



EL MUNDO CUANTICO

LUIS ESTRADA

*Comprenderemos lo simple que es el Universo
cuando aceptemos lo extraño que es.*

J A Wheeler.

Empezaré por recordar que la ciencia es un esfuerzo para saber que no siempre deja satisfechos nuestros ilimitados deseos de conocer y comprender. Los grandes logros científicos se han distinguido por originar nuevas y numerosas preguntas, no sólo en tanto a sus consecuencias sino también en cuanto a la naturaleza de lo logrado. Gracias a la investigación científica hemos avanzado en extensión y en profundidad, por lo que ahora conviene cuestionarnos acerca de lo que queremos y podemos comprender del Universo. En este contexto es justo reconocer, por una parte, que todavía no entendemos de manera satisfactoria la Mecánica cuántica y, por la otra, que los esfuerzos por lograrlo no han sido vanos. Este reconocimiento sería más significativo si fuera la aceptación de que lo que ya entendemos gracias a esa disciplina nos compromete de manera desacostumbrada y nos obliga a cambiar mucho de lo que hemos creído acerca del comportamiento de los fenómenos naturales.

Es difícil hablar de Mecánica cuántica con un público general porque ésta es un conocimiento que no ha salido de un pequeño círculo de especialistas. La poca divulgación que de ella se ha hecho se refiere a sus primeras épocas y se basa en una pedagogía simplista. Por otra parte, la gran mayoría de las fuentes de información acerca de esa disciplina son especializadas y no están en nuestro idioma. Señalo lo especializado de esas fuentes no porque piense en artículos o en libros científicos, sino porque aún las de divulgación presuponen cierta cultura que no es común en nuestro medio, y menciono al idioma ya que al hablar de Mecánica cuántica se emplean palabras que pueden confundir, máxime cuando son de otra lengua. Aparte de que la ciencia ha modificado muchos conceptos sin cambiar los términos empleados para denominarlos, y hay que estar enterado de tales cambios, las palabras tienen distintas resonancias y crean desiguales ambientes en diferentes idiomas. Es por tanto necesario no sólo hablar más de Mecánica cuántica con los no-especialistas, sino también revisar el lenguaje para hacerlo y crear en nuestro idioma los términos idóneos para comunicar bien ese conocimiento.

En lo que sigue me propongo presentar algunas reflexiones acerca de lo que ahora sabemos de Mecánica cuántica y aprovecharé ese conocimiento para esbozar una imagen del microcosmos. Lo haré intentando dar un panorama general del campo ya que, en mi opinión, el

“conocimiento cuántico” se distorsiona mucho si se reduce a alguno de sus aspectos o se aísla del contexto general de la Física y las Matemáticas contemporáneas. Mi propósito es contribuir a la comprensión de la Mecánica cuántica como un conocimiento científico que es básico en la visión actual del Universo y que, por tanto, tiene un importante lugar en la cultura contemporánea. La guía principal que seguí al escribir este artículo fue mi convicción de que los problemas más importantes que la Mecánica cuántica ha resuelto provienen no tanto de los extraños fenómenos que la originaron, sino de las insólitas interpretaciones que de ella se derivan.

La Mecánica cuántica •

es la descripción del movimiento de los cuerpos que constituyen lo que llamamos el mundo microscópico. Para estudiar al Universo la ciencia lo divide en distintas partes siguiendo la herencia y las experiencias de las diferentes disciplinas que conocemos como las ciencias naturales. En este contexto el mundo microscópico es el orbe del estudio de la composición de la materia y es un campo estudiado principalmente por la Química y la Física. Sabemos ahora que la estructura de la materia es atómica, esto es, que está formada por ciertas unidades cuyos tamaños son mucho menores que los objetos más pequeños conocidos por la experiencia cotidiana. Sabemos también que tal estructura guarda una jerarquía: los elementos químicos, que son los ingredientes básicos de la materia ordinaria, están formados por átomos y las componentes básicas de éstos son los núcleos, que a su vez están hechos de nucleones –protones y neutrones–. Dos aclaraciones son aquí necesarias. Entre los científicos la palabra átomo se emplea normalmente como acabo de hacerlo: es el ingrediente simple de un elemento químico por lo que se habla del átomo del hidrógeno, del oxígeno o del carbono. Sin embargo no se evita el uso de la misma palabra en el sentido griego original: el elemento indivisible de la estructura material, y esto sucede principalmente cuando se habla de la estructura atómica de la materia o del atomismo. La otra aclaración es que la jerarquía estructural no termina en los nucleones, ya que éstos son compuestos y forman parte de una gran familia de objetos cuyos “átomos” son las partículas fundamentales.

El atomismo actual se basa en el conocimiento empírico de las partículas fundamentales, de las cuales debo mencionar que ahora se conocen dos familias principales: los cuarc y los leptones. Para comprender la estructura del mundo de la vida cotidiana es suficiente considerar de esas familias dos cuarc, el *u* y el *d*, y dos leptones, el electrón y el neutrino electrónico, al que en lo que sigue llamaré simplemente el neutrino. Con estas partículas fundamentales se explica la composición de los nucleones y se construye la Física nuclear, en la que los objetos principales son los núcleos atómicos. Estos permiten organizar conjuntos de electrones, para formar los átomos, y así construir los elementos químicos, las moléculas y los complejos materiales que componen el mundo en que vivimos. La formación de todas estas estructuras es posible gracias a que hay fuerzas capaces de unir

a las partículas fundamentales, las cuales son también un ingrediente del atomismo actual.

Sabemos ahora que el Universo está estructurado gracias a la existencia de unas cuantas fuerzas básicas. Por el momento sólo mencionaré una de ellas: la interacción electromagnética, que es la versión depurada de nuestro conocimiento acerca de los fenómenos eléctricos, magnéticos y luminosos. Esta interacción es la que permite la formación de los átomos: los electrones y los núcleos poseen carga eléctrica por lo que producen una fuerza que los atrae y les da una estructura. Por otra parte, uno de los principales logros de la ciencia en este siglo fue el descubrimiento de que las fuerzas básicas también tienen una estructura atómica. En particular, los “átomos” de la interacción electromagnética son los fotones por lo que habrá que considerarlos también como partículas fundamentales. Resumiré lo dicho como sigue: podemos explicar la estructura del mundo de la vida cotidiana como una organización jerarquizada de partículas fundamentales: los cuarc u y d , los electrones, los fotones y los neutrinos. Los protones, los neutrones, los átomos del hidrógeno, del carbono, las moléculas del oxígeno, del agua, del butano, del benceno, etc, son compuestos de tales partículas fundamentales. Del movimiento de esta clase de cuerpos es de lo que se ocupa la Mecánica cuántica.

La descripción del movimiento

que da la Mecánica cuántica tiene mucho en común con la de la Mecánica clásica, especialmente si se consideran sus propósitos. Ambas pretenden describir el movimiento de cualquier clase de cuerpo y para ello lo representan en una forma idealizada introduciendo el concepto de partícula. Aunque la construcción de la Mecánica cuántica se ha beneficiado mucho de la experiencia obtenida de la clásica, su noción de partícula difiere mucho del de ésta. En la Mecánica clásica una partícula es un punto de un espacio que representa las posibles posiciones y velocidades que el cuerpo en consideración puede tener. El movimiento es una familia de curvas que corresponden a las trayectorias que el cuerpo puede seguir y a la rapidez con que lo haría. Si bien esta descripción es abstracta y se da, generalmente, en términos matemáticos, no nos extraña porque estamos habituados a ella. La situación en el caso cuántico es diferente. Aunque mucha de la información del comportamiento de las partículas fundamentales se obtiene del análisis de trayectorias registradas con ayuda de detectores muy precisos, el comportamiento de los cuerpos del mundo microscópico es más rico y variado que el de los ordinarios. Por ejemplo, las partículas fundamentales se pueden difractar mientras que las bolas de billar y los satélites –naturales o artificiales– no pueden hacerlo.

No obstante que con la Mecánica se pretende describir el movimiento de todos los cuerpos, hay algunos que se prestan como mejores ejemplos para concretar el estudio deseado. Los principales modelos de la Mecánica clásica fueron los planetas y en el caso cuántico han sido los electrones y los fotones. Aunque el comportamiento de estas partículas tiene

muchas semejanzas, sus diferencias muestran aspectos esenciales que podemos entender mejor recordando su origen. Los electrones son los “átomos” de la electricidad y los fotones los de la luz. La electricidad es un “fluido” que circula a través de ciertos materiales, los metales principalmente, mientras que la luz es una manifestación de la fuerza electromagnética. En condiciones normales los fotones y los electrones se producen en conjuntos muy numerosos –principalmente en forma de haces que se propagan de un lugar a otro–, por lo que debemos considerar a esas partículas como componentes de una familia. Lo peculiar de esta familia es que sus miembros son idénticos e indistinguibles pues hemos comprobado que tanto fotones como electrones presentan siempre las mismas características individuales, por lo que, dado un conjunto de ellos, no podemos marcarlos para discernir cuál es cuál, aunque podamos saber cuántos son. Con base en este somero repaso asentaré que la principal diferencia entre electrones y fotones es que los primeros son fácilmente separables mientras que los segundos no, ya que tienen una fuerte tendencia a agruparse y a comportarse colectivamente. No es casual que la Física clásica consideró a la luz como un buen ejemplo de los fenómenos ondulatorios.

La descripción cuántica, como la clásica, es abstracta y se expresa en términos matemáticos, aunque las matemáticas necesarias para tal descripción son mucho más elaboradas que las usadas en la Física clásica. Así las cantidades empleadas para describir el movimiento pertenecen a un sistema matemático llamado un álgebra no-conmutativa, por lo que si llamamos q a la posición de una partícula y p a su velocidad, la operación qp es distinta a la pq . Para concretar matemáticamente este tipo de cantidades es necesario emplear un espacio adicional al ordinario –esto es, al espacio físico– cuyos elementos se conocen como las funciones de ondas y se denotan con la famosa letra Ψ . El contenido básico de la teoría queda situado en ese espacio y la relación con lo observable del movimiento se da como una función de la Ψ . No es éste el lugar para dar más explicaciones acerca de la estructura matemática de la Mecánica cuántica y sólo añadiré que la descripción del movimiento es de naturaleza probabilística –en general sólo se pueden predecir los valores probables de las magnitudes que caracterizan al movimiento– y no es posible obtener la misma cantidad de información que en la Mecánica clásica, ya que la no-conmutatividad rompe la independencia de ciertas magnitudes haciendo que la afinación de la medida de una conduzca al desajuste de la medición de otras, lo cual constituye la base del Principio de indeterminación.

Las características de la descripción cuántica

más importantes son las siguientes: 1- la noción de partícula, 2- la naturaleza probabilística del conocimiento, 3- la superposición de estados de movimiento, 4- el tratamiento de la interacción y 5- la intervención de las partes lejanas en los procesos de observación. Revisemos brevemente cada una de ellas. La representación cuántica de una partícula permite imaginarla de varias maneras: puede ser, por ejemplo, un objeto localizado, muy

parecido a una partícula de la Mecánica clásica, o si se quiere, un ente que ocupa una considerable región del espacio, como lo haría una onda sonora. Es importante mencionar que en una gran parte de los usos de la Mecánica cuántica no es necesario precisar la imagen de las partículas en consideración, aunque en otras, como en el estudio de las colisiones entre partículas, es indispensable. Por otra parte la misma flexibilidad de la noción cuántica de partícula permite ampliar el sentido del atomismo para explicar ciertos fenómenos como debidos a la existencia de una estructura corpuscular. De esta manera se dan explicaciones construyendo “partículas artificiales” –conocidas por los especialistas con el nombre de casi-partículas– como los fonones, los agujeros electrónicos y los excitones. Para resumir diré que las partículas cuánticas pueden imaginarse como objetos incorpóreos, versátiles, distribuidos en el espacio y, en cierto sentido, quiméricos.

La segunda característica es lo más conocido de la descripción cuántica: la naturaleza probabilística del movimiento. Si se desea saber dónde está una partícula o cuál es su velocidad, la Mecánica cuántica sólo nos dará, en general, los valores probables. Cabe mencionar aquí que si la función de ondas, la Ψ , fuera directamente observable la situación sería diferente, ya que esta función tiene un comportamiento similar al de las magnitudes de la Física clásica. Empero, con la Mecánica cuántica hemos aprendido que para relacionar la información obtenida de la Ψ con nuestras observaciones, es necesario emplear funciones de ella y esto es lo que conduce a una interpretación probabilística. Resulta entonces que la contingencia es un rasgo característico del mundo microscópico. Por otra parte, como en la Mecánica cuántica las causas que determinan el movimiento de una partícula no producen un resultado único, las posibilidades dinámicas resultan más numerosas que las clásicas, máxime que ella admite a la superposición de dos o más estados de movimiento como otro estado posible. Esta propiedad hace que la situación observada de una partícula pueda provenir no sólo de varias posibilidades, sino de una sobreposición de ellas, esto es, puede proceder de un efecto de “interferencia” de dos, o más, estados posibles de movimiento. Esta peculiar característica de la Mecánica cuántica explica el extraño comportamiento calificado como “ondulatorio” de las partículas del mundo microscópico.

En relación al tratamiento de las interacciones la Mecánica cuántica es un instrumento novedoso y potente. Para describirlo debo antes señalar que la naturaleza de las fuerzas que causan el movimiento de las partículas no es un asunto de la Mecánica, ni en el caso clásico ni en el cuántico. Sin embargo esta disciplina da los medios necesarios para saber las características generales que toda interacción debe tener, y en el caso de la Mecánica cuántica es posible no sólo obtener mayor conocimiento sino también descubrir novedosas cualidades. Como ya lo adelanté las interacciones fundamentales tienen también estructura “atómica” y sus elementos son parte de las partículas estudiadas por la Mecánica cuántica. Por lo tanto, en esta disciplina, los problemas planteados por la interacción de partículas fundamentales son tratados puramente en términos de partículas. Así la teoría fundamental de las acciones entre los cuerpos eléctricamente cargados, conocida como la Electrodinámica cuántica, se plantea como el estudio del comportamiento de un sistema

formado únicamente por partículas: electrones y fotones. Para terminar este punto diré que el comportamiento entre partículas muestra algunas diferencias esenciales cuando ellas son los cuerpos que interactúan o las componentes de la interacción. En el primer caso, como ya lo mencioné, las partículas son fácilmente separables –en la mayoría de los casos sólo se consideran unas cuantas–, mientras que en el segundo constituyen un grupo que actúa colectivamente. Por esto la Mecánica cuántica distingue en su tratamiento a tales clases de partículas y llama fermiones a las del primer tipo y bosones a las del segundo.

La última característica de las antes enumeradas manifiesta que en la Mecánica cuántica se requiere de la contribución de todos los puntos del espacio para construir las cantidades observables. Más aún, esta disciplina establece ciertas relaciones entre las componentes de un sistema cuyo resultado es independiente de la separación espacial de tales componentes. Estas construcciones y relaciones originan sorprendentes efectos que parecen establecer una comunicación instantánea entre partes lejanas de un sistema y, por tanto, contradecir el Principio de causalidad tan bien establecido por la Teoría especial de la relatividad. Los años recientes han permitido no sólo aclarar mejor esta situación –mostrando que no representa ningún problema para la teoría cuántica– sino también diseñar experimentos que claramente comprueban la “realidad” de tales situaciones y que sugieren maneras de aprovecharla en el terreno tecnológico.

Conviene añadir a las características de la descripción cuántica que he mencionado algunas más. Ya dije que para la Mecánica cuántica los modelos de los cuerpos a describir son objetos como los fotones y los electrones y que éstos se manifiestan, normalmente, en conjuntos numerosos. Lo que ahora quiero agregar es que en la descripción cuántica el número de partículas que pueden considerarse, además de ser cualquiera, puede ser variable, esto es, la Mecánica cuántica permite estudiar procesos en los que haya cambios en el número de partículas que forman el sistema en consideración. Con esto se pueden describir fenómenos en los que hay creación o destrucción de partículas y esta posibilidad conduce, ineludiblemente, al caso en el que no haya partículas presentes, el vacío, estado que en la Mecánica cuántica tiene un lugar preponderante. Debo aclarar que el vacío cuántico está asociado al tipo de partícula que puede haber en el sistema considerado y representa la existencia en la naturaleza de tales partículas, así como la posibilidad de que ellas puedan estar presentes en un fenómeno particular. Por lo tanto la presencia del vacío electrónico en un proceso dado significa que no hay electrones presentes en él, aunque pudo o podrá haberlos en otros procesos similares. Así los físicos han aprendido no sólo que pueden crearse electrones, sino también cómo hacerlo. El ejemplo que tomé amerita mayor aclaración ya que sabemos que la creación de electrones se realiza en pares, esto es, que lo que se obtiene cuando se quiere producir un electrón es esa partícula acompañada de un positrón, que es su antipartícula. Debo reconocer que con esta aclaración he tocado el tema de la existencia de las antipartículas; sin embargo como la explicación de su naturaleza me alejaría mucho de mis propósitos, no la daré y sólo mencionaré que en el contexto de la Mecánica cuántica la descripción de una antipartícula se hace de una manera análoga

a la de una partícula, esto es, que la teoría cuántica incluye a las antipartículas entre los cuerpos a cuya descripción se avoca.

Terminaré esta sección mencionando otra característica de la Mecánica cuántica que ha contribuido mucho a la realización de sus sorprendentes construcciones y es que ha modificado las reglas de la lógica. Como es bien sabido la Mecánica cuántica es el resultado de la explicación de fenómenos tan extraños como el impedimento de que la energía se distribuya de manera continua en la radiación producida por un cuerpo negro –la cuantización de la energía–, o la difracción de los haces de electrones. Para aclarar tales fenómenos los físicos fueron proponiendo reglas cuya validez quedó cimentada en su valor explicativo, como sucedió cuando se propuso que las variables básicas de la descripción dinámica fueran cantidades no conmutativas. La Mecánica cuántica es la síntesis de esta experiencia por lo que su construcción incluye la aceptación de principios que no se siguen de razonamientos habituales, con el resultado de que su estructura no obedece a la lógica ordinaria, sino que ha definido una nueva, conocida como la lógica cuántica. De ésta sólo mencionaré dos de sus peculiaridades: la primera es que no cumple con la “ley del tercero excluido”, esto es, en la teoría cuántica hay proposiciones que no siendo falsas tampoco son necesariamente verdaderas. La segunda es una consecuencia de lo que acabo de decir y es que el concepto de probabilidad cuántica es diferente del clásico. Por esto, y siendo la naturaleza probabilística de la descripción cuántica su principal característica, no debía sorprendernos que de la Mecánica cuántica se deriven conclusiones extrañas y lo natural parecería que hay que hacer un esfuerzo para entender el significado de tales conclusiones y aprovecharlas para elaborar una mejor imagen del insólito mundo microscópico que con su ayuda estamos descubriendo.

Lo ganado con la Mecánica cuántica

es mucho y no parece agotarse. De ello lo más importante es el novedoso, vasto y profundo conocimiento de la naturaleza que nos ha proporcionado, lo cual constituye un singular logro humano. Es claro que no sólo hemos ganado un conocimiento básico, aunque es importante subrayar este hecho ya que la Mecánica cuántica, como parte de la ciencia, fue elaborada buscando comprender una parte del Universo. Empecemos por revisar ese conocimiento. Lo primero, y más afamado, que hay que mencionar es la construcción de la Física atómica. Como sabemos un átomo es un conjunto de electrones unidos por un núcleo mediante una fuerza eléctrica. Los movimientos de esos electrones se realizan sólo en ciertas formas que recuerdan a algunas órbitas planetarias y la Mecánica cuántica permite clasificar esos movimientos y numerarlos, con lo que ahora podemos conocer todas las estructuras posibles en el mundo atómico. Con esto se explica la existencia y las propiedades de la Tabla periódica de los elementos. Un aspecto esencial de esta explicación es que no sólo nos proporciona información cuantitativa, sino también refleja fielmente la calidad del mundo atómico, ya que en ese ámbito sólo son posibles ciertas

estructuras y la teoría cuántica nos explica por qué. Creo importante señalar que con la Mecánica cuántica hemos introducido la noción de cualidad en la descripción científica y estamos empezando a usarla sistemáticamente.

Muy relacionado con el conocimiento de la Física atómica está la ayuda que la Mecánica cuántica nos da para la comprensión de los compuestos estudiados en la ahora llamada Física de la materia condensada. Ejemplos importantes de estos agregados son los cristales, los metales, los semiconductores, los superconductores y muchos otros materiales que se emplean en los utensilios de la vida moderna. Debo mencionar aquí que las casi-partículas que antes mencioné –los fonones, los agujeros electrónicos y los excitones– son elementos propios de las explicaciones en el campo de la materia condensada y que la descripción de los objetos de éste terreno sólo puede darse en términos cuánticos. Con lo que acabo de decir se comprende por qué para muchos legos las explicaciones de las propiedades de la materia condensada resultan más extrañas que las mismas propiedades.

El mundo microscópico no se ha manifestado siempre como ahora lo percibimos, ya que las condiciones físicas del Universo primitivo hicieron imposible la formación de las estructuras que ahora dan lugar al mundo macroscópico. Sabemos que en los primeros momentos de la vida del Universo sólo hubo partículas fundamentales y que éstas interactuaban violentamente, por lo que el estudio de este asunto es materia propia de la Mecánica cuántica. Más aún, como en esa época debieron existir al menos todas las partículas fundamentales hoy conocidas, exhibiendo todas sus propiedades, y sus interacciones debieron incluir a todas las ahora observadas, para entender al Universo primigenio necesitamos de un gran “conocimiento cuántico”. Debo señalar que el empleo de la Mecánica cuántica en ese estudio ha tenido buen éxito y cabe señalar aquí que en el Universo actual hay muchas partes que, aunque son de grandes dimensiones, su situación física corresponde a lo que llamamos el mundo microscópico. Ejemplos importantes de esto son las estrellas y otros objetos celestes, por lo que la Astronomía moderna se basa también en la Mecánica cuántica.

La cosmogonía científica y la Astronomía no son los únicos campos fuera del mundo microscópico en los que se requiere de la Mecánica cuántica para su entendimiento. El mundo que la tecnología moderna está creando, y que cada vez conforma más la vida cotidiana, requiere también del conocimiento cuántico, tanto para su construcción cuanto para su comprensión. El funcionamiento de un transistor o de un láser se basan en efectos cuánticos, como también el de las cerámicas superconductoras, cuyo uso en la vida común no parece estar muy lejano. El avance del conocimiento de la materia condensada se manifiesta en el mundo ordinario por el acelerado desarrollo de la electrónica, la fotónica, la nanoindustria y otras tecnologías que configuran la vida moderna. Es importante señalar que este desarrollo se basa, cada vez en mayor medida, en que el conocimiento no sólo permite entender las propiedades de la naturaleza, sino también modificarlas. Quizá sea una exageración afirmar que la invención de la microelectrónica es una consecuencia

directa de la Mecánica cuántica, pero no lo es decir que con esa tecnología una parte del mundo cotidiano es ahora cuántico.

Las consecuencias del conocimiento cuántico

son, en su gran mayoría, muy profundas y sorprendentes. Aunque todavía no se comprenda bien el significado de estas consecuencias en el contexto general de la ciencia, hay conclusiones que son ya definitivas y de ellas es importante mencionar las siguientes: 1- el funcionamiento íntimo de la naturaleza es contingente, 2- el razonamiento cuántico sigue una lógica en la que las opciones probabilísticas toman el lugar de la ley del tercero excluido, 3- la observación profunda del mundo microscópico introduce perturbaciones ineludibles y 4- pueden existir correlaciones entre partes de un sistema que están mucho muy separadas o que parecen independientes.

Para considerar seriamente las conclusiones que acabo de enumerar es necesario formularlas en forma precisa y establecer su relación en términos de la teoría cuántica, aparte de definir el contexto en el que tienen sentido y aclarar las nociones empleadas en su formulación. Es obvio que no es éste el lugar para hacer eso y las he mencionado sólo para señalar el tipo de consecuencias que tiene el conocimiento cuántico en el saber contemporáneo. Reitero que se trata de un conocimiento muy profundo que conduce a muy radicales conclusiones, por lo que hay que reconocer que sus consecuencias completas no podrán obtenerse únicamente de la Física, aunque ésta sea la disciplina que generó tal conocimiento. Cabe entonces insistir en la importancia de seguir estudiando la Mecánica cuántica y de divulgarla, a fin de comprender mejor el conocimiento ganado con ella. No puedo terminar este tema sin mencionar que hay otros aspectos recónditos del Universo que se están explorando con ayuda de esa disciplina, como son la naturaleza de la realidad y la incorporación de los efectos de autorreferencia en la descripción científica.

A manera de conclusión

asentaré que con la Mecánica cuántica –que no es más que una parte del esfuerzo humano para comprender al Universo– hemos logrado abrir un nuevo y extraño camino que hay que recorrer completo, de ida y vuelta, y muchas veces, a fin de familiarizarnos con él y comprender a dónde nos lleva. El buen éxito que ha tenido la Mecánica cuántica da la confianza necesaria para continuar el esfuerzo requerido para conocer bien y aprovechar ese camino. Para la natural curiosidad humana y el innato deseo de saber, la novedad y la extrañeza del camino son un gran estímulo y, sin negar el natural miedo a lo diferente y la humana resistencia al cambio, es imprescindible redoblar nuestros esfuerzos para dominar tal camino y así comprender el mensaje que la Mecánica cuántica nos está ofreciendo.