Marcelo Cini

CONTEXTO DE DESCUBRIMIENTO Y CONTEXTO DE DEMOSTRACION: LAS PROPUESTAS DE NEUMANN Y DE WIENER EN EL DESARROLLO DE LA FISICA DEL SIGLO XX

Summary: *A distinction is made between two types of Science: nomological (objective and rigorous) and evolutionary (less rigorous). This distinction turns out to be less than clear when the role and acceptance in the scientific community of Wiener and von Neumann are analyzed. This is explained by the power of acceptance and rejection that the particular scientific communities show toward innovative proposals by individual scientists which is applied through implicit criteria shared by the majority of the members of each scientific community.*

Resumen: *El autor distingue entre ciencia de leyes (objetiva, rigurosa) y ciencia evolutiva (menos estricta). Esta distinción se torna poco clara al analizar la diferente aceptación que tuvieron los trabajos complementarios que Wiener y von Neumann. Esto se explica por el poder de aceptación o rechazo que pueden ejercer las comunidades científicas respecto a las propuestas innovadoras y que se ejercita mediante criterios tácitos compartidos por la mayoría de la comunidad científica respectiva.*

I. Ciencias de las leyes y ciencias de los procesos:

Es costumbre distinguir las ciencias naturales de ciencias normativas, por una parte, caracterizadas por la investigación y enunciado de leyes de la naturaleza, necesarias y universales y por lo tanto capaces de previsiones rigurosas, y ciencias evolutivas, por la otra, consideradas incapaces de llegar a la esfera de la universalidad por dedicarse a la investigación de procesos irrepetibles y en grado de dar, a lo más, una reconstrucción hipotética

de sucesión de eventos en el interior de un contexto que no puede modificarse. A esta distinción corresponde una sustancial diferencia de status epistemológico. Las primeras (ciencias de las leyes o del por qué) basadas sobre la repetibilidad del experimento, sobre la modificabilidad de las condiciones externas iniciales, sobre la posibilidad de eliminar factores considerados secundarios, son, en general, consideradas ciencias de pleno derecho ya que son verificables o falsables (según los puntos de vista) al confrontarlas con la naturaleza. Las segundas (ciencias del proceso o del cómo) a menudo son consideradas por los epistemólogos como ciencias de segunda clase, deudoras, en relación con las primeras de aquellas leyes generales que serían capaces de dar las únicas explicaciones convincentes de la concatenación de eventos que ellas se limitan a describir como plausibles.

Solamente la complejidad del contexto, la multiplicidad de los factores que allí intervienen, lo incompleto de la documentación relacionada con los hechos sucedidos justificaría, según la conciencia dominante, el recurso a estos remedos de ciencia, los cuales no poseen un status epistemológico autónomo.

Si quisiéramos resumir, con base en esta dicotomía, las características que definen a las primeras y las diferencian de las segundas, podríamos hacer un elenco cualitativo de este tipo:

ciencias normativas	ciencias evolutivas
generalidad	calidad
necesidad	especificidad
abstracción	contingencia
reversibilidad	irreversibilidad
repetibilidad	irrepetibilidad
simplicidad	complejidad

reduccionismo	holismo
inmutabilidad	mutabilidad
tautología	novedad
determinismo	casualidad
logicidad	caos
orden	desorden

El elenco no es ni completo ni sistemático, pero difícilmente podría serlo. Ante todo, algunas de estas características se refieren a la (supuesta) naturaleza de los fenómenos que son el objeto de las respectivas disciplinas (ej. reversibilidad—irreversibilidad) o de su estructura (simple—compleja), además de los criterios interpretativos (reduccionismo—holismo) o de la naturaleza de las relaciones encontradas (inmutabilidad—mutabilidad). Por último, las alternativas determinismo—casualidad, lógica—caos, orden—desorden, que constituían un criterio distintivo para separar la ciencia normativa por excelencia, la mecánica newtoniana de las otras, se convirtieron en diferentes medidas, desde fines del siglo XIX en adelante, más bien en aspectos controversiales que se encontraban en muchas disciplinas, aunque con diferentes matices.

Inmediatamente surgen algunas preguntas: ¿Qué es lo que fija los criterios de definición de las diferentes disciplinas colocándolas de un lado o del otro? ¿Hasta qué punto éstas provienen de la naturaleza del objeto, es decir de la colección de fenómenos y hechos que forman el conjunto (aproximadamente cerrado) que se requiere interpretar o explicar? Y, ¿cuándo dependen de la escogencia de los científicos que seleccionan los datos y la experiencia a fin de construir su ciencia, colocándola de un lado o del otro? Se considera, sin embargo, que es el objeto de la investigación el que determina el carácter de ciencia del por qué o ciencia del cómo de la disciplina que lo estudia, mientras que el científico se limita a tomar nota de aquello que está frente a él. Sin embargo, realmente, esta diferenciación es mucho menos subjetiva de lo que pueda pensarse. El caso de los recientes desarrollos de la biología lo demuestra en forma elocuente.

Hasta mediados de los años 70 esta "ciencia de las personalidades esquizofrénicas" (como la define M. Ageno en un trabajo reciente) se presenta bajo dos semblantes muy diferentes. Por una parte la biología funcional, de carácter esencialmente reduccionista, se dedica al estudio analítico de cada organismo, determinando la estructura y los procesos internos hasta en sus mínimos detalles. En esa

forma tiende a llevar la explicación de todos los fenómenos biológicos a eventos que se verifican en este último nivel y, en definitiva reduce la biología a la química y la física de la molécula. Por otra parte la biología evolutiva considera los organismos vivos como entidades indivisibles, cuyas características peculiares emergen solamente en el nivel de la totalidad y no son deducibles más que parcialmente del análisis de las subunidades constituyentes (1).

A estas dos caras corresponden dos concepciones ideológicas opuestas que caracterizan las respectivas comunidades científicas. Los biólogos moleculares, en efecto, han logrado llevar su reduccionismo hasta afirmar que cuando "se conozcan en todos sus detalles todos los pasos químicos que se producen en la célula durante el ciclo celular no habrá nada más que saber sobre la célula misma y el mecanismo de su vida estará completamente descifrado" (2).

Por otra parte los cultores de la biología evolutiva rechazan esta posición, que pretende reconducir la explicación total de los fenómenos vitales al conocimiento de la estructura y a las interacciones de los átomos y moléculas que constituyen el organismo, atrincherándose en una ideología integralista de tipo holístico que se puede resumir en el eslogan, más bien genérico y vacío "lo entero es más que la suma de sus partes". Dos biologías, pues: la primera se coloca en el grupo de las ciencias de las leyes o de los por qué, la segunda en el grupo de las ciencias de los procesos o del cómo. Sin embargo, la revolución de los últimos años provocada por el descubrimiento de propiedades inesperadas del ADN eucariótico, cambia este cuadro en forma radical.

A este respecto escribe Ageno: "Se imaginaba (el ADN) como una especie de archivo del patrimonio hereditario del organismo, celosamente protegido de todos aquellos agentes externos que pudieran causar alteraciones... Se creía que la mutabilidad era mantenida por el control genético justo en el nivel necesario para el adecuamiento a las condiciones ambientales más o menos rápidamente variables. Este dibujo tan claro y neto parece ahora completamente cambiado. Lejos de ser algo invariante, que esencialmente se conserva en el cuadro de la dinámica del organismo, el ADN aparece involucrado en una dinámica propia e incesante, dominada en gran parte por eventos casuales y tal que aquella sustancial conservación del fenotipo

se vuelve problemática, conservación que es lo que, dentro de ciertos límites, se observa empíricamente... Frente a la enorme variedad de soluciones organizativas, reguladoras y de adaptación que resultan (de esta dinámica) el biólogo molecular se ve ahora, poco a poco, obligado a cambiar el tipo de preguntas que, en el cuadro de su investigación sobre la funcionalidad del organismo solía hacer. El se orientaba hacia una minuciosa descripción de los procesos observados en el nivel molecular, dejando sobrentendido que su causa tenía, obviamente, que buscarse siempre en la estructura de las moléculas involucradas y en sus interacciones. Pero ahora, frente a la multiplicidad de las soluciones que son *a priori* equivalentes, la investigación de las causas, las preguntas de los por qué, se revelan en forma sorprendente como no decisivas, irrelevantes y el biólogo molecular se ve llevado, cada vez más a preguntarse *cómo* cada una de las soluciones se afirma, a través de qué cadena de eventos y en cuáles condiciones ambientales generales.

En esta forma, ciencia natural y biología funcional están, de hecho, encontrándose con una raíz común en la teoría de la evolución biológica. No existen, para los fenómenos biológicos más explicaciones posibles que las evolutivas”.

Estos sucesos de la biología indican, pues, que la demarcación tradicional, por lo menos en este caso, pareciera haber sido construida más por las escogencias de los científicos que por las propiedades de los objetos estudiados. Estas muestran, en efecto, que la comunidad de los biólogos moleculares, con objeto de matener, para su propia disciplina, el carácter de ciencia normativa que la caracterizaba programáticamente desde sus orígenes, ha eliminado del campo disciplinario, mientras fue posible, todos aquellos fenómenos que, no pudiendo ser colocados dentro, habían comprometido esta imagen. En forma correspondiente la biología evolutiva, al aceptar esta división de esferas de competencia, continuó consolidando, hasta que esta división entró en crisis, su naturaleza original de ciencia de los procesos irreversibles e irrepitibles.

Surge en este punto la duda de que si este modo de proceder, que consiste en el seleccionar los objetivos de la investigación y sus categorías interpretativas correspondientes en forma tal que se asegure la coherencia entre el desarrollo de la disciplina y el status epistemológico atribuido a la misma, por definición no sea típico sólo de la

biología sino que pueda ser considerado como praxis común adoptada por las diversas comunidades científicas para definir su propia identidad. Que lo anterior suceda en las ciencias humanas no es, probablemente, sorpresivo (3). Pero que se dé en el interior de la física, considerada desde su origen como la ciencia de las leyes por excelencia, puede parecer una afirmación difícil de sostener.

Me propongo demostrar que las cosas sucedieron en esa forma, por lo menos en un período histórico reciente.

Veremos en efecto que la historia de la física del siglo XX adquiere una nueva dimensión interpretativa si se la ve como resultado de un empeño coherente, por parte de la comunidad científica, de mantener para esta disciplina los caracteres propios de ciencia “de las leyes”, empujando fuera de ella, en cuanto fuera posible, todos los fenómenos y sus interpretaciones que habrían podido introducir en ella algunas de las características de las ciencias “de los procesos”.

Es desde este punto de vista como se comprende, por ejemplo, que los desarrollos sensoriales que se han producido en los últimos tiempos en el campo de la dinámica de los sistemas complejos (4) hayan tardado cincuenta años en producirse, respecto a la aparición de los trabajos pioneros de Poincaré (que sustancialmente ponen las bases) y no obstante que estos últimos estuvieran disponibles desde finales del siglo pasado.

Y resulta también comprensible que estos desarrollos se hayan realizado en sectores disciplinarios ya autónomos respecto al campo que los físicos definen como física.

La victoria de la mecánica cuántica a fines de los años 20 representa, según esa óptica, el éxito de esta operación de afirmación de la física como ciencia de las leyes (aunque a costa de la renuncia al determinismo en sentido estrecho) empujando hacia el borde, o poniendo afuera de sus fronteras, todo lo que tiene que ver con la imprevisibilidad, la irreversibilidad, la aleatoriedad que son características de fenómenos como la turbulencia, la inestabilidad dinámica, los procesos estocásticos, la dinámica no lineal, la termodinámica de los procesos irreversibles, etc.

Este punto de vista explica también el por qué la física mantuvo y protegió su imagen de ciencia de lo simple, excluyendo en lo posible la complejidad como categoría característica de la realidad escogida como objeto de sus propias investigaciones.

De allí el dominio absoluto de la ideología reduccionista, con prioridades dadas a la investigación de los constituyentes "elementales" de las partículas, que aún hoy constituye la esencia de la física de más prestigio.

Esta operación gira alrededor de una figura clave, la de von Neumann que es el gran ganador. Es él el que transforma la retirada que la física tuvo que hacer con la renuncia al determinismo clásico, en una reafirmación de su supremacía, logrando reconducir el azar a las leyes de la lógica.

A esa figura se contrapone, como aparece claramente en la reconstrucción que Steve Heins (5) hace de ambos personajes en un conocido libro, la de Norbert Wiener.

Pero no en el entendido que éste último haya presentado en forma sistemática un programa alternativo en directa competencia con el del primero, sobre su mismo tercero. La figura de Wiener se contrapone a la de von Neumann porque propone una estrategia que debería desarrollarse en un terreno diferente, y que consiste en síntesis en alargar las fronteras de la física a todos los fenómenos aleatorios que, lejos de limitarse al ámbito cuántico, representarían la regla también para otros campos de esta disciplina y en cuyo interior el determinismo reversible de la mecánica newtoniana sería la excepción.

Esta reconstrucción que enfoca la lucha entre dos posibles estrategias por escoger me parece mucho más satisfactoria que la tradicional que ve el choque (Congreso Solway 27) entre los partidarios de una visión clásica determinista de la física (Schrödinger, Einstein: dios no juega a los dados) y los forjadores de una concepción basada en el indeterminismo (6). Este choque, ciertamente tuvo lugar en las fases precedentes a la victoria de la mecánica cuántica. Pero lo fulminante de esta victoria nos muestra que lo que allí sucedió fue más una batalla de retroguardia que un debate real entre perspectivas del desarrollo alternativo, potencialmente fecundas. Así mismo la reconstrucción de Paul Forman (7), aunque cuidadosa y aguda en cuanto al clima cultural e ideológico de la Alemania de Weimar en la cual se afirmó la mecánica cuántica, nos aparece como de poco peso si se la asume como principal explicación de la rápida conversión hacia la nueva teoría por parte de la comunidad de físicos alemanes, desde el momento en que la hipotética fidelidad a una concepción determinista no habría podido traducirse en una alternativa científicamente válida. Se vuelve,

sin embargo, muy convincente si se la mira como telón de fondo de un compromiso que salva el carácter fundamental de científicidad de la disciplina (su ser fuente indiscutida de legalidad lógica y empírica), más que como justificación de un rendirse oportunista a la irracionalidad imperante. En esta forma, entre paréntesis, se resuelve la aparente contradicción que Forman no explica en forma convincente, entre la proclamada adhesión a las tesis del Círculo de Viena por parte de muchos de los fundadores de la nueva física, y la tendencia, ciertamente presente, del adaptarse de la comunidad a una presión ejercida por el ambiente ideológico cultural dominante. Y se explica a la vez cómo Dirac, el cual, contrariamente a Heisenberg, ve la mecánica cuántica más como un desarrollo lógico que como una ruptura con la mecánica clásica (8), haya encontrado inmediatamente un lugar entre los padres de la nueva teoría, junto a los físicos alemanes.

Veremos con más detalle la reconstrucción de este choque.

II. La lógica del azar

Tuve ya la ocasión de referirme (9) al papel de von Neumann al codificar bajo forma de verdaderas prohibiciones, formuladas en lenguaje científico, los dos puntales ideológicos de la escuela de Göttingen-Copenhagen:

- a) el carácter último y definitivo de la mecánica cuántica
- b) la imposibilidad de una descripción objetiva de la realidad causada por el papel ineliminable del observador.

Ambas afirmaciones de carácter meta-teórico son transformadas por von Neumann en proposiciones pertenecientes a la propia teoría. Este punto merece subrayarse pues es justamente aquí donde está la prueba de que la axiomatización de la mecánica cuántica es una operación de definición de los límites de la disciplina, cuya integridad la comunidad debe garantizar. Es ciertamente significativo que esta axiomatización la cumpla von Neumann en los mismos años en los cuales él mismo, por inspiración de Hilbert, se afanaba en demostrar la consistencia interna y la completitud de la matemática, convencido de que el objetivo era alcanzable. Es conocido que no fue sino hasta 1931 cuando Gödel demostró que no lo era.

Conviene abrir un breve paréntesis. Gödel llegó a demostrar la imposibilidad de este objetivo haciendo ver que la traducción de una proposición matemática ("este teorema no es demostrable") en la forma de una proposición matemática (es decir de un teorema del sistema formal considerado) lleva a una paradoja (análogo a la paradoja de Epiménides, el cretense que afirmaba "todos los cretenses mienten") que puede ser resuelto solamente admitiendo que la aritmética (y a mayor razón las teorías de la matemática más complejas) si no es contradictoria es incompleta. Queda claro entonces que los dos teoremas de von Neumann, en cuanto que son proposiciones de la teoría, si no conducen directamente a conclusiones paradójicas, como en el caso de la prueba de Gödel, violan aquella jerarquía de tipos lógicos introducida por Russell, que, como tendré ocasión de decir en las conclusiones, es uno de los puntos sólidos de una epistemología que no quiera incurrir en infortunios imprevisibles. Que no se trata de exceso de sofisticación lo demuestra el hecho de que muchos años después ambos teoremas demostraron ser inadecuados para alcanzar el objetivo propuesto, por no decir para el desarrollo de líneas de investigación que se revelaron fructuosas. En efecto, el primero, el que afirma la imposibilidad de la existencia de teorías con variables ocultas equivalente a la mecánica cuántica fue contradicho por la formulación de modelos bien definidos que lo violan (10). El segundo —el que afirma la imposibilidad de explicar el proceso de medida de las propiedades de un sistema cuántico sin atribuir, en último análisis el poder de determinar el resultado final al observador— lo contradice la reciente formulación, por parte de nuestro grupo de investigación sobre los fundamentos de la mecánica cuántica, de una teoría de la medida que toma en cuenta en forma exclusiva la interacción física entre micro sistema cuántico e instrumento de medida (11).

Cerrado este breve paréntesis, podemos en este punto preguntarnos si no es posible relacionar los objetivos del programa de von Neumann y sus resultados con algunas características de su personalidad y que van desde su estilo de trabajo a sus dotes intelectuales, de su visión del mundo a su concepción de la ciencia. Podemos, en otras palabras, examinar lo que se acostumbra llamar contexto del descubrimiento. No obstante que una reconstrucción de este tipo pueda contener, por lo

general amplios márgenes de arbitrariedad, en este caso los testimonios sobre la figura de von Neumann son tan precisos y concuerdan en tal forma que porporcionan un sistema de referencia bastante seguro.

En Göttingen, cuando tenía poco más de veinte años, von Neumann era considerado "la mente más veloz que se hubiera visto nunca". Algunos decenios después un colega de Princeton decía: "von Neumann lograba en forma casi instantánea comprender el punto central de cualquier dificultad matemática e individuar la forma de demostrar el teorema en cuestión, o, si era conveniente, sustituirlo por otro correcto" (12). Podríamos continuar en esta tónica pero no es necesario. Vale la pena más bien citar a Heins quien observa: (13) "Este dominio de la lógica no puede haber dejado de influir su forma de ver y concebir el mundo. Era característico de su estilo lógico y científico llevar el uso de la lógica formal y de la matemática al límite extremo, aún en campos que otros hubieran considerado más allá de su competencia. Parecía considerar el mundo empírico y probablemente también la vida y la mente, como posibles de comprender como estructuras formales abstractas..

No sólo adoptaba los más altos niveles de abstracción para su trabajo sobre los fundamentos de las matemáticas, sino que utilizaba estructuras formales abstractas para la formulación de teorías empíricas (teoría de juegos, teoría cuántica, teoría de calculadores). En este sentido se conecta con aquella tradición del pensamiento occidental según la cual una ley rigurosa es capaz de expresar las verdades atemporales que gobiernan todas las cosas". He aquí la esencia de los programas que von Neumann lleva adelante con el vigor que se originaba en su inquebrantable fe. "La característica fundamental que guía el trabajo de von Neumann —prosigue Heins— es el esfuerzo para desarrollar, en lo posible, y aún más allá de lo posible, una estructura formal o matemática que pueda contener los misterios y la complejidad de la vida. Es una fe ingenua y optimista en la máquina de la matemática. El alargar siempre más los límites de lo que puede ser reducido al razonamiento lógico".

En esta forma, también el azar puede insertarse dentro de un esquema puramente lógico y visto como manifestación de leyes definidas, generales y atemporales. En la teoría de von Neumann el tiempo desaparece (14). La matemática describe com-

pletamente el estado del sistema observado y del instrumento de medida, y la variación que éste experimenta como consecuencia de la observación es fruto de la toma de conciencia por parte del observador de su resultado. Todo lo que pertenece, pues, al mundo físico es introducido en la esfera de la legalidad lógico-matemática.

Sólo la conciencia queda fuera. Y con ésta el caos, el desorden, la imprevisibilidad son expulsadas de la ciencia, la cual reconquista su pureza incontaminada.

Una confirmación muy significativa del horror de von Neumann a todo aquello que es casual en la naturaleza nos la da él mismo en una carta (1955) a Georges Gamov, el cual había formulado una teoría sobre la formación de las proteínas basada en procesos aleatorios. "Me dan escalofríos —escribe— al pensar que elementos de un sistema altamente organizado, como son las proteínas, tan eficiente desde el punto de vista de la finalidad que persigue, puedan tener origen en un proceso aleatorio" (15).

Al subrayar este horror, no hay que olvidar, que, aún en el campo de la economía teórica von Neumann se empeña en llevar adelante, pocos años después, un programa de axiomatización lógico-formal fundamentado en el uso de las estructuras algebraicas, con rigurosa exclusión de cualquier evolución temporal ligada al manifestarse de factores que poseen un carácter estadístico-probabilístico.

En los límites de este trabajo, no es posible seguir adelante. Me falta sin embargo subrayar, aunque a esto volveremos luego, que von Neumann puede considerarse como el exponente más representativo de la gran mayoría de la comunidad científica de los físicos teóricos contemporáneos. "Su total adicción a los instrumentos de la razón —concluye Heins— y su habilidad para usarlos, junto con su aparente desinterés por las cuestiones filosóficas... lo volvieron el modelo paradigmático del científico-matemático de inicios del siglo XX (16).

III. El azar como reflejo del caos

Dirijamos ahora nuestra atención a la figura de Norbert Wiener, figura que expresa coherentemente en el nivel de un programa de investigación o en el nivel epistemológico— una concepción del mundo y de la ciencia opuesta a la que acabamos de discutir.

Dos años después de la muerte de Wiener (17) escribía Mikac (1966) lo siguiente: "En retrospectiva no se puede dejar de admirar la longitud de miras que mostró Wiener cuando, hace casi medio siglo, escogió el movimiento browniano como tema de estudio desde el punto de vista de la teoría de la integración. El prever, en aquella época, que un edificio imponente podría edificarse sobre ese rincón esotérico de la matemática fue un milagro de intuición del cual difícilmente existen otros ejemplos...

Nos dio no sólo un nuevo modo de abordar los problemas, sino, más aún, un nuevo modo de pensar en ellos". Pero no se trataba simplemente de una intuición matemática. Wiener había escogido su trabajo en el terreno límite entre física y matemática porque, escribía más tarde, "este tipo de trabajo se armoniza con un aspecto fundamental de mi personalidad". Otra vez más, encontramos una estrecha correspondencia entre carácter, modo de ver las cosas, intereses culturales y filosóficos, estilo de trabajo de un científico, y la problemática, los métodos, los fines de su investigación.

"Fue en el MIT —escribe Wiener en su autobiografía (18)— donde mi interés creciente por los aspectos físicos de la matemática comenzó a tomar una forma definida. Los edificios de los institutos dan al río Charles y desde sus ventanas el paisaje se extiende bajo un horizonte cambiante de rara belleza. El humor de las aguas del río era siempre un espectáculo fascinador. Para mí tenían otro significado, como matemático y como físico...

A veces las ondas corrían altas, manchadas de espuma, otras veces sus rizos eran apenas visibles. A veces su longitud llegaba a pocos centímetros, otras a metros. ¿Qué lenguaje descriptivo habría podido usar para representar estos hechos claramente visibles, sin ser arrastrado en la intrincada complejidad de una completa descripción de la superficie de las aguas? Este problema de las ondas estaba ligado a problemas de medias y de estadística, y por lo tanto estrechamente ligado con los integrales de Lebesgue que estaba entonces estudiando.

Me di cuenta entonces que el instrumento matemático que era objeto de mi investigación era también adecuado para la descripción de la naturaleza, y me convencí de que era en la naturaleza misma donde debería buscar el lenguaje y los problemas de mi investigación matemática".

Sería demasiado largo ilustrar en detalle los

múltiples aspectos de la personalidad de Wiener que se reflejan en su forma concreta de trabajo como científico.

Me limitaré a subrayar tres puntos de su concepción del mundo que son de particular importancia. A los diez años Wiener escribió un ensayo titulado "La teoría de la ignorancia" en el cual daba "una demostración filosófica de lo incompleto de cualquier forma de conocimiento". (Recordamos la aspiración de von Neumann por demostrar la *completitud* del conocimiento). Este tema fue convicción constante durante toda su vida: lo limitado del conocimiento y por ende de la capacidad de controlar los eventos como destino ineludible del hombre, pero así mismo como estímulo perenne a su insaciable sed de conocimiento. Y es precisamente este tema el que encontramos en sus conocimientos científicos. La escogencia del movimiento browniano como problema de fondo de su principal línea de investigación es, justamente, la escogencia de un problema en el cual lo incompleto de la información y la ignorancia parciales juegan un papel esencial. El objetivo que Wiener se propuso fue, en efecto, el de dar una forma matemática rigurosa a la descripción de una secuencia de eventos aún cuando éstos fueran el producto de acciones caóticas. En cierto sentido el problema matemático tiene estrecha analogía con el problema que él consideraba su deber como ser humano. Y éste consistía para él en la búsqueda de regularidades y orden en el mundo que lo rodeaba, no obstante la ignorancia parcial de la naturaleza de las cosas y de las fuerzas que éstas ejercen sobre nosotros o en el interior mismo de nuestro inconsciente. Escogiendo el movimiento browniano escogió un problema en el cual la teoría de los integrales de Lebesgue se usaba para tratar probabilidades e incertidumbres, fundando así una rama de la matemática, la de los procesos estocásticos, en la cual una multiplicidad de sucesiones de eventos aleatorios forman la base para la definición de magnitudes previsible en promedio, y para el cálculo de las fluctuaciones de estas magnitudes alrededor de estos valores promedios.

El segundo punto fundamental de su visión de la realidad consiste en el carácter ineliminable del tiempo en cualquier descripción válida de los fenómenos. Así si von Neumann sigue la tradición de Parménides, Wiener pertenece a la de Heráclito. Para Wiener la "ciencia es explicación de procesos que suceden en el tiempo" (19). Cada problema científico, para él, tendría que ser formulado se-

gún procesos estadísticos variables en el tiempo. Como físico era escéptico, frente a cualquier explicación de los fenómenos formulados según estructuras algebraicas inmutables o de procesos lógico-deductivos abstractos. Como matemático prefería el método constructivo respecto al axiomático.

El tercer punto se refiere a su concepción holística de la realidad: cada cosa está conectada con el resto. Y ésta es la base de otra contribución fundamental de Wiener a la ciencia del siglo XX: la cibernética. "Control y comunicación en el animal y en la máquina" es el subtítulo de su libro (20). Control y comunicación implican un comportamiento con un fin. En este sentido Wiener trae nuevamente al interior del pensamiento científico un concepto desacreditado: la causa final aristotélica.

Ese adquiere relevancia científica en cuanto se identifica con el mecanismo de autoregulación de un sistema mediante *feed-back* (retroalimentación). La forma matemática de tratar este mecanismo, omnipresente en los aspectos más variados y recónditos del mundo que lo rodea hace posible, según Wiener, la extensión de la física del dominio de la materia y la energía al de las comunicaciones y la información. Y éste no sólo en física. Los nuevos conceptos de mensaje, control, *feed-back*, pueden dar, prevé Wiener en 1948, los instrumentos para una comprensión científica de los fenómenos de la vida y de la muerte.

¿Cuál fue la acogida de la comunidad científica de los físicos a las ideas de Wiener? Muy diferente a la reservada con von Neumann. Así como éste último era considerado "el modelo paradigmático del científico matemático" así el primero era considerado como un matemático excéntrico y fuera del mundo.

Los interlocutores de Wiener, y no obstante sus esfuerzos, no serán los físicos sino la estrecha comunidad de matemáticos que lo reconocen como fundador de un sector disciplinario, los ingenieros de sistemas, los mecánicos aplicados que se ocupan de turbulencia, los médicos que se ocupan de tecnologías biomédicas y hasta psiquiatras y psicólogos que se ocupan del comportamiento.

Debemos ahora tratar de comprender las razones de estas diferencias.

IV. ¿Quién decide qué debe ser la física?

Sostuve en la introducción de tesis de que la co-

munidad de los físicos, con la escogencia que hizo a fines del segundo decenio de este siglo, quiso restituir a la física el carácter de ciencia de las leyes generales e inmutables, ciencia galileica fundada en la convicción de que "el gran libro de la naturaleza está escrito en lenguaje matemático y sus caracteres son triángulos, círculos y otras figuras geométricas", carácter éste que la crisis de los primeros decenios del siglo había puesto en duda. El elemento esencial de esta reafirmación fue el reconducir los aspectos casuales, probabilísticos, de la nueva mecánica, a las reglas de un algoritmo lógico-abstracto mediante la eliminación de su carácter temporal. Desde este punto de vista la nueva mecánica se sitúa más como legítima heredera de la mecánica newtoniana que como antagonista. En ambas teorías, en efecto, las ecuaciones del movimiento son deterministas y reversibles y la evolución temporal de las magnitudes que representan el estado de un sistema no es más que el despliegue de una sucesión de cambios que no contienen nada nuevo, en cuando que están contenidos potencialmente en cualquiera de los estados pasados o futuros de la sucesión, escogido arbitrariamente.

Me propongo corroborar esta tesis, mostrando cómo la salida escogida no era para nada obligada y cómo esto implicó el hacer a un lado toda una serie de problemas fundamentales que la crisis de la física clásica había levantado, posponiendo su consideración durante varios decenios. quede claro que no pretendo sostener que la comunidad de los físicos pudiera, costara lo que costara, buscar una formulación alternativa a la mecánica cuántica usando, por ejemplo, las técnicas elaboradas por Wiener desde inicios de los años 20. Sería necesario el negar que la mecánica cuántica presentó desde sus inicios ventajas en cuanto a simplicidad y flexibilidad desde el punto de vista de aplicaciones prácticas que no habrían dejado de atraer el interés y el entusiasmo de la mayor parte de los físicos activos. Quisiera más bien subrayar la hostilidad ideológica que durante largo tiempo impidió cualquier intento de explorar las posibilidades existentes en otras direcciones.

En efecto, no fue hasta los años 60, por ejemplo y después de haberse demostrado la irrelevancia del teorema de von Neumann cuando comienza el primer intento serio (21) de formular una teoría equivalente a la mecánica cuántica utilizando la teoría de los procesos estocásticos. Pero sobre todo deseo mostrar cómo la escogencia de la

mecánica cuántica en la forma codificada por von Neumann implicó la expulsión de la física de todos los problemas que una reflexión atenta sobre las perspectivas aún abiertas del desarrollo de la mecánica clásica habría podido abrir. Veremos con detalle de lo que se trata.

El primer hecho que mueve a reflexión es la desaparición de la física del concepto de irreversibilidad, desde fines del siglo pasado hasta casi nuestros días. Es de sobra conocido que Boltzman primero y luego Planck sostenían que el segundo principio de la termodinámica era una ley absoluta de la naturaleza. Y como tal tenía para ellos un papel central en la ciencia física. No puedo detenerme en las vicisitudes, bien conocidas, del teorema H y de la polémica entre Boltzman, Loschmidt y Zermelo. Recuerdo solamente que el programa de Planck, que luego lo condujo inesperadamente a la ley del cuerpo negro y a su interpretación en términos cuánticos, tenía por objeto inicial el demostrar que el campo electromagnético contenido en una cavidad había alcanzado irreversiblemente un estado de equilibrio a una dada temperatura, y gracias únicamente a las ecuaciones del movimiento (22). Sólo cuando este objetivo se demostró inalcanzable (debido a la reversibilidad de las mismas ecuaciones) Planck abandonó la descripción según la evolución temporal, para adoptar la descripción estadística según la probabilidad de los estados, que Boltzman había a su vez adoptado después de haberse topado con igual dificultad.

Desde entonces la cuestión de la irreversibilidad permaneció limitada al interior de la comunidad de los físico-químicos para quienes la termodinámica es un instrumento esencial y sobre todo en la escuela holandesa. No se sabe por qué. Sería interesante estudiar el papel de la investigación de las bajas temperaturas de Kamerlingh Onnes y de los laboratorios de la Phillips.

Desde el trabajo de Onsager en 1931 (23) hasta los trabajos de la escuela de Prigogine (24) esta línea permanece al margen de la física, tan es así que a Prigogine le fue otorgado el Premio Nobel de Química.

El tiempo desaparece, pues, de la física en el sentido de que la evolución de un conjunto estadístico hacia el equilibrio cesa de ser un problema digno de interés: la mecánica estadística se reduce al cálculo de las funciones de partición en el equilibrio. Y es precisamente este punto en el que se basa la introducción de la discontinuidad, que será la semilla de la cual nacerá la mecánica cuántica. Como ya lo demostró Kuhn, sólo varios años

después de la introducción de la constante de Planck en 1900, cuando Lorentz se convenció de lo inevitable de la hipótesis de la discontinuidad en la energía de los osciladores en equilibrio con la radiación, la comunidad de los físicos acepta la necesidad de los cuantos. Pero esta inevitabilidad es consecuencia directa de la aceptación tácita y general de la hipótesis de que cada sistema "razonable" sea ergódico. Incluso Poincaré, como lo han hecho ver recientemente Ciccotti y Ferrar (25) en su extremo y fallido intento de encontrar una vía de salvación para la mecánica clásica, rehúsa considerar la eventualidad de que existan sistemas dinámicos no ergódicos como alternativa a la introducción del cuanto.

No fue sino hasta 1954, con el teorema de Kolmogorov (26) (en la jerga física-matemática, teorema KAM) cuando se descubrió lo poco obvia que es la propiedad de ergodicidad en los sistemas complejos. El problema, pues, vuelve a abrirse, pero ya la historia ha avanzado por un curso propio.

Este problema se convierte en problema de investigación por parte de otra comunidad, otras revistas, otros congresos, otras cátedras. Quien se pregunte cómo hubiera sido la física si el teorema KAM hubiera sido conocido en 1900 es mirado como un excéntrico (27).

Otro cambio tiene lugar gracias a otra temática nacida en el seno de la mecánica clásica a finales del siglo pasado, con la famosa memoria de Poincaré sobre el problema de tres cuerpos, y es el de la inestabilidad dinámica. Temática que abre a su vez una falla inesperada en el determinismo laplaciano que parece ser una consecuencia necesaria de la mecánica newtoniana. Desarrollada particularmente por los astrónomos de los años 60 (28) y tomada en forma independiente en otras disciplinas afines y contiguas, esta temática se basa en el hecho de que los sistemas dinámicos no lineales completamente determinísticos puedan tener un comportamiento "salvajemente caótico". No fue hasta 1977 cuando se desarrolló en Como una conferencia sobre el comportamiento estocástico de los sistemas hamiltonianos y que reunió, por primera vez astrónomos, biólogos, economistas, físicos y matemáticos que trabajaban en esta área. Resulta significativo que esta conferencia haya sido convocada treinta años después de aquella famosa conferencia de Como en la cual la mecánica cuántica tuvo su "bautizo" oficial, reivindicando por lo menos por parte de los or-

ganizadores, un análogo significado de vuelco histórico (29). Y como para justificar lo poco justificable que es, desde el punto de vista racional, el largo intervalo de tiempo transcurrido, se lee en la introducción al volumen que recoge las principales ponencias la siguiente afirmación: "Se dedicó mucha atención (en esta Conferencia) al problema de la cuantización de los sistemas clásicos no lineales, caóticos; una dificultad prevista por Einstein desde 1917 pero largamente obviada en los decenios sucesivos".

Un olvido que resulta ser una confirmación de la tesis que trato de argumentar.

El tercer campo de investigación puesto al margen por la comunidad de los físicos y que sólo recientemente ha tomado gran impulso, ingresando nuevamente en la física "por la ventana" después de haber sido expulsado "por la puerta" es el de los procesos estocásticos. Vimos ya cómo los trabajos pioneros de Wiener a inicios de los años 20 fueron sustancialmente ignorados por los físicos, los cuales hasta los años 70 no tomaron seriamente en consideración la posibilidad de utilizar los instrumentos que allí se formulan para afrontar los problemas de interés para su disciplina. Es interesante subrayar que dichos instrumentos, como demostró Battinelli (30) en sus trabajos dedicados al nacimiento de la disciplina surgida alrededor de las investigaciones sobre la turbulencia, fueron adoptados en cambio por esta comunidad, con notable éxito, en los años 40 mediante lazos directos entre Wiener y el fundador de esta teoría, Y.C. Taylor.

La misma formulación en los años 30, por parte de Kolmogorov y la escuela rusa de una disciplina tan fecunda en resultados aplicados como es la teoría clásica de las probabilidades, pasa prácticamente inobservada entre los físicos hasta época muy reciente.

Las técnicas de los procesos estocásticos comenzaron a ponerse de moda entre los físicos teóricos que se ocupaban de mecánica estadística y de teoría de campos en los años 70.

Resulta demasiado pronto para decidir si este cambio, que por ahora parece consistir principalmente en la adopción de técnicas más eficientes y flexibles, indique el prelude también de un cambio conceptual por parte de la comunidad en cuanto a la posición por asumir hacia las problemáticas típicas de las ciencias de los procesos. Personalmente opino que la situación evoluciona en dirección análoga a la delineada por Ageno en biología.

Me limitaré, para ilustrar esta convicción, a citar una serie de trabajos recientes de un grupo de físico-matemáticos de Marsella (32), quienes muestran que la ecuación de Schrödinger, entendida relativísticamente como ecuación de evolución de densidad de materia sometida a perturbaciones aleatorias, podría dar cuenta de una multiplicidad de fenómenos macroscópicos —desde la circulación de masas de aire en la atmósfera a las fajas de Van Allen, desde la distribución de masas en el sistema solar a los fenómenos de clustering en los cultivos de bacterias— que tenemos ante nuestros ojos diariamente.

Es ya tiempo de sacar algunas conclusiones de las múltiples observaciones que intenté exponer.

V. El proceso de convalidación de las propuestas innovadoras

El cuadro que delinee revela, no obstante las lagunas y afirmaciones apresuradas, un fenómeno preciso: la existencia de un poder de aceptación o rechazo por parte de las comunidades científicas de una dada disciplina, de las propuestas innovadoras de los científicos particulares, poder que se ejercita por el uso de criterios informales, no codificados pero convalidados tácitamente, por la mayoría de la propia comunidad, o lo que es igual, por sus exponentes más significativos.

A primera vista, esta afirmación puede parecer obvia, y de hecho sí lo es si nos limitamos a considerar como operantes solamente aquellos criterios de escogencia admitidos por la "reconstrucción racional" del proceso de desarrollo de la ciencia. Criterios que, sin entrar en detalles porque son cosas de sobra conocidas, podría resumirlos como criterios de consistencia lógica y de adecuación empírica. Puede ser menos banal si se reconoce que estos criterios no son únicos y, a menudo, tampoco los más importantes.

Hemos visto cómo de las dos propuestas alternativas de desarrollo avanzadas por matemáticos de altura intelectual no común y de extraordinarias capacidades creadoras como von Neumann y Norbert Wiener, la primera fue aceptada por la comunidad con una adhesión convencida y rápida sin dudas, como base para la definición de su propio campo disciplinario; o la segunda, olvidada por varios decenios. La interpretación que ofrecí de esta diferencia en el comportamiento proviene

de la constatación de que la primera garantizaba a la física la posibilidad de continuar siendo la ciencia por excelencia, la ciencia de las leyes universales y atemporales, la única ciencia en grado de acercarse a las verdades absolutas e inmutables del gran libro de la naturaleza, mientras que la segunda proponía extender las fronteras de la disciplina hasta convertirla en ciencia de los procesos, ciencia de los fenómenos transitorios e irrepetibles, ciencia de los sistemas complejos, capaces de evolución, no tautológicos.

La escogencia del primer camino se cumplió con base en *metacriterios*, es decir criterios de juicio sobre la naturaleza de la física, o sea sobre lo que ésta debe investigar y en qué modo, más que con base en criterios codificados en el seno de la física como disciplina ya definida y formalizada. La distinción no es banal. Esta subraya la existencia de niveles diferentes de juicio en la evaluación de la validez de los nuevos conocimientos, niveles de tipo lógico diferente, que no hay que confundir, si no se desea incurrir en paradojas e incongruencias del tipo Russell (como ya insinué a propósito de la relación entre el teorema de Gödel y el teorema de von Neumann).

Una cosa es juzgar si una determinada contribución satisface las condiciones de validez que surgen del conjunto de reglas formales que caracteriza una disciplina dada en un momento dado. Otra cosa es juzgar si una determinada proposición de cambio de esas reglas es aceptable a la luz de meta-reglas que fijan los caracteres considerados irrenunciables, en aquel momento, para aquella disciplina. En el caso discutido, por ejemplo, éstas no sólo consistieron, en el plano técnico, en escoger entre una definición de *estado* como vector en el espacio de Hilbert y una definición de *historia* como proceso estocástico, sino que también permitió decidir que quien se ocupaba de procesos estocásticos no era un físico.

La distinción es en todo análoga a la que Gregory Bateson traza entre diferentes niveles de comprensión en su célebre ensayo "Las categorías lógicas de la comprensión y de la comunicación" (33), ensayo que resume las ideas fundamentales de la escuela de Palo Alto, que tanta influencia ha tenido en el desarrollo reciente de la ciencia del comportamiento. En particular, es análoga a la distinción entre dos tipos diferentes de cambio introducida por Paul Watzlawick, discípulo de Bateson, en sus estudios sobre "Pragmática de la comunicación humana" (34). Pero, sobre todo es

análoga a aquella que el propio Bateson señala entre niveles de selección y control en los grandes procesos evolutivos de las especies y del conocimiento humano y que son el argumento de su último libro *La naturaleza y la mente* (35) "Comunicación y control": así el círculo se cierra. Encontramos nuevamente el subtítulo del libro de Wiener. Y no es casualidad: las dos ideas guías del pensamiento de Wiener, procesos estocásticos y *feed-back* se revelan como los pilares fundamentales sobre los cuales se construirá la ciencia de fines de este siglo. Pero es claro que no se trata de una simple analogía. En todos los casos se trata en efecto de separar los cambios que suceden dentro de un contexto dado con respecto a los cambios del contexto (y eventualmente, a su vez, de los cambios en la clase con respecto a los cambios del contexto).

El crecimiento del conocimiento científico no escapa, pues, a la modalidad general de adquisición de conocimientos por parte del hombre. Ya se trate del conocimiento colectivo o individual, estas modalidades se basan en la posibilidad de ordenar las informaciones contenidas en los mensajes que tal adquisición produce, en una jerarquía de clases, cada una de las cuales es un elemento de la clase superior y al mismo tiempo reagrupa las del nivel inferior. Es, pues, la identificación de las informaciones contenidas en cada mensaje, y la atribución de cada una de ellas al nivel que se supone apropiado, lo que produce un crecimiento del conocimiento. Esto ya no se ve como una simple acumulación indiferenciada de nuevas contribuciones sino como proceso de enriquecimiento y de reordenamiento de este complejo sistema de relaciones entre clases de proposiciones sobre el mundo que nos rodea, clases de proposiciones sobre las proposiciones precedentes y así sucesivamente.

Para dar un ejemplo, recordemos que el proceso de aprendizaje "por ensayo y error" es para Bateson sólo un nivel determinado, al cual no hay que confundir con el inferior (aprendizaje cero: a cada estímulo una respuesta) dada ni con el superior (aprendizaje dos: capacidad de cambiar el conjunto de las alternativas dentro de las cuales se efectúa la escogencia en el nivel inferior).

Este ejemplo se nos presenta particularmente significativo para nuestros fines si recordamos que la epistemología evolutiva popperiana equipara el crecimiento del propio conocimiento a un proceso de aprendizaje por ensayos y errores. Dice Popper

(36): "El desarrollo del conocimiento procede de viejos problemas a nuevos problemas, mediante conjeturas, y confutaciones". En otra parte precisa: "La solución de los problemas procede siempre por el método ensayo-error: nuevas reacciones, nuevas formas de comportamiento, nuevas hipótesis son propuestas en forma provisional y por tentativas, y se controlan por obra de la eliminación del error".

En la óptica de lo dicho anteriormente aparece claro, pues, el límite de esta concepción: está en el bajar la compleja jerarquía de niveles de control del proceso de desarrollo del conocimiento, al único nivel de la eliminación del error en un contexto que se asume dado de una vez por todas.

No es casualidad que este bajonazo y nivelación corresponde en Popper a una visión unidimensional de la realidad que ve en un extremo las nubes y el la otra los relojes (37). Pero nosotros no somos algo que está entre los primeros y los segundos: somos más complicados que los unos y los otros.

Desde este punto de vista se vuelve fácil la discusión de la posición del tradicional opositor de Popper: Thomas Kuhn. Es claro que su periodización de la historia de la ciencia en fases de ciencia normal separadas por breves períodos de cambios revolucionarios (38) se acerca mucho al proceso que antes delinée, en el sentido de que las primeras corresponden claramente a la adquisición de conocimientos dentro de un contexto dado, en los segundos se dan cambios del contexto (para decirlo con Watzlawick: cambio y cambios). Esta dicotomía es, sin embargo, excesivamente esquemática. Puede prestarse a las críticas de quien, aunque sea por mantener la polémica, ve una manifestación de irracionalidad en el cambio paradigmático, por lo menos tal como lo describía Kuhn en 1952. Hay también aquí una tendencia a igualar los niveles que puede llevar a confusiones. El cambio paradigmático es ciertamente un cambio de los criterios que regulan el ámbito de aceptabilidad de las contribuciones que se consideran válidas para el desarrollo de una disciplina dada pero está así mismo sujeto a *meta-reglas* no menos vinculantes, aunque menos formalizadas. A su vez, estas *meta-reglas* pueden ser cambiadas bajo la presión de empujes internos o externos suficientemente fuertes pero aún este cambio tendrá lugar en el interior de una gama de posibilidades que ni es arbitrario ni es ilimitado. Lo que parece faltar en la concepción de Kuhn es justamente la conciencia de esta

jerarquía de niveles de selección y control que tiene la función de asegurar el mantenimiento de la identidad de una disciplina dada, consintiendo al mismo tiempo la aceptación, al más bajo nivel posible, de los cambios necesarios para su función.

Esta estructura jerárquica explica también por qué toda la discusión entre Kuhn y sus opositores (39) acerca de la naturaleza de la discontinuidad implicada por el concepto de revolución científica, sea una discusión que puede prolongarse al infinito si no se comprende que un cambio de paradigma consiste al mismo tiempo en un cambio discontinuo de las reglas que definen *cómo hacer física* y en un mantenerse de las meta-reglas de *qué cosa es la física*. También estas últimas pueden cambiar, a su vez, en forma más o menos discontinua pero también en ese caso siempre será posible individualizar *algo* que asegure la continuidad de la disciplina.

Esta articulación del concepto de revolución científica resuelve también otro problema que ha sido objeto de un largo diálogo entre sordos. El de la circularidad implicada en la relación entre paradigma y comunidad. Si la comunidad se define como el conjunto de científicos que condividen un paradigma dado, y éste último no es otra cosa que el patrimonio de reglas que los científicos pertenecientes a una determinada comunidad utilizan para desarrollar su propia disciplina, no se definen ni el primero ni el segundo. Pero si se distinguen bien los niveles todo se aclara: la comunidad está constituida por todos aquellos que condividen las meta-reglas que deben usarse para cambiar las reglas de la actividad de investigación "normal", salvaguardando lo que ellos consideran que constituye la identidad irrenunciable de la disciplina. Esta definición no es nominalismo vacío. Es la única que explica por qué un Einstein o un Schrödinger, los cuales, ciertamente tenían todas las cartas en regla para formar parte de la comunidad de los físicos, fueran marginados después de 1927. Así mismo explica por qué von Neumann, profesionalmente externo, en cuanto matemático, a la comunidad de los físicos fuera, al contrario, uno de los miembros de mayor autoridad. Y también explicará (si sucediera como pienso) el por qué Wiener, que de vivo nunca perteneció a ella, sea admitido un día no lejano con todos los honores.

NOTAS

(1) M. Ageno, *Importanza della concezione darwiniana nella biologia odierna* (inédito).

(2) F. Crick, "Of Molecules and Men" - University of Washington Press, Seattle 1966 - trad. it. "Uomini e Molecole", Zanichelli, Bologna 1970.

(3) Un ejemplo reciente lo constituye el de la comunicación humana. Por ejemplo, cfr. *La nouvelle communication*, ed. Yves Winkin. Seuil - Paris 1981.

(4) V. por ejemplo: *Dynamical Systems, Theory and Applications*. Springer Verlag, Berlín 1975. Cfr. *Dynamical Systems and Chaos*, Springer V. Berlín 1983.

(5) S. Heins, John von Neumann and Norbert Wiener. From Mathematics to the technologies of Life and Death MIT Press 1981.

(6) Vid. por ejemplo: Max Jammer, *The conceptual Development of Quantum Mechanics*. McGraw Hill, New York 1966.

(7) P. Forman, "Weimar culture, causality and quantum theory", *Historical studies Physical Sciences* 3, 1 (1971).

(8) M. De Maria, F. La Teana, *Fundamenta Scientiae* 3, 129 (1982).

(9) M. Cini, Nota Interna IFU Roma n. 797/1982. Ponencia en el 3er. Congreso de Historia de la Física, Palermo 1982.

(10) Para una discusión de los contra ejemplos del teorema de von Neumann, J. Bell TH 3315 CERN (1982). Otro ejemplo lo constituye la *Mecánica Estocástica*: E. Nelson, *Phys. Rev.* 150 (1966) 1079.

(11) M. Cini, M. De Maria, G. Mattioli, F. Nicolò, *Foundations of Physics* 9, 479 (1979). M. Cini, N. Cimentó 73B, 27 (1983).

(12) N. Goldstine, *The computer from Pascal to von Neumann*, Princeton University Press 1972, p. 171.

(13) S. Heins, *op. cit.*, p. 129.

(14) S. Jammer, *The Philosophy of Quantum Mechanics*, Wiley, New York 1974, p. 471.

(15) S. Heins, *op. cit.*, p. 154.

(16) S. Heins, *op. cit.*, p. 140.

(17) M. Koc, *Bulletin of American Mathematical Society* 72, n. 1, p. 68 (1966).

(18) N. Wiener, *I am a Mathematician*, MIT Press, Cambridge 1964 p. 33.

(19) S. Heins, *op. cit.*, p. 151.

(20) N. Wiener, *Cybernetics* Wiley, New York 1948.

(21) S. Heins, *op. cit.*,

(22) T. S. Kuhn, *Black Body Theory and the Quantum discontinuity*, Clarendon. Oxford 1978.

(23) L. Onsager, *Phys. Rev.* 37, 405 (1931).

(24) I. Prigogine e L. Nicolis, *Self Organization in Non equilibrium Systems*, Wiley, New York 1977.

(25) G. Ciccotti e G. Ferrari, *Eur J. Phys.* 4 (1983) 110.

(26) A. N. Kolmogorov, *Doki. Akad. Nauk. SSSR* 98, 527 (1954).

(27) V. ad es.: L. Galgani e A. Scotti, *Rivista N. Cimento* 2, 189 (1972).

(28) G. Contopoulos, *Astron. Journ.* 68, 3 (1963), M. Henon e C. Herles, *Astron. Journ.* 69, 73 (1964).

(29) *Stochastic Behavior in Classical and Quantum Hamiltonian Systems*, Volta Memorial Conference, Como 1977, Springer Verlag Berlin, 1979.

(30) G. Battimelli, inédito.

(31) C. De Witt Morette e K.D. Elworthy, *New Stochastic Methods in Physics, Physics Reports* 77 (1982).

(32) Albeverio *et. al.*

(33) G. Bateson, "Le categorie logiche dell'apprendimento e della comunicazione" in: *Verso un'ecologia della Mente*. Adelphi 1976, Milán.

(34) P. Watzlawick, J. Beavin e D. Jackson, *La pragmatica della comunicazione umana*, Astrolabio, Roma 1971; P. Watzlawick, J. Weakland, R. Fish, *Change*, Astrolabio Roma 1974.

(35) G. Bateson, *La natura e la mente*, Adelphi Milano 1984 (*Nature and Mind*, Wildwood, London 1979).

(36) K. Popper, "L'evoluzione e l'albero della conos-

cenza" en *Conoscenza oggettiva*. Armando, Roma, p. 344; *Objective knowledge*, Oxford at the Clarendon Press, 1972.

(37) K. Popper, "Nuvole e orologi" in *op. cit.*, pág. 307.

(38) T. S. Kuhn, *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, Einaudi, 1969; *The structure of Scientific Revolutions*, University of Chicago Press, 1962.

(39) *Critica e crescita della conoscenza* (ed. I. Lakatos e A. Musgrave) Feltrinelli, Milán 1976; *Criticism and the Growth of Knowledge*, Cambridge Univ. Press. 1970.