología parece estar emergiendo en el horizonte, la computación cuántica. Mientras los ordenadores actuales se basan en la utilización de bits de información iguales a “1” o “0”, un ordenador cuántico permitirá la posibilidad de implementar algoritmos que usan bits cuánticos (qubits) que pueden ser, de alguna manera, simultáneamente iguales a “1” o “0”. Imaginen que quieren almacenar un solo bit de información usando los estados cuánticos de un átomo, de un electrón o de un fotón; para un átomo podemos usar los dos niveles más bajos de energía para representar “1” y “0”; para un electrón pueden usarse los estados con espín hacia arriba y hacia abajo; y para un fotón los dos estados de polarización. Proceder así sería meramente una reimplementación de la memoria de un ordenador convencional. La nueva característica de la computación cuántica es la posibilidad de que los sistemas cuánticos se hallen en una superposición de ambos “1” y “0” al mismo tiempo. En buena medida el desarrollo de la moderna teoría de la información cuántica está basado en esta observación, cuyas aplicaciones prácticas ya se están manifestando en varios campos, particularmente en criptografía cuántica y en teleportación cuántica.

Hay que decir inmediatamente que aunque la mecánica cuántica puede utilizarse con gran habilidad y destreza, tanto desde el punto de vista fundamental como tecnológico, nadie sabe (pese a los cien años transcurridos desde su nacimiento) lo que significa exactamente, como se lamentaba Richard Feynman: *I think I can safely say that nobody understands quantum mechanics*. Sin

embargo, se ha calculado que el 40 por ciento del producto interior bruto de Estados Unidos depende hoy día de las aplicaciones de la mecánica cuántica de una forma o de otra. No está nada mal para una teoría que nadie comprende. Cabe pensar en el enorme potencial de crecimiento del bienestar humano y la consiguiente mejora de la vida (y de forma inevitable de la muerte, por el desarrollo del armamento cuántico) cuando la comprendamos y hayamos desarrollado una intuición propiamente cuántica.

Filosofía

La mecánica cuántica adquiere interés filosófico cuando empezamos a indagar en su significado. La respuesta a esta pregunta quizá no mejore la capacidad para emplear la mecánica cuántica, pero ayuda a desarrollar una cierta visión del mundo y a entender por qué le resulta tan profundamente desconcertante a todo el mundo.

El debate sobre el significado y la completitud de la mecánica cuántica y, en caso afirmativo, sobre la existencia de un principio fundamental, en base al cual la mecánica cuántica pueda construirse como un sistema completo y auto-contenido, se planteó ya entre sus padres fundadores, habiendo dado lugar a una gran cantidad de literatura. Einstein y Schrödinger eran de la opinión que la mecánica cuántica era un tanto insatisfactoria. Por el contrario, Bohr, Born y Heisenberg mantenían que la mecánica cuántica es un sistema completo, basado en lo que se ha venido a llamar la interpretación de Copenhague, que se apoya en tres pilares: la interpretación probabilista de la función de onda que describe la onda de

De Broglie asociada a cualquier partícula o sistema material, el principio de complementariedad expresado cuantitativamente por el principio de incertidumbre, y una visión positivista de la naturaleza en la cual los únicos elementos de la realidad son los resultados de las medidas efectuadas por medio de aparatos que operan según principios clásicos. La medición es, en palabras de Atkings, nuestra única ventana a la naturaleza, de forma que todo lo que no se perciba a través de ella es mera especulación metafísica y no merece que se considere real. Resulta así que, en esencia, la mecánica cuántica permite correlacionar observaciones experimentales diferentes pero no revela nada sobre una realidad subyacente; el resultado de la observación es la única realidad.

La mecánica cuántica describe muy bien los fenómenos microscópicos, e incluso los fenómenos en los que muchas partículas actúan coherentemente en uno o en un número pequeño de estados cuánticos (e.g., los condensados de Bose-Einstein, los superfluidos y las uniones Josephson superconductoras). Los problemas conceptuales surgen solamente cuando se intentan aplicar las reglas de la mecánica cuántica simultáneamente a un sistema microscópico y al aparato macroscópico que mide el estado de tal sistema microscópico; este es el origen del problema cuántico de la medida. En términos muy generales puede decirse que el acto de medir es tanto la representación de una propiedad de la mecánica cuántica como el resultado de un instrumento macroscópico. En la interpretación de Copenhague un aparato de medida actúa de forma clásica, dando lugar a lo que se denomina el colapso de la función de onda que describe el sistema

físico que estemos considerando. Detengámonos brevemente en este fenómeno.

En mecánica cuántica una partícula (p.e., un electrón) se halla en uno o más estados cuánticos o autoestados al mismo tiempo; esto es, la función de onda del paquete de ondas de De Broglie que gobierna su movimiento es una superposición de autoestados. Estos autoestados corresponden a valores definidos, pero diferentes, de una magnitud particular (p.e., el momento). Sin embargo, cuando medimos el momento de una partícula concreta, se obtiene siempre un valor definido tal como confirma el experimento. En la interpretación de Copenhague la partícula en cuestión se reduce a un autoestado correspondiente a ese valor, y permanece en ese estado en futuras medidas. La forma extendida de la función de onda de la partícula se colapsa en una localización definida, que corresponde al autoestado asociado al valor que medimos. Este efecto instantáneo y discontinuo, el colapso de la función de onda en un punto particular, es el concepto y la dificultad centrales de la interpretación de Copenhague. Siendo, además, el origen de la postura que defiende que la mecánica cuántica elimina el determinismo, la cadena causal entre el presente y el futuro, dado que no hay modo de predecir dentro de ella, antes de llevar a cabo una medida, si la función de onda se reducirá o no en un punto particular sino que solo nos permite calcular la probabilidad de obtener un determinado valor de la magnitud en consideración.

Los sistemas cuánticos tienen, según esta interpretación, dos modos de evolución: uno suave, regido por la ecuación de Schrödinger, y otro salpicado con saltos o discontinuidades abruptas cuando tienen lugar las

medidas. Parece como si el mundo presentara dos regímenes: la escala microscópica, descrita por la mecánica cuántica, y la escala macroscópica, del laboratorio, que debe describirse, de acuerdo con nuestra experiencia, por la mecánica clásica de Newton. La existencia de un régimen clásico es, por tanto, necesaria en esta interpretación de la teoría cuántica. Parece como si los efectos no-clásicos de las superposiciones de estados no jugaran papel alguno. Simplemente se miden las magnitudes del sistema, cualquiera que sea el estado en que se hallare este, y se obtienen los correspondientes resultados que deben considerarse como cosas “clásicas”.

La explicación del proceso de medida por medio del colapso de la función de onda, con la consiguiente aparición de dos regímenes, clásico y cuántico, es uno de los aspectos más insatisfactorios de la interpretación de Copenhague. Para tratar de solventar este problema se ha propuesto una idea interesante, la decoherencia. Según ella, un cuerpo macroscópico interactúa tan fuertemente con su entorno que su estado cuántico se entremezcla rápidamente con el del entorno. La maquinaria estándar de la mecánica cuántica con la ecuación de Schrödinger se aplica a los sistemas aislados, pero en la práctica es muy difícil aislar totalmente un sistema macroscópico. La gran mayoría de los sistemas físicos macroscópicos no se hallan aislados, sino que están en continua interacción con su entorno. En efecto, el entorno “mide” constantemente los sistemas macroscópicos, por lo que parece razonable suponer que este efecto es el que habitualmente destruye la interferencia, haciendo por tanto clásicos a los sistemas. No hay duda alguna que este fenómeno de la decoherencia es real; presenta una base teórica firme,

habiendo sido confirmado experimentalmente en una serie muy elegante de experimentos de óptica cuántica llevados a cabo en los laboratorios de l'Ecole Normale Supérieure de Paris por S. Haroche y colaboradores. Y ha permitido dar una explicación a la célebre paradoja del gato de Schrödinger encerrado vivo en una caja opaca con un nefando mecanismo de envenenamiento que mata o no mata al gato. La descripción del gato por una superposición de estados “vivo” y “muerto” no es realista; necesitaríamos, como mínimo, analizar la mezcla de estos estados con los estados correspondientes del frasco del veneno. Como resultado, el sistema no muestra efectos de interferencia de las funciones de onda de los gatos vivo y muerto y tendremos un gato muerto o un gato vivo, no una divertida superposición de ambos estados.

Así pues, el rasgo esencial del aparato de medida no es que sea un mecanismo clásico donde la ecuación de Schrödinger no funciona (como afirma la interpretación de Copenhague), sino que sea un instrumento macroscópico de la mecánica cuántica insertado en su entorno. Sigue abierta, no obstante, la cuestión de si la decoherencia resuelve totalmente el problema cuántico de la medida. Por otra parte la interpretación de Copenhague choca con la creencia firme y generalizada de que la mecánica cuántica tiene aplicabilidad universal, debiendo describir el comportamiento tanto de los sistemas de gran tamaño (tales como el aparato de medida) como de los sistemas microscópicos.

Se han desarrollado otras muchas alternativas que generalizan la interpretación de Copenhague con el fin de eliminar la distinción aparentemente arbitraria entre “sistema” y “aparato de medida”. Para ello aceptan que, en

principio, el formalismo de la mecánica cuántica da una descripción completa del mundo físico en todos los niveles, incluyendo los niveles macroscópico y aún cosmológico. Entre ellas, cabe mencionar la interpretación de muchos mundos de Everett, la interpretación transaccional, la interpretación de Bohm y la interpretación de Mermin, entre otras, que implican ideas muy diferentes sobre la naturaleza, sobre el mundo y sobre nuestra posición en él. La más radical y extravagante es sin duda la interpretación de Everett, cuya idea central es que la ecuación de Schrödinger es universalmente válida y controla la evolución de las funciones de onda incluso cuando la partícula interactúa con un aparato de medida. Según esta interpretación, todos los valores posibles en una medida ocurren realmente en muchos universos paralelos pero, como nosotros sólo ocupamos una rama de tal multiverso, únicamente tenemos un valor.

La coexistencia de tantas interpretaciones filosóficamente diferentes implica que ninguna es convincente; parece indicar la carencia de un principio fundamental de la mecánica cuántica aceptado por todos. Por un principio de este tipo no queremos indicar una formalización axiomática de los fundamentos matemáticos de la mecánica cuántica (por otra parte bastante problemática), sino un principio conceptual, del mismo tipo que lo son el principio de relatividad en la teoría de la relatividad especial, el principio de equivalencia en la teoría de la relatividad general, o las dos leyes de la termodinámica en la ciencia del calor. La primera ley no es más que la conservación de la energía; significa que no hay máquinas en perpetuo movimiento. La segunda ley nos indica simplemente que el calor fluye de los cuerpos calientes a los

más fríos. Cuando se inventó eso que llamamos energía para cuantificar estas leyes, era un concepto extraño e indefinible; incluso hoy día no se sabe lo que es. No obstante es un término sólidamente asentado en la conversación diaria.

En este punto vale la pena recordar a Carl Friedrich von Weizsäcker, cuyo nonagésimo tercer aniversario acabamos de celebrar el pasado mes de junio, como una de las escasas personas que han relacionado creativamente la filosofía y las ciencias naturales. Antiguo doctorando de Werner Heisenberg, este físico teórico contribuyó poderosamente a comprender la teoría de la estructura y fuerzas nucleares, la producción de la energía en las estrellas (en particular descubrió que la fusión protón-protón debía ser la reacción nuclear primaria en una estrella y que el ciclo carbono-nitrógeno era la fuente más importante de generación de la energía estelar) la formación de los sistemas planetarios a partir de una nube de polvo y a la estructura de la turbulencia. Respaldado por este bagaje científico, inició un programa de trabajo que situaba a la mecánica cuántica como el centro de la filosofía natural moderna y en el que la información juega un papel central. Así, por una parte, sitúa nuevamente a la física como una parte integral del análisis filosófico del mundo, un lugar que ya había ocupado en el sistema filosófico de Aristóteles, y, por otra, considera a la mecánica cuántica como una teoría “elemental” de la información.

Información

Actualmente la información es un bien de consumo en nuestro globalizado mundo, en el mismo nivel que el petróleo, por ejemplo, y un servicio público, similar al agua, el gas natural o la electricidad. Estamos viviendo realmente en la era de la información, hay signos de ella por todas partes: faxes, correos electrónicos, teléfonos móviles. Hace cuarenta o cincuenta años solo se disponía del teléfono y las estaciones inalámbricas; hoy existen ordenadores conectados a esa red global que es Internet, teléfonos móviles digitales y cables de fibra óptica. Obsérvese, además, el cambio radical experimentado por los productos de ocio y entretenimiento; así, por ejemplo, se ha pasado de los vinilos de 78 rpm al vídeo digital, y de la vieja cámara fotográfica a las cámaras digitales actuales. Todo ello constituye una muestra del enorme progreso que ha tenido lugar en las tecnologías asociadas a la transmisión de información.

Hasta ahora, sin embargo, la información ha permanecido en los extrarradios de la física. John Archibald Wheeler señaló ya en la década de los noventa que la información debería ocupar la posición central: *Tomorrow we will have learned to understand and express all of physics in the language of information*. Pero ¿qué es la información? En primer lugar ha de distinguirse entre el concepto cotidiano de información (asociado con los conceptos de conocimiento, lenguaje y significado) y las nociones técnicas de información, que se especifican por un vocabulario físico-matemático para describir correlaciones y características estadísticas de señales (como en la teoría de comunicación por medio del concepto de en-

tropía de Shannon), o con propósitos de inferencia estadística (como las medidas de información de Fisher, de Kullback-Leibler y de Renyi/Tsallis), e incluso para capturar ciertas nociones estructurales de complejidad (como la información algorítmica de Kolmogorov-Chaitin-Solomonoff) y funcionalidad (como la información biológica en el sentido de Jablonka).

La mecánica cuántica está relacionada con el concepto de información de varias formas, que ya han sido implícitamente señaladas. Una se refiere a la conexión entre interferencia cuántica y conocimiento, central en el debate acerca del significado de la mecánica cuántica, que ha dado lugar a las diferentes interpretaciones de la mecánica cuántica ya comentadas. Una segunda relación entre mecánica cuántica e información se inició hace una década con el descubrimiento de que los conceptos cuánticos podían usarse en los mecanismos de comunicación y de procesamiento de la información, como una continuación natural de las ideas de Claude Elwood Shannon, particularmente en criptografía cuántica, teleportación cuántica y computación cuántica.

La tercera relación entre mecánica cuántica e información ha emergido a lo largo de este lustro, si bien su base conceptual está enraizada en las ideas de C. F. Weizsäcker y J. A. Wheeler. Los debates sobre el significado conceptual de la física cuántica, que han dado lugar a las diferentes interpretaciones ya conocidas, son esencialmente debates sobre el objeto de estudio de la mecánica cuántica. ¿Corresponde este objeto a la realidad y, de ser así, es esta realidad la que nosotros percibimos o creemos percibir, o quizás se trata de una realidad más complicada, como la que menciona la interpretación de

los muchos mundos? ¿No será más bien que el objeto de estudio de la física se refiere al conocimiento, a nuestro conocimiento de las cosas, y por tanto a la información? En este sentido las siguientes palabras de Niels Bohr son ciertamente sugerentes:

There is no quantum world. There is only an abstract quantum physical description. It is wrong to think that the task of physics is to find out how Nature is. Physics concerns what we can say about Nature.

Puede que el concepto central de la mecánica cuántica sea en efecto el conocimiento, que modernamente suele asociarse con la información. La mecánica cuántica aparece así como una ciencia del conocimiento y, solo indirectamente, una ciencia de la realidad. En esta forma de ver las cosas, la noción de información es el concepto básico de la mecánica cuántica.

El sujeto de la mecánica cuántica es la información acerca de los objetos físicos. Sus predicciones proporcionan información sobre los resultados de los experimentos en forma de probabilidades. Fue precisamente Weizsäcker el que propuso el *ur* como unidad elemental de información en mecánica cuántica. La información está compuesta de alternativas binarias cuantificadas, los *urs* o Uralternativen (alternativas fundamentales o esenciales). Hoy día los bits cuánticos o qubits ya no se ven como constructos extraños, pero su carácter ontológico no se ha aceptado aún de forma general.

De la mecánica clásica aprendimos que, tanto las partículas y los campos como el espacio y el cosmos, son objetos físicos. La mecánica cuántica debe interpretarse en el lenguaje de estos objetos; como teoría física que pretende explicar todas las cosas, debe contener también

las formas fundamentales de la materia, las partículas elementales, y sus interacciones. Debe permitir su construcción así como la de todos los objetos y estructuras físicas, a partir de las alternativas cuantificadas de información o qubits. Esta hipótesis de Weizsäcker o hipótesis-*ur* fue desarrollada durante la década de los setenta en el Max Planck Institut zur Erforschung der Lebensbedingungen der wissenschaftlich-technischen Welt de Starnberg. Weizsäcker pensaba que era el comienzo del camino para llegar a la verdad científica.

Con base en las ideas y el impulso de Bohr, Weizsäcker y Wheeler, el papel que el concepto de información pueda jugar en la fundamentación de la mecánica cuántica está siendo objeto de un creciente interés, tal como lo manifiestan los trabajos de Brukner, Zeilinger, Fuchs, Mermin, Clifton, Bub y Halvorson, entre muchos otros. Zeilinger, por ejemplo, ha propuesto un principio basado en el concepto de información como principio fundamental de la mecánica cuántica.

El salto cualitativo de Zeilinger es asociar los átomos de información, los bits (cantidades de información contenidas en las respuestas a las preguntas de sí o no) con los elementos básicos que conforman el mundo material. Estos elementos se denominan sistemas elementales en mecánica cuántica. Zeilinger asevera que un sistema elemental transporta un bit de información. Este principio, aparentemente inocuo, ha permitido explicar la cuantificación, la aleatoriedad intrínseca del mundo cuántico (i.e. el principio de incertidumbre) y el entrelazamiento; tres piedras angulares de la mecánica cuántica.

En cuanto a los elementos más formales de la mecánica cuántica, tales como las funciones de onda y la

ecuación de Schrödinger, el pan y el aceite de los físicos cuánticos, se han hecho progresos considerables para su derivación a partir de la entropía de información de Shannon. Brukner y Zeilinger han sugerido que las dificultades encontradas para ello se deben, quizás, a que esta medida de información no es adecuada en el contexto cuántico, proponiendo ellos mismos una medida alternativa; si bien, esta es una cuestión que necesita de un mayor esclarecimiento como recientemente han puesto de manifiesto Timpson y otros autores. Sin embargo, existe una tercera medida de información, la información de Fisher, que permite la derivación de las leyes fundamentales de la física a partir del concepto de información por medio del denominado método de extremización física de Frieden. Este método ilustra que si bien ninguna de las medidas de información mencionadas es observable, sí permiten caracterizar informacionalmente las magnitudes fundamentales y/o experimentalmente medibles así como numerosas propiedades macroscópicas y espectroscópicas de los sistemas físicos aislados y/o en presencia de campos electromagnéticos externos, tal como ha mostrado recientemente un grupo de nuestra Universidad.

En definitiva, el principio de Zeilinger es como un niño recién nacido. Si su destino fuera, por azar, análogo al del postulado del cuanto de energía de Planck de la primitiva teoría cuántica, pasará mucho tiempo antes de que crezca y sea aceptado por la generalidad de los físicos.

Conciencia

Ya empieza a ser hora de terminar. Para este momento de cierre he dejado algunos aspectos muy controvertidos y especulativos. Se trata de la conciencia (ese sentimiento interior por el cual la persona aprecia sus acciones) y el lenguaje. Ambos van estrechamente unidos. En palabras de Charles Stevens, neurobiólogo del Instituto Salk de California, famoso por sus descubrimientos acerca de los mecanismos de transmisión de la información en el cerebro así como de los mecanismos moleculares de la memoria, no puede imaginarse la conciencia sin el lenguaje o algún tipo de manipulación simbólica. La apreciación consciente que tengo de algo tan primitivo como un dolor me hace pensar enseguida sobre cuál es su causa. Sin el lenguaje mi estado consciente sería tan distinto que no lo podría llamar del mismo modo. Es difícil imaginar una experiencia consciente sin el lenguaje. Lo que realmente diferencia nuestro cerebro del de otros primates es su habilidad para el lenguaje. Las áreas responsables del lenguaje lo son también de la habilidad para hablar simbólicamente. Es lo único que nos hace especiales, pero ¡vaya diferencia!

La conexión de la conciencia y el lenguaje es una parte del debate cerebro-mente, cuya explicación neurobiológica y mecano-cuántica es una nueva frontera para la ciencia de este siglo. En palabras de A. Damasio, *At the start of the new millennium, it is apparent that one question towers above all others in the life sciences: how does the set of processes we call mind emerge from the activity of the organ we call brain?.*

El mundo exterior y la realidad que percibimos por medio de nuestros sentidos constituyen la materialización de la vida tal como la conocemos. Todo fluye a través de las neuronas, esas células que, en miles de millones y junto con otras células auxiliares interconectadas entre sí, constituyen ese órgano extraordinariamente complejo que llamamos cerebro. La mente es la generadora de emociones (alegría, placer, miedo, odio,...). Todos los investigadores en neurociencia creen que la mente solo se puede explicar en términos de la función del cerebro; si bien, aún no se sabe cómo explicar los estados emotivos en términos del funcionamiento neuronal. Algo similar puede decirse sobre las funciones cognitivas superiores, tales como la memoria, el aprendizaje, la percepción o el lenguaje. Cerebro y lenguaje, estructura y función, en palabras de Stevens, se confunden en la más asombrosa y compleja creación de la evolución biológica.

La mecánica cuántica es esencial para progresar en un campo donde la física clásica omite la mente. La física clásica relega a la conciencia al papel de testigo pasivo en un conjunto de sucesos físicos que están completamente especificados por leyes mecánicas locales. La mecánica cuántica proporciona un marco conceptual para dar una explicación causal de las acciones de la mente sobre el cerebro que están siendo observadas en numerosos experimentos neuro-psicológicos, tales como los llevados a cabo por J. M. Schwartz y colaboradores. Estos autores han propuesto un modelo para explicar la física de la interfaz entre la mente/conciencia y el cerebro físico, en el que se pone de manifiesto la necesidad de pasar al nivel cuántico para describir adecuadamente la neuro-

fisiología de la actividad voluntariamente dirigida. Esencialmente, la razón es que la teoría clásica es incapaz de explicar la eficacia causal de los esfuerzos conscientes del ser humano que estos experimentos ponen empíricamente de manifiesto. Parece, en principio, que la dinámica del cerebro humano no puede explicarse clásicamente debido a los condicionamientos impuestos por ciertos rasgos estructurales de los canales de conducción iónica asociados con la función sináptica interneuronal. De ser así, parece como si la mecánica cuántica empezara a abrir la puerta a la posibilidad de explicar la influencia que nuestros pensamientos, ideas y sentimientos tienen sobre nuestras acciones físicas.

No quisiera dejar de hacer un paréntesis y comentar aquí el reciente e importante hallazgo de dos físicos del King's College de Londres acerca de una explicación mecano-cuántica de una de las funciones cognitivas superiores, el lenguaje, no en cuanto a su explicación basada en el funcionamiento neuronal, sino en cuanto a su producción física; me refiero a una forma de modelización mecano-cuántica de las frecuencias de resonancia naturales (llamadas formantes) del tracto vocal humano. Barbara Forbes y Roy Pike, usando la ecuación de Klein-Gordon, han analizado la acústica de un tubo orgánico sencillo, que los investigadores del habla estudian frecuentemente para tratar de comprender los fenómenos básicos en la producción del sonido por los seres humanos. Un análisis perturbativo les ha permitido mostrar que, produciendo pequeñas irregularidades en posiciones determinadas de un tubo recto, se pueden aumentar o disminuir sus frecuencias de resonancia naturales de manera ampliamente independiente entre sí. Este estudio

constituye un avance sustancial de los resultados de Lord Rayleigh de la segunda mitad del siglo diecinueve, que consideraban la sección eficaz perturbada de un tubo pero no analizaban la dispersión de la onda resultante. Actualmente se está usando esta teoría para diseñar una máquina cuántica que reconozca los sonidos fonéticos naturales.

Permítaseme finalmente constatar cuán lejos estamos todavía de comprender mecano-cuánticamente las moléculas de la vida, los polímeros, y de cómo funciona esa increíble máquina de procesamiento de información que es la célula viva. Tomemos un prototipo de célula, la procariota *Escherichia coli*, una bolsita de DNA, RNA y proteínas rodeada por una membrana, que transcribe unos 5 millones de nucleótidos (que corresponden aproximadamente a unos 4700 genes) durante media hora, o sea alrededor de 10 Gb/h de información. Todo esto en una célula de 1 de volumen, codificada por unos 5 millones de pares de nucleótidos. Esta densidad de información es muchísimo mayor que la de cualquier chip informático; un millón de *E. coli* ocupan mucho menos espacio que cualquier CPU moderna, de forma que su velocidad de cómputo es así mismo mucho mayor.

Estos niveles de computación de la célula viva aumentan en células eucariotas y especialmente en organismos multicelulares, donde cada célula tiene codificado también el conocimiento de su contexto social. Las células empiezan a ser consideradas, por tanto, materia programable. Las células procesan de forma natural información interna y de su entorno en formas complejas e interactúan con las células vecinas para conseguir un comportamiento coordinado. Por medio de la ingeniería

genética se puede equipar a las células con sofisticadas capacidades para la regulación de genes, el procesamiento de información y comunicación, que constituyen la base de una disciplina emergente, la biología sintética, que trata de programar la célula de forma similar a los ordenadores convencionales.

Algún día se estará en disposición de programar el comportamiento celular de forma similar a como se programan actualmente los ordenadores convencionales. Más, mucho más lejana, es la posibilidad de la computación mecano-cuántica de la vida. Sin embargo, los grupos de Markus Arndt y Antón Zeilinger de la Universidad de Viena acaban de abrir una puerta al optimismo, mi vicio más querido, al mostrar en recientes experimentos llevados a cabo en su laboratorio de interferometría de ondas de materia, que ciertas biomoléculas y fluorofúlerenos pueden interferir, mostrar sus propiedades ondulatorias, lo que revela claramente su comportamiento mecano-cuántico. Estos experimentos ilustran uno de los aspectos más distintivos e inusuales de la teoría cuántica, a saber, que los objetos pueden existir en una superposición de estados diferentes. El siguiente paso será llevar a cabo estos experimentos con objetos mayores, tales como proteínas, pequeños virus y nanocristales con masas atómicas de hasta un millón de unidades, lo cual sería una importantísima contribución a la comprensión cuántica de la célula viva y a la tecnología cuántica con base biomolecular. Pero este fascinante y apasionante desafío llevará su tiempo, con mucha fortuna todo este siglo. Y es que los fenómenos científicos, contrariamente a lo que se trasluce a través de los medios de comunicación, están lejos, siento decirlo, de tener un carácter mágico. La ma-

gia ignora la larga cadena de causas y efectos y, sobre todo, no trata de establecer, probando y volviendo a probar, la existencia de relación alguna entre causa y efecto.

Conclusiones

Este es un buen momento de terminar. Estoy seguro de que, a pesar de la aridez de mi prosa, vuestra imaginación os ha permitido haceros una idea aproximada del variopinto panorama que constituye el fenómeno de la información (que aquí solo hemos esbozado brevemente) de su relación con la mecánica cuántica y de sus aplicaciones en numerosas áreas del saber; y habréis intuitido su fuerza unificadora y su carácter aglutinador de un gran número de disciplinas desde la matemática hasta la tecnología cuántica.

Muchas gracias por vuestra atención.

Bibliografía

-Angulo J.C., Antolín J., Zarzo A., Cuchí J.C.: European Phys. J. D 7 (1999) 479.

-Arndt M., Hornberger K. y Zeilinger A.: Physics World 18 (2005) 35

-Benenti G.: Principles of Quantum Computation and Quantum Information (World Scientific, New York, 2004)

-Brukner C. y Zeilinger A.: Phys. Rev. A63 (2001) 022113

-Damasio A.: En The Hidden Mind (Scientific American, número especial, 2002)

-Dehesa J.S., Martínez-Finkelshtein A. y Sorokin V.N., Int. J. Bifurc.&Chaos 12(2002)2387

-Dehesa J.S., López-Rosa S., Olmos B. y Yañez R.J., Preprint (Univ. Granada, 2005)

-De Vicente J.I. y Sánchez-Ruiz J.: Phys. Rev. A71 (2005) 052325

-Ehrenfeucht A., Harju T., Petre I., Prescott D.M. y Rozenberg G.: Computation in Living Cells (Springer, 2004)

-Forbes B.J. y Pike E.R.: Phys. Rev. Lett. 93 (2004) 054301.

-Frieden B.R., Science from Fisher information (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2004)

-Fuchs C.A.: Preprint en <http://arxiv.org/quant-ph/0205039>.

-González-Ferey R. y Dehesa J.S., Phys. Rev. Lett. 91 (2003) 113001

-Hackermüller L., Uttenthaler S., Hornberger K., Reiger E., Brezger B., Zeilinger, A., y Arndt M.: Phys. Rev. Lett. 91, 90408 (2003).

-Jablonka E.: Phil. Sci. 69 (2002) 578

-Joos E., Zeh, H.D., Kiefer C., Giulini, D., Kupsch, K., y Stamatescu, I.-O. :Decoherence and the Appearance of a Classical World in Quantum Theory (Springer, Berlin, 2003)

-Mermin N.D.: En Quantum Speakables: Essays in Commemoration of John S. Bell (Springer, Berlin, 2002).

-Nielsen M.A. y Chuang I.L.: Quantum Computation and Quantum Information (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2002).

-Quintero N.R., Sánchez-Rey B. y Salerno, M.: Phys. Rev. E72 (2005) 016610.

-Romera E., Sánchez-Moreno P. y Dehesa J.S., Chem. Phys. Lett. 414 (2005) 468.

-Schwartz J.M. y Begley S.: The Mind and the Brain: Neuroplasticity and the Power of Mental Force (Harper and Collins, New York, 2002).

-Schwartz J.M., Stapp H.P., y Beauregard M.: Phil. Trans. R. Society B (2005). En prensa.

-Timpson C.G.: Preprint en <http://arxiv.org/quant-ph/0112178v3>.

-Weizsäcker C.F.: Aufbau der Physik (Carl Hanser, München, 1958)

-Wheeler J.A.: En Quantum Theory and Measurement, ed. por J.A. Wheeler y W.H. Zurek (Princeton University Press, Princeton, 1983).

-Zeilinger, A.: Found. Phys. 29 (1999) 631

CONTESTACIÓN DEL
ILMO. SR. D. BERNARDO GARCÍA OLMEDO

Excelentísimo Sr. Presidente,
Excelentísimos e Ilustrísimos Sres. Académicos,
Sras. y Sres.:

Preámbulo

Según el acuerdo leído por el Secretario General de esta Academia en el que se acepta la propuesta de ingreso, como Académico de Número, del Profesor Don Jesús Sánchez-Dehesa Moreno-Cid y leído por este el preceptivo discurso de ingreso, es para mí un honor y un placer transmitirle la congratulación de la Academia en pleno y ofrecerle una cordial bienvenida al seno de esta.

El neófito ha cumplido con su compromiso. Es ahora, según el reglamento, el turno de la contestación: mi parlamento será, por necesidad, breve, no es esta mi jornada sino la suya, y, además, como es costumbre, no lo dedicaré a contestarle en el sentido literal de la palabra. En mi opinión, debo, de forma prioritaria, utilizar una parte del tiempo disponible en la defensa pública de las razones que han conducido a esta institución, en cuyo nombre hablo, a recibirle en su seno. Pretendo, pues, mostrar a esta audiencia que el laudo a favor del candidato ha sido emitido en sazón, es decir, porque él está en su punto de madurez y porque la ocasión es propicia.

Es esta una joven Academia. Se fundó hace algo más de un cuarto de siglo, periodo suficiente, sin embargo, para que sus miembros sintiesen la necesidad de rejuvenecerla modificando los estatutos iniciales, lo que ha permitido, entre otras cosas, la ampliación del número de su Claustro. Desde ese momento, la admisión de nuevos miembros se ha llevado a cabo con la mayor diligencia y el mayor rigor posibles. Este proceso tiene aspectos contrapuestos: es fácil, por la abundancia, en nuestro entorno, de candidatos altamente cualificados y, por esa misma razón, difícil y doloroso. Esto último es así por la dificultad de discernir entre personas altamente cualificadas en sus respectivas líneas de trabajo y cuyos historiales no son confrontables de forma simple y unívoca. No obstante, a la vista de los últimos ingresos, creo que debemos congratularnos por el éxito conseguido en esta tarea.

Las Academias de Ciencias, la nuestra en particular, tienen por objetivo primordial la promoción del conocimiento científico y son herederas de una tradición que, sin remontarnos a Platón, es centenaria. Nuestras predecesoras más ilustres jugaron un papel fundamental en el nacimiento, a partir del siglo XVII, de la ciencia moderna. Potenciaron y regularon la investigación, discusión y diseminación de dicho conocimiento y su éxito se debe en gran medida a la excelencia de sus miembros. Son estos otros tiempos, la explosión científica y técnica ha arrebatado a las Academias una parte de sus cometidos, asignándoselos a instituciones más adecuadas y mejor dotadas, pero aquellas deben aún jugar un papel importante como impulsoras de las Ciencias y asesoras de la sociedad en la que se insertan. Para cumplir estos obje-

tivos y ser consecuentes con la tradición es necesario acertar en la elección de los nuevos miembros. Por eso este acto, culminación del proceso de admisión, además de solemne, es trascendente para el futuro de esta institución.

Los méritos aludidos son conocidos por mis compañeros de la Academia. Es mi obligación divulgarlos públicamente.

Comenzaré dibujando un esbozo de la actividad profesional del nuevo académico, ahorrándoles, sólo en lo posible, siglas, fechas, números e índices de impacto. A continuación haré un análisis sucinto de sus proyectos de investigación y del fruto de los mismos en forma de publicaciones y concluiré mi intervención con un comentario, que no contestación, sobre su discurso de ingreso.

Acerca de su labor académica

Afortunadamente, no existe tal cosa como el manual del perfecto científico o, para el caso, del perfecto académico, a la manera de esos catecismos, guías de urbanidad o aviso de príncipes cuya pretensión es la de encauzar vocaciones o destinos. Los caminos de la Ciencia son múltiples y se justifican, si son honestos, por sus resultados. Si la carrera de un científico ha sido fructífera, relevante y trascendente en un entorno sin fronteras, si ha creado escuela y es respetado por discípulos e iguales, los detalles de su trayecto vital pasan a un segundo plano. Espero poner en evidencia que el historial de la persona que nos ocupa tiene los atributos antes mencionados, pero que, además, su trayectoria es, en cierto modo, ejemplar, paradigmática.

En mayor o menor medida un científico en formación debería acometer en algún momento un viaje iniciático, ir de Extremadura a Castilla en busca de los pastos de ciencia madura, para más adelante establecerse en algún lugar, a ser posible virgen, en el que cultivar su semilla. La endogamia sedentaria es un peligroso factor esterilizante.

Jesús Sánchez-Dehesa es castellano. Desde que partió de su Manzaneque natal hasta su asiento definitivo en Granada, su tierra adoptada, en la que ha transcurrido casi la mitad de su vida, tiene lugar un largo periplo de formación y maduración.

Cursa su licenciatura en la Universidad Complutense e inicia su vida profesional en el Departamento de Física Teórica de la Universidad Autónoma de Madrid. Después de una estancia de varios años en el Institut de Physique Nucléaire Théorique de Orsay (París), en el International Center for Theoretical Physics de Trieste (Italia) y en el Institut für Kernphysic del Kernforschunganlage de Jülich (Alemania), en todos ellos de se hace ciencia de vanguardia, obtiene tres títulos de doctorado: el de Doctor der Naturwissenschaften (Dr. Rer. Nat.) por la Universidad de Bonn, título que convalida posteriormente por el de Doctor en Ciencias (Sección de Física), en la Universidad Autónoma de Madrid, y, entretanto, el de Doctor en Ciencias (Sección de Matemáticas) por la Universidad de Zaragoza. En este momento es un joven maduro, con una espléndida formación de físico matemático que fundamenta al resto de su carrera. Posee una afilada herramienta que aplica a problemas físicos, fundamentalmente dentro de su especialidad de física atómica y nuclear, pero siempre con

una certera visión del mundo que le rodea. Su conferencia de hoy es un claro ejemplo.

A Granada, llega para colaborar con el profesor Guardiola en la consolidación del Departamento de Física Atómica, Molecular y Nuclear, en el que ingresa como Profesor Agregado interino.

Mi memoria es francamente mala y, para ser sincero, en ella no guardo constancia de la imagen de Jesús en el tiempo de su llegada, hace más de veintiséis años, pero sí guardo un claro recuerdo del instante en que su mentor en esta facultad entró, por primera vez, por la puerta del despacho de quién hoy nos honra con su presidencia. En dicho despacho, realmente modesto, cabía todo el profesorado de la nueva Sección de Física y este discutía, posiblemente, la problemática organización del curso entrante, cuando los alumnos de la notable primera promoción aún no se habían graduado. La entrada fue, por decirlo de alguna manera, contundente. Rafael Guardiola venía con ganas de hacer cosas y pedía su espacio. En él impulsó la creación de un grupo sólido y prestigioso que hoy se encuadra en el Departamento de Física Moderna. Para acompañarlo en esta tarea se incorporaría más adelante el profesor Sánchez-Dehesa.

Es en Granada donde transcurre casi toda su vida profesional y donde ha rendido casi la totalidad de sus frutos.

Sin lugar a dudas, es un buen profesor. Más de treinta años como docente, un centenar de conferencias impartidas en las universidades y congresos más diversos y este mismo discurso, brillante y documentado, así nos lo atestiguan. Es gratificante constatar que en esta universidad abundan los profesores entusiastas. Yo lo sé

porque, casi a diario, debo esperar en la puerta del aula hasta que ellos se den cuenta de que han agotado su tiempo. El que nos ocupa es uno de ellos y sus últimas pizarras, prietas y ordenadas, llenas de hermosas fórmulas y números de gran precisión, me toca borrarlas a mí, no sin un cierto deje de envidia.

Hoy es posible, y hasta frecuente, tener una relación más cercana con los colegas de las antípodas que con tu vecino de despacho. Para esto ni siquiera es necesario moverse de la propia silla puesto que la técnica lo permite. Pero el contacto directo es insustituible como medio de comunicación. Afortunadamente hoy no es difícil para un investigador activo, como lo es nuestro sujeto, invitar y ser invitado, a estancias, cortas o largas, por aquellos con los que se comparten tareas, proyectos o intereses de investigación. Él cultiva este contacto de forma intensa, de lo que resulta el número considerable de proyectos y publicaciones firmados en conjunción con una gran variedad de colaboradores. En su currículum figuran estancias, que suman un tiempo considerable, en centros de Europa, Rusia, Estados Unidos y Canadá, sin mencionar su asistencia, a menudo invitado, a incontables congresos, simposios, comités... Es una persona en contacto íntimo y permanente con el ámbito docente y científico, tanto en la esfera local como en la nacional e internacional.

Debo resaltar que es también una persona respetada y valorada en nuestro entorno, es decir, el local, el de nuestra Academia. Ha sido elegido, o designado, como secretario y director de la Sección de Física, vicerrector de la Universidad de Granada, cofundador y director del Instituto Carlos I de Física Teórica y Computacional

y miembro del Claustro, de la Junta de Gobierno de la Universidad y de la Junta de la Facultad de Ciencias. Ha participado en la elaboración de los dos reglamentos que han regido a nuestra universidad y el que regula el funcionamiento de nuestra facultad. Participa en el Plan Andaluz de Investigación como responsable de un grupo de investigación y de una acción coordinada entre tres grupos andaluces. No menos importante es el conjunto de conferencias de divulgación e información que, durante varios años, impartió a los alumnos de los institutos de bachillerato de la provincia. Por otra parte, un número considerable de profesores de esta universidad ha realizado la tesis doctoral bajo su dirección y forma parte actualmente del Departamento de Física Moderna.

También es valorado en el ámbito nacional. Aparte de pertenecer a las reales sociedades de Física y Matemáticas, ha sido miembro de las ponencias de Física y Matemáticas del Centro de Investigación Científica y Tecnológica y de la de Física del Plan Nacional I+D, es miembro de la Comisión de la Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación y es evaluador de la Agencia Nacional de Evaluación y Prospectiva y del propio CICYT.

En el plano internacional, su reconocimiento se hace patente porque su producción científica está publicada, en cada caso, en revistas punteras, pertenece a varias sociedades europeas y americanas, es censor de un número considerable de revistas de física, matemáticas y química, evalúa proyectos de investigación de entidades tales como la Organización del Tratado del Atlántico Norte, la National Science Foundation de Estados Unidos y la INTAS, que es una asociación internacional para la

promoción de la cooperación con científicos de las repúblicas desgajadas de la antigua Unión Soviética. Promoción, esta última, inexcusable dado el número de estu- pendos científicos, sumidos en la carestía, que sobreviven en dichos países. Por último debo hacer constar su participación en numerosos proyectos coordinados, dos de los cuales están vigentes.

Llegados a este punto y aparte, se preguntarán ustedes, me pregunto yo, ¿cómo es posible tanta actividad? ¿cómo esta se compatibiliza con una muy amplia y personal producción científica? La respuesta, si es que existe, debe ser que Jesús tiene ambición científica, que posee una mente insatisfecha.

Acerca de su producción científica

Cicerón, en sus *Cuestiones Académicas*, hace decir a su amigo Varrón: ... *hay, por tanto, que hacer intervenir en la física a la geometría*. Luego, por tanto, todos los físicos, incluido el insigne Faraday, somos, en cierto grado, matemáticos. Sánchez-Dehesa lo es en alto grado, merece la calificación de ‘físico matemático’; su investigación es, en consecuencia, teórica, pero próxima a la actualidad experimental. Comienza investigando en espectrometría nuclear y determina las resonancias gigantes de núcleos esféricos. Sus primeras publicaciones, firmadas casi en solitario, aparecen en revistas de Física y Matemáticas a las que respectivamente envía sus resultados en una y otra disciplina. Este es el comienzo de una pauta que se mantiene a lo largo de los años, si bien sus objetivos se abren a la Química, la Teoría de la Información y hasta la Teoría de Circuitos. Continúa con el estu-

dio de los efectos de las corrientes mesónicas de intercambio en los procesos de dispersión electromagnética en núcleos. Más tarde se interesa por el estudio de las propiedades globales de sistemas atómicos y nucleares con métodos funcionales de la densidad y técnicas físico-matemáticas derivadas del análisis funcional, la teoría de la aproximación y la de las funciones especiales. Recientemente, ha iniciado el estudio de las medidas informacionales de los sistemas atómicos y moleculares y, en general, de los sistemas de muchas partículas, estudio conducente a un conocimiento más completo del desorden interno de tales sistemas y del comportamiento irregular de su espectro energético a la luz de la moderna teoría de la información.

Los resultados se traducen en unas ciento cincuenta publicaciones que, como ya he apuntado, están avaladas por revistas de calidad científica contrastada. Antes decía que esta producción es muy amplia y personal. La amplitud, evidentemente, es poco común. Cierto es que algunas veces nos vemos en el difícil compromiso de evaluar curricula con cientos de trabajos, pero firmados también por decenas y cientos de colaboradores, yo he contado hasta quinientos. Corresponden a resultados producidos por grandes máquinas, como las de fusión nuclear o los aceleradores de partículas, y son atribuidos a todo aquel que, de alguna forma, ha participado en el experimento. Para más dificultad, la firma suele ser por riguroso orden alfabético. Al decir que la producción era muy personal, quise resaltar que la media de firmantes de la misma es pequeña, próxima a tres, cosa no corriente para este volumen de trabajo, y que, además, las firmas

restantes son altamente variadas; una proporción considerable de ellas son foráneas.

Algo parecido podemos decir de sus proyectos de investigación. En catorce de los diecinueve en que ha participado, él figura como investigador responsable, seis son coordinados a nivel internacional y otro lo es a nivel nacional. En estos proyectos interviene un número notable de investigadores, varios proyectos con más de veinte, procedentes de muy variadas instituciones andaluzas, nacionales, belgas, alemanas, portuguesas, rusas y estadounidenses. La financiación revertida a esta universidad por este motivo es respetable, procede de la Junta de Andalucía y del Estado español, por supuesto, pero también de la Unión Europea, por varios conceptos, de la NATO y de instituciones alemanas.

Con lo anterior espero haber colmado mi deseo de transmitirles la importancia del expediente que acabamos de considerar.

Sobre el discurso de investidura

Ya adjetivé al discurso de brillante y documentado. Quiero, y espero no pasarme en el elogio, añadirle aún otro adjetivo más. Para ello recurriré a Althusser y, por su intermedio a Kant. El primero, en una conferencia impartida hace casi treinta años en la vecina Facultad de Letras, dijo: *... en todo matemático que sabe apreciar la elegancia de una demostración, hay dormido también un amante de las bellas artes, y no faltan filósofos que han creído, como Kant, que la realización de un sistema era cuestión, no solamente de lógica sino de estética.* Creo

que, en muchos casos, esto es también cierto para amantes despiertos.

Este discurso tiene la elegancia de una Física bien expresada y contiene la justa proporción de utopía que es necesaria en quien ambiciona contribuir significativamente al avance de su disciplina. Trata de un tema que no me es enteramente ajeno, quien lo ha impartido es un compañero muy cercano, su despacho se ubica prácticamente encima de mi cabeza y el nombre con el que ambos nos honramos es el de físico. Él nos ha presentado un panorama y una visión prospectiva de la física cuántica actual, mostrándonos al mismo tiempo su posición en la misma y hacia dónde dirige su mirada. Esto lo ha llevado a cabo con soltura experta, dejándonos una clara impresión de su música y hasta de su aroma. Pero su contenido es denso y, para mí, no exento de dificultad. Por decirlo llanamente, siendo de la misma tribu, cultivamos un distinto huerto y, para penetrar en huertos ajenos, es necesario hacerlo con humildad y con respeto. Desde el Renacimiento hasta hoy el conocimiento se ha fragmentado en dominios, de mayor o menor extensión, en los que se hablan idiomas, dialectos e incluso germanías muy diversas. Esto es natural pues, retomando la cita previa de Cicerón, *...para designar las cosas nuevas es preciso crear palabras nuevas también, o cambiar el sentido de las antiguas.*

En toda exposición científica, especialmente la que nos ocupa, que discurre en un marco temporal muy limitado y está dirigida a una audiencia no especialista, en la que me incluyo, los problemas de comunicación o, para decirlo de forma más apropiada al caso presente, la

presencia de ruido en la información recibida, es inevitable.

Por todo lo dicho, no me será fácil cumplir con esta fase de mi cometido a menos que acuda a alguna artimaña. Con su permiso, espero que me disculpen, no pienso entrar en el huerto. Dirán que mi prudencia es excesiva, rayana en la cobardía, pero no quiero que, a mi edad, al saltar la valla se me rasgue el pantalón y mis carencias queden expuestas ante un público tan distinguido de forma un tanto impúdica. Prefiero simular, con ayuda del hortelano, un diálogo, un juego de palabras, en el que, desde el otro lado de la cerca, yo interrumpa su discurso, me apropie de algunos conceptos que son clave del mismo, los ilustre con alguna cita de autoridad y los comente desde mi propia perspectiva.

Entender: En la cita de Feynman este afirma que nadie *entiende* la mecánica cuántica. Con ayuda de algunas autoridades, pretendo mostrar la dificultad de entender nuevas teorías e, incluso, la imposibilidad de dar al concepto *entender* un significado preciso. Al mismo tiempo, dejaré en el aire las siguientes cuestiones: ¿Existe algún mortal que entienda, pongamos por caso, la teoría de Newton o la de Maxwell? ¿Alguien sabe qué se entiende por entender? ¿No será que las teorías físicas que son aceptadas lo son por motivos utilitarios, no por que sean entendidas?

A continuación trataré de poner de manifiesto cómo, no sólo la gente de a pie, sino hasta los padres de las criaturas, cuando estas se hacen mayores y se les van de las manos, se ven en dificultades para entenderlas e incluso aceptarlas.

Cuenta Sommerfeld, en su *Óptica*, que Hittorf, científico eminente pero algo timorato, cayó en una grave depresión inducida por su sentimiento de incapacidad para entender el tratado de Maxwell. Compadecidos, sus amigos le convencieron para que se fuese unos días a descansar en el campo. Pero al despedirlo en la estación descubrieron, para su consternación, que dicho tratado formaba parte del equipaje.

Heisenberg nos transmite una anécdota de su maestro Bohr acerca de una conferencia sobre mecánica cuántica impartida por este último a un grupo de filósofos vieneses. *Tras mi conferencia, dice Bohr, no hubo oposición alguna, ni tampoco me plantearon problemas difíciles, debo confesar que esto fue para mí terrible, porque cuando alguien no se extraña ante la teoría cuántica es porque no la ha comprendido.*

Esta misma dificultad, y hasta rechazo, se da en Schroedinger y Einstein, padres de la mecánica cuántica. Sobre esta cuestión, es muy interesante la lectura de la correspondencia entre Einstein y Born, pero me limitaré a citar al libro del propio Heisenberg, *Más allá de la Física*, en el cual se pone en boca de Ehrenfest la siguiente frase: *Einstein, me avergüenzo de ti; te estás portando con la teoría cuántica como lo hacían contigo los enemigos de la teoría de la relatividad en sus vanos intentos de oponerse a ella.* Yo me permito recordar que en España, no hará cuarenta años, eran mucho más numerosos los enemigos de la relatividad de Einstein que los amigos de la misma. En aquellos tiempos, la Complutense ofrecía una sola asignatura apellidada 'Relatividad' cuyo contenido no era einsteniano.

Es también Heisenberg quién nos proporciona una discusión sumamente interesante acerca del significado de *entender* al cual dedica un capítulo de su libro *Diálogos sobre la Física Atómica*, el intitulado *El concepto de 'entender' en la física moderna*. En él encontréis la reseña de una conversación mantenida con Pauli. Ambos han asistido al seminario de Sommerfeld sobre relatividad y Pauli le pregunta *si había entendido la teoría de la relatividad de Einstein*, a lo que Heisenberg contesta...*sólo pude responder que no lo sabía, por no ver todavía claro qué significa propiamente la palabra 'entender' en nuestras ciencias naturales. El aparato matemático de la teoría de la relatividad no me ofrece dificultad alguna; pero esto no significa que entienda sin más por qué un observador en movimiento, al usar la palabra tiempo, quiere significar algo distinto que un observador en reposo. Esta confusión del concepto tiempo sigue siendo para mí inquietante y, por lo mismo, ininteligible.* A esto replica Pauli, *...sabes también que con todo fundamento suponemos que un experimento real sucederá exactamente como lo predice el cálculo. ¿Qué más puedes pedir entonces?*

Y, para terminar, déjenme que extraiga aún otra frase de la misma cita: *...puedes decirlo también así, he entendido la teoría con la cabeza, pero todavía no la he comprendido con el corazón.*

Realidad subyacente: Si recalificamos este concepto como '*realidad en sí*' podremos citar nuevamente a Kant: *no se puede predicar nada de la 'cosa en sí', lo que se nos da son únicamente objetos de la percepción.*

Medida: Al hilo de los primeros comentarios, debo confesar, con la misma humildad mostrada por Hei-

senberg, que, si bien acepté sin dificultad el concepto de espacio-tiempo, el de medida cuántica me causó, y me causa, una profunda incompreensión.

Mente y conciencia: Estos dos conceptos formaron una parte importante de mis inquietudes de adolescente, aunque, a fuerza de no entenderlos, he dado en convivir con ellos con una aceptable serenidad. En su momento hice lo propio en estas circunstancias, acudí al diccionario de nuestra parienta la Real Academia de la Lengua. Las acepciones que me causaron menor perplejidad fueron: para conciencia, *conocimiento que el espíritu humano tiene de sí mismo* y, para mente, *conjunto de los procesos psíquicos conscientes e inconscientes*. De estas incipientes indagaciones saqué la conclusión difusa de que mente y conciencia deberían ser cosas radicalmente distintas aunque estrechamente relacionadas. La primera, de tipo material, constituida por distintos tipos de células sensitivas y el cerebro y la segunda insustancial. Para mí ambas eran sorprendentes y misteriosas. La segunda, además, era la más inquietante de las sensaciones.

Más tarde, cuando aún esperaba que la filosofía me sacase de este tipo de atolladeros, di en leer a Descartes, su *Discurso del método*. Creo ser muy cartesiano, al menos en lo que a la duda se refiere, reconozco la potencia que, como herramienta científica, posee la duda sistemática, aunque en mí, a veces, tenga un efecto paralizante. De la aplicación extrema de esta regla surge el célebre *cogito ergo sum*. En su posterior *Meditaciones*, retoma Descartes el argumento para añadirle la hipótesis de la posible existencia de un demonio con el poder de hacer que cualquier cosa que uno pensase que existe fue-

se no más que un cósmico engaño. Por este camino, dudando de su propia duda, llega a la misma conclusión, *me engañan luego existo*. Me permitiré resumir todo esto en 'soy consciente luego existo'.

También en el Discurso se afirma que *El Universo consiste en dos substancias diferentes: las mentes o substancias pensantes y la materia, siendo esta última básicamente cuantitativa, teóricamente explicable mediante leyes científicas y fórmulas matemáticas. Sólo en el hombre estas se juntan en una unión substancial*. También en este caso me permitiré la licencia de cambiar *mentes o substancias pensantes*, por *conciencias* y proponer como hipótesis que el conocimiento científico constituye un espacio abierto, de incontables dimensiones, en cuya frontera, inalcanzable, se sitúan conceptos como *naturaleza en sí, comprensión, conciencia* y, valga la paradoja, el mismo *conocimiento*. La eliminación de la conciencia del horizonte de nuestras pesquisas deja aún un camino infinito para este apasionante viaje.

Información: Ya sabemos que las palabras son polisémicas, más arriba hemos dado alguna indicación de esta circunstancia. En el ámbito científico ha de procurarse que la relación entre el concepto y la palabra que lo representa sea biunívoca y que dicha relación venga acompañada de una descripción exacta de dicho concepto. Es este un propósito sin esperanza aunque en ocasiones se logren aproximaciones razonables. La palabra *información* es una de las que más significados admite, ha irrumpido recientemente en el panorama científico y, dada la fuerza con que lo ha hecho, puede decirse, en cierto modo, que se ha desmadrado.

Para los buscadores de oro, aparte del conocimiento del lugar donde los hallazgos son probables, información es un destello áureo que, tras un cernido y acompañados de la suerte, puede aparecer en el fondo de sus escudillas. El resto de la arena no es sino un estorbo: *ruido*. La tarea de los prospectores petrolíferos es más técnica pero muy parecida a la que acabamos de describir: como murciélagos miopes, envían señales sonoras al fondo de los océanos y captan sus retornos en la forma de una miríada de síes y nóes (unos y ceros). Ciernen, es decir, *filtran* laboriosamente esta ganga numérica y, si son afortunados, acaban intuyendo una imagen borrosa probablemente relacionada con la ansiada bolsa petrolífera.

Los animales se transmiten información entre sí de muy diversas formas. De ellas, dos son exclusivas del hombre: el habla y la escritura. Ambas revisten una extrema complejidad que la mente resuelve con sorprendente y engañosa facilidad. En ambos procesos intervienen tres sistemas: el de quien habla o escribe o, dicho de otra forma, el de quien codifica y envía la información, el canal por el que esta transita y el sistema de quien la recibe y decodifica. Además, dicha información reside en diversos sustratos expresivos: voz y gesto en el caso del habla, caracteres y variantes caligráficas en el de la escritura. No he mencionado el sustrato determinante, cual es el contexto. Puede en cada caso prescindirse de algunos de los mencionados en primer lugar pero en ningún caso puede ignorarse a este último. Dicen que los matrimonios que hablan poco son los que no funcionan, pero no es cierto. Los que hablan mucho y alto se comunican de esta forma porque, al compartir un contexto escaso y codifi-

car con exceso de ruido, deben suplir estas carencias con potencia y redundancia. A los bien avenidos les sobra con un leve gesto para transmitir todo un mundo de información.

Pero nuestro hortelano quiere plantar en su huerto otros tipos de información, de la misma familia que los anteriormente comentados pero resultantes de mutaciones genéticas. Son estas ‘informaciones’ mucho más limpias, se definen, como magnitudes, por medio de definiciones operacionales, mediante fórmulas que permiten su cálculo y determinación experimental. Con ellas puede hacerse física de fundamentos, las otras son más ambiguas, menos dóciles. En cualquier caso, queda probado que no existe un concepto de información sino una multiplicidad creciente de ellos.

Espero que la plantación de informaciones en el huerto de nuestro hortelano le rinda en primavera frutos sanos y abundantes.

Podría extenderme en esta divagación, pero estaría incumpliendo flagrantemente mi promesa de brevedad, por lo que, sin más dilación, doy por finalizada mi intervención, no sin antes reiterar nuestra bienvenida al Excmo. Sr. Don Jesús Sánchez-Dehesa Moreno-Cid y agradecerles su atención y su paciencia.