

CIENCIA Y CULTURA: LA DISCONTINUIDAD DE LA ENERGIA

Por José Luis Villaveces C.*

PARTE I

LA DISCONTINUIDAD DE LA ENERGIA DE LA TIERRA A LA LUNA

Una buena parte de este tema me fue sugerida por un comentario que hizo el Dr. Eduardo Brieva cuando, hablando ante la Academia Colombiana de Ciencias, decía que, gracias a los avances de la técnica en los últimos años, ahora es posible medir la distancia de la Tierra a la Luna con un error inferior a diez centímetros. Al terminar su exposición le comenté que esto implicaba un cambio en la definición usual de distancia entre la Tierra y la Luna, pues la que se usa generalmente en Astronomía es la distancia entre los centros de gravedad de los dos cuerpos celestes, mientras que la distancia medida con el láser es una distancia entre el punto donde está colocada la fuente de luz y la superficie que la refleja. Dicho en otras palabras, es la distancia que hay entre la superficie de la Tierra y la de la Luna. Estuvo de acuerdo conmigo, pero no sé si estará de acuerdo cuando yo afirme que cada vez que queremos mejorar la precisión con la cual medimos una distancia, debemos cambiar la definición de la propiedad medida; que medidas sucesivas de distancia, con precisión creciente, no son medidas de la misma cosa.

Por ejemplo, si determinamos la distancia entre la superficie de la Tierra y la de la Luna con diez centímetros de precisión, evidentemente ya no estamos hablando de "la" distancia entre la Tierra y la Luna, sino de su distancia en un día particular

a una hora determinada, pues la órbita de la Luna alrededor de la Tierra es una elipse perturbada, con excentricidad y perturbaciones bien superiores a los diez centímetros. De "una" distancia hemos pasado a una medida instantánea, a un elemento de un conjunto de distancias. Pero, tal vez más interesante es pensar desde donde se está midiendo la distancia. ¿Desde cuál de los dos extremos del aparato que, probablemente, tenga más de diez centímetros de largo él mismo? ¿Desde la mesa de trabajo que se encuentra en el tercer piso del laboratorio o desde el nivel de la calle? Claro que podemos hacer correcciones y medirla ajustándola a la distancia desde el nivel del mar. Aún así tendremos dificultades, pues el "nivel del mar" cambia en más de diez centímetros a lo largo de la superficie terrestre. Resulta evidente que estamos midiendo con muchísima precisión una magnitud que tiene muy poco que ver con la definición usual de "La Distancia entre la Tierra y la Luna".

Esta aparente patología no es exclusiva de la distancia entre cuerpos astronómicos. Midamos la longitud de una mesa de este cuarto o, lo que es lo mismo, la distancia entre sus dos extremos. Colocamos un metro sobre ella y obtenemos un valor con una precisión de un centímetro. Tomando algunas precauciones más, podemos medirla con una precisión de un milímetro. Pero, ¿sí habrá tenido el carpintero la precaución de cortar los dos extremos exactamente paralelos? O, ¿podrá ser que la distancia entre ellos difiera en algunos milímetros? Si esto es así, todavía podemos medir la distancia por ejemplo entre los dos puntos medios con una precisión de un milímetro. Sin embargo, si lo que nos interesa es ver si cabe en un espacio que teníamos predestinado para ella, es más sensato medir la distancia entre los dos extremos más alejados.

* Grupo de Química Teórica, Departamento de Química Universidad Nacional de Colombia. Miembro Correspondiente de la Academia Colombiana de Ciencias.

Resulta que ya estamos cambiando la definición. De "la" longitud de la mesa pasamos a la distancia entre un cierto punto y otro, muy particulares, de lado y lado del mueble.

Bien puede suceder que el carpintero sí la haya cortado de manera que los dos extremos sean paralelos y no difieran en distancia ni siquiera en una centésima de milímetro, aunque sea dudoso que tenga sierras de tanta precisión. Aún así, el problema sería idéntico cuando quisiéramos medir la mesa con una precisión de milésimas de milímetro. Aunque ahora ya no nos sirve el metro inicial, pues distancias del orden del micrómetro sólo pueden medirse con instrumentos microscópicos. O con un láser y un interferómetro. Pero, ahora se plantea la cuestión de si el carpintero no sólo fue capaz de cortar la mesa con el paralelismo supuesto, sino de si luego la pudo pulir con esta precisión. Pues, de no ser así, habrá "montañas y valles" que tendrán más de una micra de altura, en las superficies de los extremos de la mesa. De hecho, tendríamos que asegurarnos de si estamos midiendo la distancia entre las dos tablas o entre los dos recubrimientos de pintura, pues es evidente que la capa de laca tiene bastante más de un micrómetro de espesor. Resulta ahora que, de nuevo, hemos cambiado la definición de la cantidad física medida. Ya no medimos "la longitud de la mesa", sino la distancia entre las dos protuberancias más alejada, desde la superficie de laca que las recubre.

La patología es así común a los planetas y las mesas. Tal vez no sea difícil ver que lo es a la mayor parte de los cuerpos. Sin embargo, siempre podemos imaginar un objeto sólido, hecho con tanto cuidado como el metro patrón que reposa en París, con sus extremos cortados en paralelas perfectas, con un pulimento exquisito, sin ningún recubrimiento de laca, de tal manera que podamos medir su longitud con una precisión de un micrómetro; 10^{-6} metros. Entonces podemos pedir una precisión superior. Para no extender demasiado el argumento, exijamos de una vez cuatro órdenes de magnitud más de precisión y midamos la longitud de esta barra de Platino-Iridio con una incertidumbre inferior a un Angstrom. Ahora, la constitución atómica de la materia va a limitar de manera absoluta la precisión de las medidas.

La patología de la cual he venido hablando se manifiesta cada vez que queremos medir la distancia con una precisión menor que el orden de magnitud del sistema que nos interesa. Mientras menor sea la incertidumbre tolerada, más grave es la patología: de la distancia entre dos cuerpos pasamos a la distancia entre sus superficies o entre puntos de ellas. El cuerpo sólido empieza a aparecer como envuelto por una superficie rugosa y ahora medimos distancias entre detalles de esa superficie en vez de distancias entre cuerpos. Cuando queremos medir distancias con una precisión del orden de magnitud de los átomos, la constitución atómica de la materia limitará de manera absoluta la precisión de las medidas. La medida de la longitud de la barra

de platino-iridio que reposa en París con una precisión de 10^{-10} metros es una medida de distancias entre qué y qué, si tengo que pensar en los átomos de Platino de lado y lado? ¿Es la distancia entre las superficies externas de los átomos o entre los puntos medios de las líneas que los unen? En realidad, la idea de "superficie" de un átomo no tiene sentido en la ciencia actual. Y esto, sin hablar del aparato necesario para hacer la medida que, si es óptico, tiene que usar luz de una longitud de onda tal que produce la ionización de los átomos y la descomposición del sistema.

¿De dónde sacamos entonces la idea de que la distancia entre la Tierra y la Luna está definida con cualquier precisión?

RECTAS EUCLIDIANAS Y PREJUICIOS GALILEANOS

Esta creencia es un prejuicio Galileano derivado de la idea de que una recta es un conjunto de un número infinito de puntos:

"Exactamente como una línea de diez hebras (canne) contiene diez líneas de una longitud de una hebra y cuarenta líneas de la longitud de un brazo braccia) y ochenta líneas de medio brazo de longitud etc., así contiene también un número sin fin de puntos, llámalos actuales o potenciales, como te plazca, mi querido Simplicio, pues en lo que concierne a este detalle me doblego ante tu opinión y juicio".

Galileo se mofa del Aristotélico Simplicio pero al mismo tiempo tergiversa el modo de pensar del estagirita, quien había dicho claramente:

"es imposible que ningún continuo esté formado por partes indivisibles; por ejemplo, que una línea esté constituida por puntos, si es verdad que la línea es un continuo y el punto es indivisible" (Física, Libro Sexto, Capítulo I).

Para Aristóteles los puntos no pueden ser elementos de la línea y no se puede llegar a ellos por subdivisión infinita como sugiere Galielo; no en vano había argumentado vigorosamente en el Libro III de la Física en contra de la existencia del infinito, tanto del "infinito grande" como del "infinito pequeño" como los había designado Platón; en contra de la posibilidad de sumar hasta el infinito tanto como de la posibilidad de dividir hasta el infinito. Sin embargo, para él, los puntos sí están contenidos en la línea pero potencialmente: es posible cortarla y actualizar un determinado punto, pero se interrumpe así la continuidad de la línea. Galileo rechaza, sin más esta idea imponiendo sin discusión su punto de vista y dejando generosamente a Simplicio que llame a los puntos Galileanos "potenciales" si le place.

Galielo se basa en el *prejuicio* de que toda la naturaleza es reducible a la geometría. De que las distancias en el espacio físico son iguales a las rectas de un espacio euclidiano. Esto es un prejuicio inherente a la cultura occidental después del renacimiento, después de Galileo, de Kepler y de Newton.

Sin embargo, este prejuicio es inaceptable en una ciencia que se pretende basada en la experiencia. Una distancia física no es divisible hasta el infinito. Al menos en este sentido está limitado Galileo: la división *ad infinitum* de la recta implica, en primer lugar, una corrección de la definición de la distancia cada vez que se quiera dar su magnitud con una incertidumbre inferior a las dimensiones del sistema. En segundo lugar, y más grave aún, está limitada por la naturaleza atómica de la materia. Pero, ¿esto quiere decir que las distancias no deben ser representadas por variables continuas!

En efecto, para estudiar la distancia como variable, digamos en función del tiempo, tomamos un metro que permita medidas con precisión de un milímetro y medimos varias veces, para varios tiempos diferentes, obteniendo un conjunto de resultados $\langle d_1, d_2, \dots, d_N \rangle$. Si estuvieran exoresados en milímetros, estos resultados serían números enteros, puesto que este es el límite de su precisión. Son variables discretas representables sólo por números enteros. Sin embargo, en contra de la evidencia experimental, tenemos la idea de que la distancia es una variable continua. ¿Es esta convicción algo más que un prejuicio? Aunque toda medida de distancia hecha en estas condiciones nos haya dado como resultado un número entero, creemos en la existencia de los valores intermedios. ¿Por qué?

Podemos haber obtenido un cierto valor para la distancia y, si medimos otro un intervalo de tiempo muy corto después obtendremos el mismo valor o su entero inmediatamente superior. Nunca un valor intermedio, porque nuestro metro no nos lo permite. Sin embargo, adelantamos la hipótesis de que la distancia varió de un entero al siguiente pasando por todos los valores intermedios (¿un infinito no contable!). Para verificar nuestra hipótesis, traemos un instrumento más preciso, que permita medir distancias en milésimas de milímetro y, partiendo del mismo valor inicial, hacemos una serie de determinaciones de distancia dentro del mismo intervalo de tiempo anterior, de manera que lleguemos al siguiente milímetro al final de nuestras medidas. Habremos obtenido un nuevo conjunto de resultado $\langle d_1, d_2, \dots, d_N \rangle$ que muestran que sí había distancias intermedias (sí, pero menos de mil, que es un número despreciablemente pequeño frente al infinito no contable que habíamos supuesto). Expresando estos resultados en micrómetros, encontraremos sólo números enteros como resultados de la medida de las distancias. El argumento se repetiría en forma idéntica.

Cabe ahora volver sobre mis dos afirmaciones iniciales: en primer lugar, es posible que la definición de distancia haya cambiado al cambiar la precisión, por lo tanto, los resultados del segundo conjunto no corresponden a los del primero y no habríamos obtenido ningún valor intermedio de distancias del primer tipo. Pero, puede ser que esto no sea así, y que los elementos del segundo conjunto sí correspondan a medidas de la misma

propiedad física que los del primero. ¿Hemos demostrado que la variable es continua? Evidentemente no, puesto que sigue variando sólo como múltiplos enteros de una cantidad fundamental (el micrómetro). Lo único que hemos demostrado es que esta cantidad fundamental es algo más pequeña de lo que habíamos creído antes. Podemos repetir el argumento y traer ahora un aparato que permita medir distancias del tamaño de un Angstrom entre dos objetos macroscópicos. Obtendríamos sólo enteros como resultado de nuestras medidas, expresadas en Angstroms, pero, como ya vimos, es dudoso que se pueda medir "la distancia" entre dos objetos macroscópicos con una precisión inferior al tamaño de las moléculas que los constituyen. Si suponemos que el límite de esta precisión es el Angstrom, todas las distancias que podamos medir, expresadas en Angstroms serán sólo números enteros y, por lo tanto, la variable que las represente debe ser una variable discontinua. La idea Galileana de que, podemos medir la recta con precisión infinita es una inducción no justificada. Y falsa, pues el proceso de subdivisión en los objetos naturales está limitado por su propia constitución.

Para los científicos de la segunda mitad del Siglo XIX, que aceptaban la hipótesis de la constitución atómica de la materia, y declaraban que su ciencia estaba fundamentada en la experimentación, debería haber sido al menos plausible la idea de la discontinuidad de las distancias. O de la energía.

LA CONTINUIDAD DE LA ENERGIA Y EL MUNDO DE AYER

El concepto moderno de energía empieza a nacer cuando Leibniz propone que sea la *vis viva* la que se conserve en el movimiento. Esta «medida de la eficacia de una fuerza a través del espacio», como la llamó D'Alembert en 1743, $\int F dx = (1/2) mv^2$ es nuestra energía cinética, que nace asíligada con el espacio. Young, a principios del Siglo XIX propuso llamar Energía a esta cantidad. Hoy día decimos que esta integral es el trabajo realizado durante el movimiento, que, para el caso simple de una fuerza constante, es $F \cdot d$ donde d es la distancia recorrida bajo la acción de la fuerza. Los problemas que hemos encontrado con la distancia se transfieren así a la energía cinética y al trabajo, esto es, a lo que hoy llamamos energía mecánica.

Los constructores de máquinas de finales de Siglo XVIII y del Siglo XIX se dieron cuenta de la relación existente entre esta energía y el calor que no se había dejado reducir al papel de flogisto o calórico. La energía pasó de ser un concepto mecánico entre otros, a la primerísima posición que hoy ocupa en la ciencia, la tecnología, la política y la economía, a través de los detallados estudios acerca del calor realizados por Mayer, Thompson, Joule, Colding y otros, que llevaron en la década de 1840 al enunciado del Principio de Conservación de la Energía.

Pero el concepto de calor se forjó a través de las medidas de variación de temperatura y, por lo

tanto, la precisión con que pueda medirse el calor depende y dependía sobre todo en el Siglo XIX de la precisión con que pueda medirse un cambio de temperatura, es decir, de la precisión con que pueda medirse la longitud de una columna capilar de mercurio dentro de un tubo de vidrio. Estamos otra vez midiendo distancias y por lo tanto, debemos esperar para el calor las mismas limitaciones que habíamos encontrado para ellas.

Recapitulando un poco, he afirmado hasta este punto que las distancias no pueden medirse con precisión absoluta, que el proceso de subdivisión al infinito no pasa de ser un salto ingenuo de Galileo, una inducción inaceptable para cualquier matemático, pues, de tener una verdad mostrada para $N = 2, 3, 4, 5$, salta a afirmar que es válida para todo N entero y aun para el infinito. Esta audaz e injustificada extrapolación se sustenta sólo en su devoción por la Geometría y en su respeto a Platón. De hecho, la precisión con la que pueda medirse una distancia y el concepto mismo de distancia están limitados por la naturaleza discontinua de la materia. Una ciencia experimental no puede aceptar que la distancia sea una variable continua.

Cuando el concepto moderno de Energía nace en el Siglo XIX, lo hace directamente ligado a medidas de distancia. Me parece claro que, de no haber sido por los prejuicios culturales de la época, hubiera podido pensarse desde su nacimiento que no podía ser una variable continua, que sólo podría cambiar por saltos cuyo tamaño estaba condicionado por la naturaleza discontinua de la materia. Al menos ha debido admitirse esta hipótesis y estudiarla.

Sin embargo, cuando Max Planck en 1900 encontró la primera evidencia experimental de que la energía variaba por saltos, pensó que esto difería tanto de todo lo que él conocía, que en un principio se rehusó a aceptarlo. Cuando empezó a aceptarlo sintió que era un descubrimiento importantísimo, que tocaba los fundamentos mismos de nuestro conocimiento de la naturaleza. Pero, "los fundamentos mismos de nuestro conocimiento de la naturaleza" estaban basados en el simple prejuicio de que, si uno puede dividir una cosa cuatro o cinco veces entonces la puede subdividir hasta el infinito. Se apoyaban en la idea, contraria a la experiencia, de que las distancias en la naturaleza corresponden a rectas de un espacio euclidiano.

¿Por qué Max Planck era tan conservador? o, mejor dicho, ¿por qué estas ideas parecían tan fundamentales y tan grave tocarlas? Una primera explicación debe ser buscada en el gran triunfo de la Física Clásica desde Newton, hasta su apoteosis en el Siglo XIX. En la absorción de la acústica dentro de la mecánica y de la óptica dentro del electromagnetismo, en el auge de la termodinámica. Sin embargo, no todo era tan perfecto en la física. El cuerpo negro que preocupaba a Planck seguía sin justificar su radiación; la electrodinámica de los cuerpos en movimiento presentaba formida-

bles retos y los intentos fallidos de buscar al éter hechos por Michelson, que se consideraron como prueba de la inexistencia del éter, habrían podido ser utilizados por Simplicio como una prueba contundente de la inmovilidad de la Tierra. Los espectros no se explicaban aún y el conjunto entero de la química permanecía con demasiados principios ordenadores diferentes como para ser satisfactorio. La ciencia, en breve, no podía mostrarse tan satisfecha de sí misma como para no estar dispuesta a aceptar algunos cambios. Fundamentales. Sin embargo, la simple sospecha de que podría haber alguno aterraba a Planck. Y a muchos de sus contemporáneos.

No sólo era Planck un científico. Era también un miembro de la nación germánica en la época imperial, cuyas características nos cuenta Stefan Zweig en "El mundo de Ayer":

Si me propusiera encontrar una fórmula cómoda para la época anterior a la primera guerra mundial, a la época en que me eduqué, creería expresarme del modo más conciso diciendo que fue la edad dorada de la seguridad. En nuestra casi milenaria monarquía austriaca, *todo parecía establecido sólidamente y destinado a durar*, y el mismo estado parecía como garantía suprema de esa duración. Los derechos que concedía a sus ciudadanos eran confirmados por el Parlamento, representación, libremente elegida, del pueblo, y cada deber tenía sus límites exactos. Nuestro dinero, la corona austriaca, circulaba en forma de resplandecientes monedas de oro y aseguraba así su inmutabilidad. Cada persona sabía cuánto poseía o cuánto le correspondía, lo que le era permitido y lo que le estaba prohibido. Todo tenía su norma, su peso y su medida determinados. El que poseía una fortuna podía calcular exactamente el interés que ganaría anualmente, y el funcionario o el oficial podían señalar con certeza en el almanaque el año en que ascenderían y se retirarían. Cada familia tenía presupuesto fijo, sabía exactamente cuánto necesitaba gastar para la habitación y la comida, para el verano y la representación, y además apartaba indefectiblemente y con cuidado un pequeño margen para lo imprevisto, una enfermedad y el médico. El que era dueño de una casa la consideraba seguro refugio de sus hijos y nietos; las haciendas y los negocios se heredaban de generación en generación; mientras un recién nacido dormía en la cuna, ya se depositaba un primer óbolo en la alcancía o en la caja de ahorros para su camino en la vida, una pequeña "reserva" para el porvenir. En aquel extenso imperio todo permanecía firme e inmovible en su lugar, y en el más alto de ellos, el anciano emperador. Pero si este había de morir, se sabía (o se creía) que vendría otro y que en nada se modificaría el bien calculado orden. Nadie creía en guerras, revoluciones ni disturbios. Todo radicalismo, toda imposición de la fuerza, parecía imposible ya en un siglo predilecto de la razón.

Esta sensación de seguridad era el bien más digno de ambicionarse para millones de hombres, el ideal de la vida común. La vida sólo era considerada digna de vivirse si estaba basada en esta seguridad... Sólo el que podía contemplar el futuro sin preocupaciones disfrutaba del presente con buenos sentimientos.... En su idealismo liberal, el siglo XIX estaba sinceramente convencido de encontrarse en el camino más recto e

infalible del «mejor de los mundos»... y esta fe en el progreso ininterrumpido e irresistible tenía para aquellos tiempos, en realidad, la fuerza de una religión. (Stefan Zweig: "El Mundo de Ayer" Capítulo I. Subrayado de JLV).

Es la "Kania" que tan magistralmente ha descrito Musil en "El Hombre sin Atributos". En forma algo más cruda nos pinta el mismo cuadro el jugador de Dostoiewski desde Ruletenburgo, ciudad prototipo de los blanearios renanos, inspirada en Wiesbaden y en Baden-Baden:

Llevo poco tiempo aquí, pero lo que he podido observar y comprobar exaspera mi naturaleza tártara... en cada casa está el Vater tan virtuoso y tan honesto... Todo Vater tiene su familia y por las tardes leen juntos en voz alta libros edificantes. De fuera llega el rumor de los castaños y los olmos. El sol se pone, en el tejado hay una cigüeña y todo resulta tan poético y conmovedor... Aquí una familia así vive en la más absoluta esclavitud y obediencia al Vater... Supongamos que el Vater ha ahorrado unos florines y cuenta con el primogénito para transmitirle su oficio o las tierras. Para eso no se da dote a las hijas y estas se quedan solteras. Para eso se vende al hijo menor como criado o como soldado, y el dinero se une al capital familiar... Y esto se hace por honradez, por honradez redoblada... y luego ¿qué? Que también el primogénito pasa a lo suyo: tiene a su Gretchen, a la que se siente sentimentalmente unido, pero con la que no puede casarse porque no han ahorrado bastantes florines. También esperan, virtuosos y sinceros, y van a la inmolación con una sonrisa en los labios. Las mejillas de la Gretchen se hunden, ella se marchita. Pero pasan veinte años y los bienes se han multiplicado: ya han ahorrado bastantes florines honesta y virtuosamente. El Vater bendice al hijo cuarentón y a la Gretchen de treinta y cinco años, de pecho plano y nariz colorada... prorrumpe en lágrimas, les echa un sermón y muere. El primogénito se convierte a su vez en un Vater virtuoso, y la historia se repite. A los cincuenta o setenta años, el nieto del primer Vater ya ha acumulado un capital considerable y se lo transmite a su hijo y este al suyo. Y a la quinta o sexta generación aparece el mismísimo barón Rothschild, o Hoppe y Compañía, ¡o el diablo sabe el qué! ¡Qué espectáculo tan grandioso: el trabajo heredado de generación en generación durante cien o doscientos años de paciencia, inteligencia, honradez, carácter, firmeza, cálculo y una cigüeña en el tejado! (F.M. Dostoievski, "El Jugador". Capítulo IV).

En este mundo de sólidos fundamentos, de inmutables leyes, de seguridad, de amor al progreso. En este mundo imperial y eterno se sintió Planck tocando a los fundamentos mismos de la Física. Es natural que haya retirado, atemorizado, su mano.

PARTE II

DADA Y SALTOS CUANTICOS: EL FIN DE LA CAUSALIDAD

¿Cómo fue posible entonces que en el sólido mundo germánico naciera precisamente el más profundo cambio en nuestra concepción del mundo que se ha dado en los tiempos modernos?

Si Zweig llama a su autobiografía "El Mundo de Ayer" es precisamente porque el mundo en el cual la escribió, ya no era el mismo.

Citamos a Sánchez Ron en la introducción que hizo para la traducción del libro de Forman mencionado más adelante:

"Los últimos momentos de la Primera Guerra Mundial significaron para Alemania una acumulación progresiva de situaciones revolucionarias de las que nacería, pocos meses después, la República de Weimar. Hay que reconocer, no obstante, que en el fondo estas «situaciones revolucionarias» surgieron no tanto de presiones políticas como del cansancio y demoralización producidos por la guerra. Tras cuatro años de lucha brutal, la inminente e ineludible derrota constituyeron un shock de consecuencias fulminantes" (subrayado por JLV).

Cuando terminó la Gran Guerra el mundo había cambiado, para siempre. La "belle époque" que había marcado la apoteosis del desarrollo capitalista dio paso a la confusión y la desesperanza. A la sensación de que todo lo que había constituido la solidez de la civilización se había derribado. Thomas Mann lo cuenta en su novela Dr. Faustus:

"La recordé algo más tarde, durante la primavera de 1919".

"Yo tenía la impresión de que se terminaba una era que englobaba no solamente el Siglo XIX, sino que se remontaba al final de la Edad Media, hasta la ruptura de las trabas escolásticas, hasta la emancipación del individuo, hasta el nacimiento de la libertad; era a la cual yo consideraba en realidad como un clima espiritual; en resumen, la época del humanismo burgués. Yo tenía, digo, la impresión de que su hora había sonado ya, que se iba a realizar una mutación de la vida, que el mundo pasaba por un signo astral innominado todavía. Aquel sentimiento que me incitaba a aplicar intensamente mis facultades receptivas más elevadas, no procedía sencillamente del resultado de la guerra. Procedía de su mismo comienzo, catorce años después del nacimiento del nuevo siglo; estaba en la base del sobresalto ante el destino que en aquel momento habían experimentado los espíritus de mi clase. No era extraño que nuestra disolvente derrota llevase aquel sobresalto hasta el paroxismo; nada extraño tampoco que predominase mucho más en un país aniquilado como Alemania, más que en los pueblos victoriosos, en que el estado de ánimo, por término medio, era más conservador, justamente por su victoria. Para ellos, la guerra no representó, como para nosotros, una profunda y decisiva solución de continuidad histórica".

(Thomas Mann. "Dr. Faustus". Cap. XXXIV)

El período que había desaparecido, el del "humanismo burgués" es, en Física, el período que comienza en el Renacimiento, y se extiende desde Galileo hasta Max Planck inclusive. Con el "sobresalto que experimentan los espíritus" se abre un nuevo período: el de la primera posguerra, el de la República de Weimar. El arte que se desarrolla en Alemania es tal vez el testimonio más impresionante de este sobresalto. El cine expresionista de Fritz Lang, la redefinición del espacio en el "Gabinete

del Dr. Caligari” de Janowitz y Mayer, el camino atonal de Schönberg y de Alban Berg en la música, muestran el esfuerzo de una generación que estaba tratando de inventarse de nuevo el mundo. El punto más avanzado lo alcanzaron los dadaístas. El Dadá fue la revuelta misma. Sanouillet nos explica lo que distingue a este movimiento de todas las escuelas estéticas modernas: no contento con cuestionar ciertos conceptos o ciertas técnicas sobrepasadas, encarna la forma más aguda de un espíritu de subversión individual que invadió esa época. Los principales surrealistas franceses, Aragón, Breton, Eluard, apenas un poco menos golpeados que los del campo de los vencidos, fueron claros en sus descripciones: “No es posible considerar el surrealismo sin situarlo en su época” dijo Aragón, “A nuestros ojos el campo no estaba libre sino para una Revolución extendida verdaderamente a todos los dominios, inversísimamente radical, extremadamente represiva” (A. Breton “Qu’est ce que le surrealisme?”). Breton lo había sentido desde 1919: El propósito reconocido de Dadá era “matar al arte”.

En los años veinte la crisis de la Física toca fondo. Los esfuerzos para explicar el comportamiento del átomo a partir del modelo planetario de Niels Bohr entran en un callejón sin salida. El trabajo de los teóricos entre 1919 y 1925 ha sido descrito como “adivinación sistemática” (Van der Waerden, “Sources of Quantum Mechanics” Dover, 1967. p. 8). La luz se volvía partícula, las partículas se volvían ondas, el espacio se llenaba de “osciladores virtuales” y de entre esta confusión fue surgiendo, alumbrada por una generación de jóvenes germánicos, la idea de que lo que habíamos tomado como realidad hasta ese momento no era sino una imagen aproximada y falsa. Que nuestras sensaciones se habían equivocado. Que el sólido mundo que nos habían revelado nuestros sentidos era apenas una ilusión. Que las cosas eran y no eran al mismo tiempo. Que nuestras ideas más firmes, el espacio, el tiempo, el camino que recorren los cuerpos eran pura apariencia. La revolución filosófica, el cambio más total sobre nuestra concepción de la realidad lo dieron los jóvenes que tuvieron que asumir el destino descrito por Thomas Mann.

Parte fundamental del clima espiritual que había desaparecido con la Gran Guerra era la imagen Newtoniana del mundo. Y, sobre todo, la imagen que de la imagen Newtoniana del mundo tenía el gran público: imagen de la cual la causalidad, con su rígido determinismo constituía el rasgo más sobresaliente y más universalmente detestado. En el “Manifiesto del Surrealismo”, los impulsores de este movimiento, hijo directo del Dadá, lo escribieron así:

“¿Por qué la novela se ha tornado en forma casi universal de la literatura? Porque responde al apetito de lógica de quienes la leen y en ella encuentran aún y sobre todo cuando en ella se comprometen pobres pasiones, el placer de *adicionar y de restar fuerzas* como en mecánica, y porque no hay, por otro lado, en quien la fábrica más que la puesta en marcha de

facultades lógicas. Se requiere un cuarto situado y minuciosamente descrito (¡Oh Balzac!), de personajes con su nombre y su edad, cuidadosamente rotulados, y de quienes se puede estar seguro que ningún milagro brotará jamás de sus contactos! (André Breton “Manifieste du Surréalisme”, subrayado por JLV).

Parece decir Breton que si se tiene un sistema de coordenadas bien situado (un espacio de fase) y se dan todos los valores iniciales de las posiciones y los momenta, se puede prever todo el desarrollo futuro del sistema sin temer que de las colisiones entre las partículas surja ningún milagro. Este es exactamente el determinismo de la mecánica aplicado a la novela, ese producto absolutamente característico del mundo cuya desaparición lamenta Mann: la solidez del mundo burgués incluía la solidez del materialismo mecanicista y determinista burgués. Contra las dos se luchó al mismo tiempo; las dos se disolvieron al mismo tiempo y la muerte del arte coincidió con la muerte de la física clásica.

El paso importante en Física no consistió en escribir unas ecuaciones. En realidad, las ecuaciones estaban escritas desde antes. La coincidencia formal entre el Principio de Fermat que explica la trayectoria aparente del rayo de luz por el movimiento de una onda y el principio de Hamilton que trata de la misma manera a la trayectoria de una partícula, era conocida y olvidada o considerada sólo como una curiosidad. El paso consistió en romper con las ideas antiguas y atreverse a pensar al mundo de nuevo: para enfrentar al mundo paradójico y extraño que salió de las ecuaciones de la mecánica cuántica fue necesario que se derrumbara el mundo clásico. Fue en este escenario dejado por la Gran Guerra, fue entre aquellos para quienes representó una profunda y decisiva solución de continuidad histórica que se produjo la solución de continuidad teórica.

Tal vez Forman (Weimar Culture, Causality and Quantum Theory, 1918-1927: Adaptation by German Physicists and Mathematicians to a Hostile Intellectual environment. Citamos de la traducción española, Alianza 1984) ha sido quien más sesudo trabajo ha dedicado al ambiente cultural en el cual se desarrolló la teoría cuántica. Su conclusión es que “el movimiento para prescindir de la causalidad en la Física que tan súbitamente surgió y tan exuberantemente floreció en Alemania después de 1918, fue primordialmente un esfuerzo de los físicos alemanes para adaptar el contenido de su ciencia a los valores de su medio ambiente intelectual... La prontitud, la ansiedad de los físicos por reconstruir los fundamentos de su ciencia se deben entender, por tanto, como una reacción a su negativo prestigio” (P. 42).

¿Por qué ese negativo prestigio? ¿Por qué la física en Alemania aparece después de 1918 como una ciencia desprestigiada que obliga a los físicos a tratar de adaptarse al nuevo pensamiento, según afirma Forman, forzándose a dejar de lado la causalidad? En buena parte se debió a que la Física, la Química, las Matemáticas, como ciencias exactas se

habían comprometido de manera absoluta con el desarrollo alemán a finales del Siglo XIX y, durante la Gran Guerra, habían insistido mucho en su enorme importancia práctica tanto para el desarrollo tecnológico como para el triunfo en la guerra. Cuando aquel “final victorioso que parecía inminente en el verano de 1918, se convirtió repentinamente en el otoño en completa derrota, los científicos <exactos> se encontraron ante una escala de valores públicos dramáticamente transformada y por consiguiente, con una valoración de sus disciplinas drásticamente alteradas” (Forman, op. cit., p. 45) “Un régimen incapaz de disciplinar sus fuerzas para otra cosa que la destrucción del hombre fracasó. Fracasaron también las élites que aplaudieron en todos los países la masacre generalizada y se ingeniaron para encontrar medidas capaces de hacerla durar. *Fracasó la ciencia, cuyos más bellos descubrimientos residían en la calidad nueva de un explosivo o en el perfeccionamiento de una máquina de matar....* Fracaso universal de una civilización que se vuelve contra ella misma y se devora” (M. Nadeau, “Historia del Surrealismo” Cap. 1. subrayado por JLV).

De acuerdo con Lukacs, donde más claramente se revela cuán grande fue la transformación de valores y qué consistieron sus consecuencias metodológicas e intrínsecas más importantes, fue en la famosa obra de Oswald Spengler “*La Decadencia de Occidente*” (*Der Untergang des Abendlandes, Umriss einer Morphologie der Weltgeschichte. Publicada en 1918, conoció 2 ediciones y 60 reimpresiones antes de 1926*). La inmensa popularidad del libro se debió a que fue “un documento en verdad representativo de esa etapa” (G. Lukacs; “El Asalto de la Razón. La trayectoria del irracionalismo desde Schelling hasta Hitler. Traducción española. Grijalbo, 1986. Cap. IV. Secc. IV). Documento representativo sobre todo de la *Lebensphilosophie*, o Filosofía de la Vida, que caracterizó tan claramente a la República de Weimar, “rompe el fuego abiertamente contra el espíritu científico en general, contra la competencia de la razón para abordar y resolver adecuadamente los problemas de la humanidad. Y esta tendencia a desprenderse resueltamente de las ataduras de la cientificidad trae consigo, inevitablemente, un elemento de diletantismo en el modo de pensar...”. El libro de Spengler fue leído prácticamente por todo el mundo en círculos universitarios, incluidos los físicos (Forman, op. cit. p. 67) que sintieron claramente el rechazo que hacía de todo lo que sea causalidad y ley, afirmando que “el medio para comprender las formas muertas es la ley matemática. El medio para comprender las formas vivas, la analogía” (Spengler, op. cit., citado por Lukacs, op. Cit. p. 376).

Para Spengler, la Física y las Matemáticas son una expresión de la cultura occidental; de la < cultura fáustica >, como la llama. Y, la característica esencial de la ciencia fáustica es, en común acuerdo con el punto de vista de su época, “el Kausalitäts-

prinzip, la forma lógica del mundo fáustico” (Spengler, op. cit., p. 551, citado por Forman, p. 69). “Vemos, por consiguiente, que el principio de causalidad en la forma en que es *autoevidentemente necesario para nosotros*, la base de verdad concertada para nuestras matemáticas, física y filosofía— es un fenómeno occidental y, hablando más estrictamente, barroco” (Spengler, p. 549, citado por Forman, p. 69. Subrayado por JLV).

Sobresale en este sentido el discurso de recepción en la Universidad de Zurich pronunciado por Erwin Schrödinger el 9 de diciembre de 1922 (Publicado en español por el Fondo de Cultura Económica: E. Schrödinger “¿Qué es una Ley de la Naturaleza?”, México (1975)).

“Fue Franz Exner, un físico experimental, quien por primera vez, en 1919, con perfecta claridad filosófica, lanzó una crítica contra la manera como todo el mundo aceptaba, como *algo dado por sentado*, el determinismo absoluto de los procesos moleculares. Llegó a la conclusión de que aquello era ciertamente *posible*, pero de ninguna manera *necesario* y, examinado más de cerca, *ni siquiera muy probable...*” (Subrayados de E.S., op. cit., p. 22).

“¿De dónde ha salido la difundida creencia en que la conducta de las moléculas está determinada por una causalidad absoluta, y la convicción de que lo contrario es *inimaginable*? Simplemente, del hábito heredado durante miles de años, de pensar *casualmente*, que hace parecer totalmente disparatada, *lógicamente* absurda, la idea de un sucedido indeterminado, de una absoluta causalidad *primaria...*” (Ibid, 23.).

“Lo que Exner afirmó equivale a esto: es perfectamente posible que las leyes de la naturaleza sean en conjunto de un carácter estadístico. La ley absoluta residente detrás de la ley estadística, y tenida por evidente en la actualidad por casi todo el mundo, *va más allá del ámbito de la experiencia... El peso de la demostración les toca a quienes defienden la causalidad absoluta, no a quienes dudan de ella*. Una actitud de duda a este respecto es, hoy por hoy, la *más natural*.” (Ibid, p. 26).

No todos se habían puesto ya de acuerdo. Einstein decía en Agosto del mismo año:

“La meta de la física teórica es crear un sistema conceptual lógico que repose sobre el número más pequeño posible de hipótesis mutuamente independientes, que le permita a uno abarcar de forma causal todo el *el complejo de procesos físicos*” (Citado por Forman, p. 103).

y Planck, en Febrero de 1923 veía que:

“Desde hace tiempo no se había disputado tan violentamente sobre el significado de las leyes causales de la Naturaleza como en nuestros días... Casi parece que la humanidad pensante está dividida en dos bloques en lo que se refiere a esta pregunta”. (Citado por Forman, op. cit. Nota 150).

Schrödinger, por su parte, había tomado partido claramente. Por ello, concluyó su Discurso en la Universidad de Zurich con la siguiente frase:

“Yo prefiero creer que, una vez libres de nuestra enraizada predilección por la causalidad absoluta, lograremos superar estas dificultades, y no que, a la inversa, la teoría atómica —casi casualmente, diríamos— venga a comprobar el dogma de la causalidad” (Schrödinger, op. cit., p. 26).

No fue casualmente que, menos de cuatro años después, en la primavera de 1926, Schrödinger publicara el primero de sus artículos sobre la mecánica ondulatoria, abriendo el paso a la nueva teoría atómica y al fin del imperio del determinismo en Física.

PARTE III

“UND DAS GESETZ NUR KANN UNS FREIHEIT GEBEN”

Al llegar al final de los “Treinta años que conmovieron la Física”, como llamó Gamow a su historia de la Teoría Cuántica, en clara reminiscencia del libro de Reed sobre la revolución bolchevique, los jóvenes para quienes el mundo había cambiado tan fundamentalmente, empezaron a encontrar salidas a su crisis, y las salidas más sólidas fueron halladas siguiendo un precepto que había sido formulado por dos revolucionarios románticos un siglo antes. Goethe, en un inmortal soneto, había escrito:

Natur und Kunst, sie scheinen sich zu fliehen,
Und haben sich, eh man es denkt, gefunden;
der Widerwille ist auch mir verschwunden,
Und beide scheinen gleich mich anzuziehen.

Es gilt wohl nur ein redliches Bemühen!
Und wenn wir erst in abgemessnen Stunden
Mit Geist und Fleiss uns an die Kunst gebunden,
Mag frei Natur im Herzen wieder glühen.

So ists mit aller Bildung auch beschaffen:
Vergebens werden ungebundne Geister
Nach der Vollendung reiner Höhe streben.

Wer Grosses will muss sich zusammenraffen;
In der Beschränkung zeigt sich erst der Meister,
Und das Gesetz nur kann uns Freiheit geben.

(J.W. Von Goethe. “Natur und Kunst”)

Quiero llamar la atención sobre el último verso: “Sólo la Ley puede darnos la Libertad”. Casi al mismo tiempo decía Francisco de Paula Santander en la Nueva Granada: “¡ Si las armas os han dado independencia, sólo las leyes os darán la libertad!” Palabras inspiradoras que volvieron a usar los revolucionarios que debieron encontrar nuevos caminos de libertad en la tercera década de este siglo.

Los surrealistas encontraron su Ley liberadora para cambiar la Poesía:

“Haceos traer recado de escribir, después de haberos instalado en un lugar tan favorable como sea posible para la concentración de vuestro espíritu sobre él mismo. Colocaos en el estado más pasivo, o receptivo que podáis. Haced abstracción de vuestro genio, de vuestros talentos y de los de todos los demás. Decíos bien que la literatura es el camino más triste que lleva a todas partes. Escribir rápido, sin tema preconcebido, suficientemente rápido para no recordar y no ser

(tentados de releeros. La primera frase vendrá sola... Es bien difícil pronunciarse sobre el caso de la frase siguiente... Poco debe importaros, por otra parte. Continúa tanto como os plazca. Fijaos al carácter inagotable del murmullo. Si el silencio amenaza establecerse por haber estado a punto de cometer una falta... colocad a continuación de la palabra cuyo origen os parezca sospechoso una letra cualquiera, por ejemplo la letra l, siempre la letra l y recuperad lo arbitrario imponiendo siempre esta inicial a la palabra siguiente...” (A. Breton: “Manifeste du Surréalisme”)

“El Surrealismo es la inspiración reconocida, aceptada y practicada. No ya como una visitación inexplicable sino como una facultad que se ejerce” (L. Aragon: “Traité du style”)

La regla estricta que da la libertad llegó también a la música con el trabajo de Arnold Schönberg:

“La música atonal llegó a una situación caótica al haber prescindido de la función ordenadora que anteriormente había ejercido la tonalidad. Era necesario entonces encontrar un nuevo principio ordenador y es esto lo que logró Arnold Schönberg, después de muchos años de reflexión sobre la práctica de la composición musical. El resultado fue un instrumento de trabajo. Técnicamente, el método dodecafónico consistía en utilizar los doce grados de la escala cromática sin ninguna relación jerárquica entre ellos, o sea sin ningún ordenamiento a priori, sistematizado. Se prescindía de las relaciones del sistema tonal. Los doce grados eran presentados en forma de una serie de doce sonidos —dodecafónica— que constituía un esquema formal básico que actuaba como principio organizador del tema, o sea que esta sería la base temática y no la escala diatónica, como tenemos en los principios de las tradiciones musicales. Las doce notas de la escala cromática aparecían en la serie melódicamente y en un determinado orden que permanecía inalterable a lo largo de la obra. Para evitar que uno de los grados tuviera primacía sobre los demás, ninguno podía ser repetido hasta que la serie se hubiera presentado en su totalidad. ... Las nuevas técnicas, fueron aplicadas por Schönberg con gran rigidez, ya que había de demostrar que el método podía servir de nuevo principio ordenador.” (B.E. Atehortúa “Curso de Historia de la Música en el Siglo XX”. Programas radiofónicos).

Y, Werner Heisenberg, se armó también de una ley estricta para encontrar, en 1925, el camino hacia la Mecánica Matricial:

Sin aceptar otra base que las cantidades experimentales y la idea de Bohr, Slater y Kramers de que el átomo podía representarse por un conjunto de “osciladores virtuales” que se actualizan en cada transición (y que recuerdan curiosamente a los Puntos Potenciales de Aristóteles, que se actualizan cuando cortamos la línea), Heisenberg siguió una regla muy precisa:

“Un primer paso muy interesante hacia una comprensión real de la Teoría Cuántica fue el dado por Bohr, Kramers y Slater en 1924. Estos autores trataron de resolver la contradicción aparente entre la imagen ondulatoria y la imagen corpuscular mediante el concepto de onda de probabilidad. Las ondas electromagnéticas no como ondas reales sino como ondas de

probabilidad cuya intensidad determina en cada punto la probabilidad de absorción o de emisión inducida de un cuanto luminoso por un átomo... La onda de probabilidad de Bohr, Kramers y Slater significaba algo más: significaba una tendencia a algo. Era una versión cuántica del antiguo concepto de potencia de la filosofía de Aristóteles. Introducía una cosa que se situaba en un punto medio entre la idea de un fenómeno y el fenómeno mismo, una extraña suerte de realidad física, a distancia igual entre la posibilidad y la realidad" (W. Heisenberg, "Physics and Philosophy" (1958)).

"Había que abandonar el concepto de órbita electrónica... La idea de que debían escribirse las leyes mecánicas no en función de las posiciones y las velocidades de los electrones, sino en función de las frecuencias y las amplitudes de su desarrollo en serie de Fourier se sugería por sí misma. Partiendo de las ecuaciones así obtenidas y no modificándolas sino muy poco, se podía esperar llegar a relaciones entre estas cantidades que dieran las frecuencias y las intensidades de la radiación aún para las órbitas pequeñas y para el estado fundamental del átomo". (W. Heisenberg, op. cit.).

La idea de Heisenberg fue que si se trata el átomo como un conjunto infinito de "osciladores virtuales" con frecuencias correspondientes a todas las que el átomo en cuestión puede emitir, podemos describir su espectro óptico por una tabla de frecuencias o matriz, pero

"puesto que las frecuencias de las líneas espectrales emitidas por un átomo representan una matriz infinita, las cantidades mecánicas, tales como las velocidades, los momentos, etc., deberían también escribirse en forma de matrices donde los elementos matriciales P_{mn} y q_{mn} oscilen con las frecuencias dadas por la matriz de frecuencias" (Adaptación hecha por JLV de un texto de G. Gamow "Thirty years that shook Physics". Dover, 1966 p. 103).

Añadiendo la condición de cuantización a las ecuaciones clásicas de la mecánica escritas en forma

matricial, Heisenberg logró obtener un sistema de ecuaciones que dieron los valores correctos para las frecuencias y las intensidades relativas de las líneas espectrales. Se había encontrado el nuevo camino. El uso de la Ley estricta para construir matrices abandonando incluso leyes tan viejas como la de que el orden de los factores no altera el producto, abandonando la vieja idea del camino de un electrón, limitándose a usar las frecuencias que nos da la experiencia, se había empezado a superar la crisis. El mundo empezaba a pensarse de nuevo.

He tratado de mostrar que esto no fue un acontecimiento aislado. Que formó parte de todo el movimiento cultural alemán de la primera posguerra. Que no fue casual que se diera en la República de Weimar. Que el gran salto que significó en nuestra concepción del mundo el descubrimiento de la teoría Cuántica formó parte de todos los sobresaltos que estremecieron a Europa durante las primeras tres décadas de nuestro siglo y que sólo podemos entenderlo y apreciarlo en todo su valor, cuando lo vemos en esa perspectiva.

CONCLUSION:

CIENCIA Y CULTURA

Durante un seminario que organizó la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia en junio de 1987, usé la expresión desafortunada "La Ciencia y la Cultura". Los académicos Eduardo Brieva y Jaime Rodríguez, que estaban presentes, me hicieron notar que era una forma incorrecta de expresarse, pues hacía creer que la Ciencia fuera algo distinto de la Cultura, cuando en realidad forma parte de ella. He tratado, con un largo argumento, de contestarles diciendo:

"Sí, Sres. Uds. tienen razón, la Ciencia es parte integral de la Cultura y no podemos separarla de ella, sin correr el riesgo de dejar de entenderla".