



Peter Theodorus Landsberg, nacido en Berlín en 1922, ocupa en la actualidad una cátedra en la Faculty of Mathematical Studies de Southampton. Es autor de una profunda, profusa y diversa labor de investigación que va desde la electrónica a la biología pasando por la cosmología y la filosofía de la ciencia.

## La búsqueda de la certeza en un universo probabilístico

Peter T. Landsberg

### 1. Introducción

Grandes impulsos en la mente de los hombres han producido resultados que nos asombran y nos abruman. En el pasado, hombres poderosos expresaron su amor por Dios, o por otros hombres, o por ellos mismos, erigiendo grandes catedrales, o pirámides o el Taj Mahal —todas ellas maravillas de diseño y de concepción profunda, considerando especialmente el período de su creación. Hay también otras motivaciones: por ejemplo, el conocimiento (los saberes), el deseo de certidumbre, para descubrir las leyes de la naturaleza, para comprender. Ellas nos ha dado animosos exploradores, venciendo las más apabullantes condiciones de supervivencia, o incluso sucumbiendo a ellas, como Scott en la Antártida, para poder cartografiar esas tierras lejanas. Esas preocupaciones también nos han dado los grandes sistemas filosóficos y muchos descubrimientos científicos. La fe religiosa (y la no religiosa) se produce también por la aspiración a la certeza en nuestra vida personal. El impulso hacia la certeza en las ciencias es parte de la inspiradora historia a la que voy a referirme ahora.

### 2. Estructuras artificiales: La incertidumbre en matemáticas

Hay dos clases principales de certeza que pasamos a considerar: la certeza en matemáticas o en juegos inventados por el hombre, como el ajedrez, y la certeza en la comprensión de los procesos de la naturaleza. La certeza en cosas artificiales se alcanza con frecuencia, sin la menor duda. Una posición de jaque mate es final y cierta. Es también cierto que el número cinco sólo es divisible sin resto por sí mismo y por uno, y es por tanto un número primo. Pero cuando entramos en cuestiones de mayor

peso, incluso la matemática, nuestra propia obra, se cubre de una niebla impenetrable; por ejemplo, si queremos probar que una estructura matemática que incluya la aritmética de los números naturales es completa. Entonces, nos encontramos de golpe con un teorema de Kurt Gödel.

El siguiente ejemplo, bien conocido, puede ilustrar este teorema, aunque no demostrarlo. Sea *W* un adjetivo, consideremos la fórmula <'W' es *W*>. Dado un adjetivo, esta fórmula es verdadera, o falsa, o carece de sentido. Omitamos, por simplicidad, que pueda ser sin sentido. Sorprendentemente esto no afecta los resultados básicos. Llamaremos «autológico» a un adjetivo para el que la proposición sea cierta, y «heterológico» para el que sea falsa. Por ejemplo las palabras «English» y «español» son autológicas, mientras que la palabra *long* es heterológica. Dada una lista completa de adjetivos, podemos obtener un nuevo sistema ampliado añadiendo esos dos. Se suscita naturalmente la cuestión de si se les puede aplicar la fórmula <'W' es *W*>. Consideremos la palabra «heterológico». Si <'W' es *W*> es aplicable, entonces, por definición, heterológico es autológico. Pero esta misma frase indica que debe ser heterológico, de modo que hay una contradicción. Así que la posible verdad de <'W' es *W*> no puede probarse cuando *W* es adjetivo «heterológico». Tampoco puede probarse su falsedad, pues si «heterológico» no es heterológico, debe ser autológico, y por ello aplicarse a sí mismo. Así, del hecho de que «heterológico» sea autológico deducimos que es heterológico. Esto, de nuevo, es una contradicción. La cuestión, por tanto, de si <«heterológico» es heterológico> no puede decidirse y, para hacerlo, tendría uno que considerar un sistema más amplio. Pero, por supuesto, el sistema más amplio está de nuevo sometido al mismo tipo de problema. El resultado básico es que hemos encontrado una proposición (saber <«heterológico» es heterológico>) que no podemos probar que es verdadera, y que tampoco podemos probar que es falsa.

Ahora bien, si tenemos un sistema formalizado, existen posibilidades para sus proposiciones (que no contengan variables libres):

1. Existe al menos una fórmula para la que no se puede demostrar *ni A ni no A*. Este es el caso de la sentencia anterior («heterológico» es heterológico). Técnicamente esto significa que el sistema es *incompleto*.

2. Existe al menos una fórmula para la que uno puede demostrar a la vez *A* y *no A*. Tal sistema es *inconsistente* y debe ser desechado.

3. Si no ocurre 1, el sistema es completo. Si no ocurre 2, es consistente. Así que los sistemas completos y consistentes son aquellos en los que puede probarse o *A* o *no A* para todas las fórmulas del sistema.

El teorema de Gödel dice esencialmente que incluso los sistemas formalizados consistentes, que contienen la aritmética, son siempre incompletos. La mayoría de las teorías científicas entran en este grupo de sistemas, y todo mi discurso de los adjetivos ha sido para ilustrar este punto (8). Estos sistemas incompletos se encuentran entre los sistemas buenos, que son consistentes y completos, y los sistemas malos, que son inconsistentes.

### 3. Incertidumbre en mecánica clásica

Si las estructuras hechas por el hombre pueden exhibir incertidumbre en ciertos puntos cruciales, ¿cómo no habremos de encontrar límites a la certeza en nuestra comprensión de la naturaleza! Consideremos el candidato menos probable: la majestuosa estructura de la mecánica clásica, empleada durante tanto tiempo para el cálculo preciso de los eclipses solares cientos de años antes de que ocurriesen, y distinguida por la fiabilidad de las tablas que suministra para la predicción de los tiempos de marea alta y de marea baja. Nuestra valoración de la mecánica clásica como una disciplina fiable está fuera de toda duda: ha sido capaz incluso de colocar a hombres en la luna y de devolverlos a la tierra. Pues bien, a pesar de esto, existen algunos problemas insuperables a los que vamos a referirnos ahora.

Consideremos un brazo de péndulo en posición vertical, de modo que quede por encima de su punto de suspensión. Se caerá a la izquierda del soporte si se le empuja un poquito a la izquierda. Se caerá a la derecha del soporte si se le empuja a la derecha. La configuración inicial determina el movimiento del sistema, como es de esperar de una estructura sometida a la mecánica clásica. Pero supongamos que comenzamos con el péndulo en la posición superior con el más pequeño error alcanzable experimentalmente. Se sigue que este error puede impedir una predicción correcta: ¡unas veces la predicción es correcta, otras es falsa! Cada caso tiene un 50% de probabilidades. Una pequeña separa-

ción del punto más alto determina la trayectoria. La mecánica clásica contempla muchas situaciones donde fallan las predicciones serias por haber un punto crítico donde el más pequeño error posible produce grandes efectos. Estos son precisamente los lugares donde incluso en mecánica clásica la certeza debe ser sustituida por la probabilidad (1) (15).

¿Pueden alcanzarse mayor precisión y grado de certeza estudiando el sistema con un modelo teórico y utilizando un potente ordenador? De nuevo quedamos defraudados. Siempre hay un error del ordenador. Un pequeño error inicial puede hacerse más y más grande conforme se realiza el cálculo y finalmente no puede decirse nada con precisión. La probabilidad y la incertidumbre entran tanto en el cálculo como en la observación sencillamente porque la precisión infinita es imposible. Complicando un poco más las cosas llegamos a sistemas cuyas ecuaciones, perfectamente deterministas, producen un comportamiento errático. Esto se llama *caos*. Los científicos estudian este tema que, junto con la teoría de catástrofes, está atrayendo su interés (19). El humo de un cigarrillo y la turbulencia del agua son dos ejemplos cuyo análisis puede intentarse mediante estos métodos. La idea clave es que estos sistemas son extraordinariamente sensibles a las condiciones iniciales de las que arrancaron. Por ejemplo, en un modelo matemático, cada salida (*output*) puede emplearse para generar una nueva entrada (*input*) y, al cabo de una serie de iteraciones, puede generarse un conjunto aparentemente aleatorio de salidas (6) (17).

#### 4. Probabilidad en mecánica estadística

Por supuesto, la física ha conocido las probabilidades desde hace mucho tiempo. Alrededor de 1860, Maxwell y Clausius se dieron cuenta de que, al haber tantas partículas en un sistema, no puede seguirse el movimiento de todas ellas, y hay que recurrir a introducir probabilidades. Con ello se responde a un nuevo tipo de pregunta. No ya: ¿cuál es la velocidad de esta o aquella partícula?, sino: ¿qué probabilidad tengo de encontrar una partícula con una velocidad dentro de un margen especificado? Hay que rechazar la certidumbre en favor de la información estadística. Esta introducción de las probabilidades en la física fue una etapa excitante e importante, pero su significación filosófica fue limitada. Existía la sensación de que la introducción de probabilidades era conveniente, pero también que éstas podían eliminarse en

principio si admitiesen cálculos increíblemente complicados, o alquilando los servicios de un calculador «a la Laplace» que fuera capaz de manejar una gran cantidad de información y que tuviese información precisa sobre todos los datos físicos.

En todo caso, se desarrolló la ciencia de la mecánica estadística. Sus probabilidades son debidas a *complicaciones* que resultan de los grandes números. La probabilidad es una especie de Mefistófeles en la ciencia. Nos permite decir que va a llover (hoy y en esta ciudad) con un 30% de probabilidad. Eso es algo, pero no bastante, porque, de hecho, lloverá o no lloverá. El metereólogo que habla de un 30% de probabilidad nos proclama la fuerza de su creencia. No puede hacerlo mejor. Estamos también aquí de nuevo en una clase de mecánica estadística por las complicaciones que aparecen. Mefistófeles está aquí, aunque de momento sólo mirándonos desde el otro lado de la esquina.

#### 5. Teoría cuántica: aparece Mefistófeles

Retrocedamos un poco. Aunque la mecánica clásica es venerable, he señalado cómo las probabilidades entran en ella a través de puntos de bifurcación y precisión limitada, los cuales han sido el tema de investigaciones muy recientes. A continuación hemos discutido la mecánica estadística que surgió a la vuelta del siglo con Gibbs, Maxwell y Einstein. Básicamente seguimos estando en el principio de 1900 y ahora podemos trasladarnos a la teoría cuántica. Recordamos que ésta nos explica las propiedades ondulatorias de las partículas más pequeñas como electrones, protones, etc., lo cual hace asignando funciones de onda a estas partículas o sistemas de partículas. Nos explica que la energía viene en unos «granos» llamados cuantos. Es una teoría tremendamente exitosa, que puede utilizarse para explicar el comportamiento de partículas en colisión, las propiedades de los materiales, de los gases, de los núcleos atómicos, etc., y alcanza los campos de semiconductores y de la electrónica. ¿Por qué nos interesará aquí esta teoría?

Porque la función de onda asigna probabilidades a los diversos estados de un sistema, no certidumbres. Ello es de una importancia crucial, ya que se trata de un ingrediente básico para la más fundamental de las teorías. Después de todo, las cosas, de hecho, ocurren en este mundo y, después de que han ocurrido, son ciertas y completas. Si tenemos una teoría básica que proporciona solamente probabilidades, podemos preguntarnos: ¿existe

una mecánica mejor, llamémosla mecánica X, que asigne certidumbres? ¿Es la mecánica cuántica meramente la mecánica estadística de esta todavía no descubierta mecánica X? Después de todo, podría ser como la mecánica estadística que está basada en la mecánica clásica. Esta idea funciona de la siguiente manera.

Si vas a someterte a un examen, se te avisa que el 70% de los candidatos pueden pasar. La probabilidad de que cualquier candidato pase es 0,7. Esta afirmación corresponde a una sentencia de la mecánica cuántica, como afirmación probabilística que es. Si se estudian la historia y las aptitudes pasadas de cada candidato por separado, somos capaces de decir: este candidato pasará, éste no pasará, etc.. Esto correspondería a una afirmación definida de la nueva mecánica X. La mecánica cuántica opera y es correcta, aunque no va tan lejos como lo haría la mecánica X. En esta búsqueda de la mecánica X, la eliminación de probabilidades como base de la física es la que inspiró a Einstein la conocida frase de que Dios no arroja los dados. Einstein fue en búsqueda de la certeza y la mecánica cuántica no se la pudo proporcionar (4).

Una famosa paradoja de la teoría cuántica ilustra los problemas de una teoría probabilística. Imaginemos una caja que contiene una sustancia radiactiva que puede matar a un gato a través de un dispositivo de disparo que emite radiación en una determinada dirección. La radiación emitida en otras direcciones no produce daño alguno. Suponiendo que el gato pueda ser descrito por la mecánica cuántica, con ciertas probabilidades está en un estado vivo o muerto. Cuando el observador abre la caja, se encuentra que el gato está vivo. Decimos entonces: la probabilidad se ha hecho certidumbre. La cuestión es ¿cómo es que la probabilidad de estar vivo se ha convertido en certeza simplemente por abrir la caja? ¿No era cierto esto mismo antes de que mirásemos si el gato vivía?

Este asunto se discutió *in extenso* en un Simposio en 1957 y pueden mantenerse diferentes puntos de vista (2): 1) hemos utilizado, con la mecánica cuántica, la mejor teoría disponible. Afirmaciones más completas requieren una teoría mejor, que aún no tenemos; 2) el ejemplo nos muestra que la mecánica cuántica es incompleta; 3) la aplicación de la mecánica cuántica es aquí inadmisibles, en cuanto que el gato es un objeto macroscópico y el límite macroscópico de la mecánica cuántica aún no se ha entendido (4) (13) (20).

Personalmente prefiero un cuarto punto de vista. Adoptamos

la definición de probabilidades como frecuencias que dicen que una probabilidad se concibe como la razón del número de casos favorables respecto al número de casos posibles. Entonces, puesto que la función de ondas de la mecánica cuántica especifica únicamente probabilidades, sólo tiene sentido aplicarla a un conjunto de muchas copias del sistema. Se puede mostrar que, para esta interpretación de la mecánica cuántica, el gato de Schrödinger no presenta problema alguno. Simplemente hay gatos vivos y gatos muertos en nuestro conjunto de copias del sistema que dependen de las correspondientes probabilidades. Las dificultades surgen solamente si la teoría probabilística se aplica a un único sistema. La paradoja del gato de Schrödinger surge por aplicar una teoría que posibilita solamente afirmaciones probabilísticas a un sistema particular. Es como el 30% de probabilidad de la previsión de la lluvia. Nosotros miramos y vemos simplemente si ha llovido o no.

No llegamos al final de nuestros problemas con la mecánica cuántica. Esta posee una característica adicional muy extraña, no directamente relacionada con las probabilidades. Es la de que no es posible pensar en un fenómeno cuántico como existente en un estado objetivo que sea independiente del observador. La idea de «el estado de una partícula» sólo adquiere significado si se ha seguido un procedimiento para observarla. La mecánica cuántica nos retira el permiso para hablar del *estado de una partícula* en sentido objetivo entre observaciones, y ello ha dado lugar a muchas especulaciones y a muchas interpretaciones alternativas de la mecánica cuántica. He aquí algunas para mayor conocimiento del experto, con los nombres de sus principales autores:

- a) la interpretación de Copenhague (Niels Bohr y la mayoría de los físicos);
- b) la interpretación como colectividades (*ensemble*) (Einstein), a la que nos referimos antes;
- c) la interpretación de muchos mundos (Everett), que mencionamos luego;
- d) la interpretación con variables ocultas (de Broglie, Bohm) que busca una mecánica X, como explicamos antes.

¿En qué estado está la partícula cuando no la observamos? La búsqueda de la certeza se detiene aquí, puesto que esta cuestión ni siquiera está bien formulada, de acuerdo a la interpretación

«a». Por esto es por lo que digo que Mefistófeles está justo frente a nosotros, seductor, convincente, pero básicamente remoto y enigmático.

Este seminario se llama *Determinismo y libertad*. Aquí hemos discutido las limitaciones a la certeza en mecánica clásica y cuántica. Aún no he utilizado el argumento más obvio para el indeterminismo, que es seguramente el principio, debido a Heisenberg, según el cual ciertos pares de variables no pueden medirse simultáneamente con absoluta precisión. Pero es que, de hecho, no lo necesitamos. Hemos llegado a la imposibilidad de medidas infinitamente precisas incluso en la mecánica clásica y para una sola variable. Pero el principio de incertidumbre añade aún un mínimo numérico para el producto de dos incertidumbres y produce por lo tanto un resultado cuantitativo adicional.

Leyendo el libro de Sydney Hook de 1958 (7), si uno se pregunta por los principales cambios ocurridos desde entonces, quizá se pueda decir lo siguiente: los fundamentos de la mecánica cuántica y el estudio de las paradojas que pueden formularse en relación con ella, que eran en 1958 una materia altamente especializada, a veces ignorada por los físicos profesionales que no la tomaban generalmente con seriedad, es ahora asunto de conferencias internacionales exclusivamente dedicadas a ello. Einstein puso en duda los fundamentos de la mecánica cuántica y, por tanto, también en *este* respecto estaba cincuenta años por delante de su época.

## 6. Relatividad y determinismo

Determinismo y libertad es nuestro problema. ¿Hay en alguna parte de la física moderna alguna indicación a favor del determinismo? Podemos mirar el continuo espacio-temporal de la teoría de la relatividad en la que la historia de todos los objetos se puede representar tetradsimensionalmente: el tiempo se representa en una coordenada, representando las otras tres dimensiones espaciales. La creación de una partícula en un instante y su desintegración en un tiempo posterior representan dos puntos en este diagrama. La historia de la partícula se indica por una curva que une estos dos puntos. La curva refleja los movimientos de la partícula, y su historia queda por lo tanto grabada en el diagrama. El diagrama es estático, cada punto representa donde y cuando se encuentra la partícula; la curva se llama la línea de universo. Los cuerpos extensos se representan por «tubos» de

universo. Cada objeto y cada persona tiene su propio «tubo» de universo. Ahí, ante nuestra abstracta mirada yace nuestra línea de universo, quizá completamente determinada, con todas nuestras futuras alegrías y pesares. Quizá vaya en este sentido lo que escribió Einstein con ocasión de la muerte de su amigo Michele Besso, poco antes también de su propia muerte (18): «Michele ha dejado este mundo extraño justo antes que yo. Esto no tiene importancia. Para nosotros, físicos convencidos, la distinción entre pasado, presente y futuro es una ilusión, si bien una ilusión persistente».

La existencia de un «tubo» de universo en un marco tetradsimensional estático no implica en sí misma determinismo. Muestra meramente que ocurren cosas concretas. Otra cuestión es si estos hechos están fijados por causas anteriores, o se producen por casualidad.

A primera vista, la posibilidad de libre albedrío parece aumentarse por el indeterminismo. Pero el indeterminismo permite hechos casuales. Si ellos influyen en los estados cerebrales de un agente, sus acciones, aunque parezcan debidas al libre albedrío, reflejarán también un elemento aleatorio en su cerebro, aunque él no se dé cuenta de ello ¿Es él realmente libre o está sometido a procesos aleatorios? La *misma* posibilidad se puede ver en un universo *determinista*, en el que las acciones individuales pueden ciertamente causar resultados definidos. Se trata entonces de la cuestión de si estas acciones están ellas mismas predeterminadas. ¿Es el agente tan libre como él se cree? De nuevo aquí se vislumbra la posibilidad de una posición intermedia. Mientras que el agente humano cree que es realmente libre, estudiosos de sus estados cerebrales pueden concluir que está trabajando bajo una concepción errónea y que sus acciones están, de hecho, predeterminadas. Un análisis adecuado de este asunto es más bien sutil. Depende de qué definición de libre albedrío entre las varias posibles se adopta; no podemos perseguir aquí este tópico (5) (12). Si bien la relatividad es una teoría determinista, sus rasgos deterministas se hacen más inciertos cuando se introduce el observador, como veremos a continuación.

Nuestro observador se sienta en su silla, y su línea de universo PQ se dirige hacia arriba (si dibujamos el tiempo hacia arriba). Por simplicidad no escribimos las coordenadas y ni z. Una señal lenta AO puede alcanzar al observador desde A. Es lenta, puesto que cubre la corta distancia AP en el tiempo PQ. Una señal más

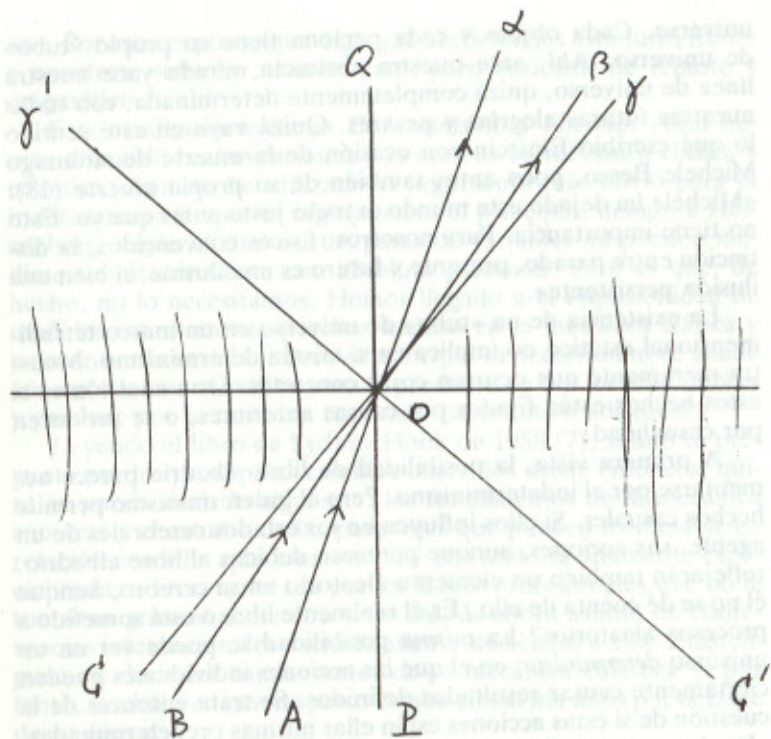


Diagrama espacio-temporal. OP define el cono de luz pasado para O, y OQ el cono de luz futuro. Las zonas sombreadas representan regiones de sucesos que no se encuentran ni en el futuro estricto de O ni en su pasado estricto.

rápida BO también puede alcanzarlo, y la señal más rápida, la luz, puede alcanzarlo desde C. Las señales desde puntos tales como D, E o F no pueden alcanzarlo, tendrían que viajar demasiado aprisa; el observador en O puede ser influenciado solamente por hechos que ocurran en su cono de luz pasado, OCPC'. Similarmente, él sólo puede influenciar hechos que ocurran en su cono de luz futuro, OY QY'. La región ensombrecida verticalmente se refiere a sucesos que no pueden interactuar con el observador en O. Por tanto, se ve fácilmente que, al transcurrir el tiempo y avanzar el observador de O a O', pueden influenciar al observador los hechos que ocurren en la región ensombrecida

horizontalmente. Esos nuevos hechos no estaban casualmente relacionados con el observador anteriormente, sugiriéndose por tanto la posibilidad de indeterminismo, puesto que ocurren siempre acontecimientos nuevos al avanzar el observador por su línea de universo.

Existe un punto de vista alternativo en la relatividad que sugiere determinismo (9) (10), pero no podemos discutirlo ahora. En todo caso, volveremos al final a la cuestión general.

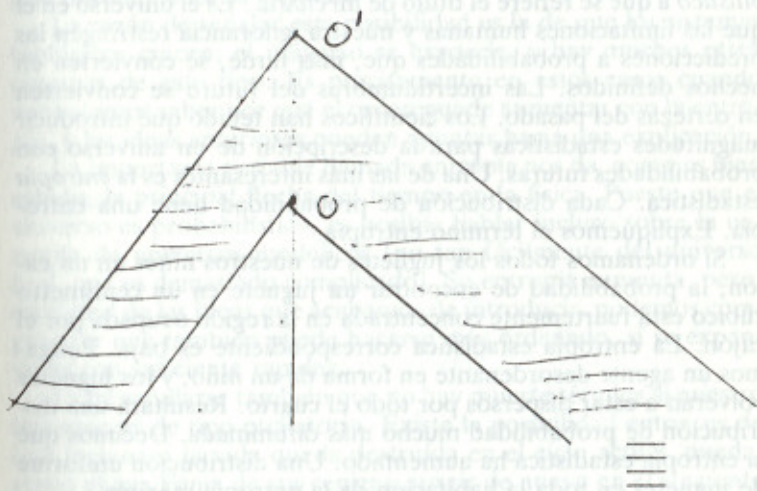


Diagrama espacio-temporal. Hechos nuevos de la región sombreada influyen a quien exista en O', pero todavía no cuando él esté en O.

### 7. La entropía

Existe una teoría según la cual el universo se descompone en diferentes universos en cada transición cuántica, de modo que la comunicación entre los diversos universos no es posible (la idea de Everett antes mencionada). Este punto de vista incorpora millones de universos actualmente existentes, los cuales cubren todas las ocurrencias concebibles. En algunos de ellos no ha ocurrido el reciente terremoto de Méjico, en otros la vida no existe (3). Esto lleva inmediatamente a la siguiente cuestión: ¿qué restricciones hay en las constantes básicas de la naturaleza que permitan desarrollarse la vida y aparecer una humanidad que estudie

el universo? La constante de Planck  $h$ , la velocidad de la luz  $c$ , etc., podrían tener diferentes valores en otros universos. Es interesante calcular estas restricciones, y esto se ha hecho en relación con el llamado «principio antrópico» (14). Para ahorrar tiempo prescindiré de estos posibles universos en la discusión, ya que ello nos cargaría con un inmenso y excesivo bagaje científico sin verificación experimental. Con esta exclusión, el universo aparece una sola vez. Está dado. ¿Qué es, entonces, el universo *probabilístico* a que se refiere el título de mi charla? Es el universo en el que las limitaciones humanas y nuestra ignorancia restringen las predicciones a probabilidades que, más tarde, se convierten en hechos definidos. Las incertidumbres del futuro se convierten en certezas del pasado. Los científicos han tenido que introducir magnitudes estadísticas para la descripción de un universo con probabilidades futuras. Una de las más interesantes es la *entropía* estadística. Cada distribución de probabilidad tiene una entropía. Explicemos el término entropía.

Si ordenamos todos los juguetes de nuestros niños en un cajón, la probabilidad de encontrar un juguete en un centímetro cúbico está fuertemente concentrada en la región ocupada por el cajón. La entropía estadística correspondiente es baja. Pongamos un agente desordenante en forma de un niño, y los juguetes volverán a estar dispersos por todo el cuarto. Resultará una distribución de probabilidad mucho más difuminada. Decimos que la entropía estadística ha aumentado. Una distribución uniforme de juguetes en toda la habitación da la entropía máxima.

Se puede definir el «desorden» como la entropía presente dividida por la entropía máxima alcanzable. Numéricamente está por tanto entre cero y uno. De manera que *normalmente* la entropía y el desorden aumentan a la vez, aunque formalmente hemos conseguido desenganchar los conceptos «desorden» y entropía. Podemos avanzar un paso más. Puesto que el «desorden» está comprendido entre cero y uno, se puede definir el «orden» por

$$\text{«orden»} + \text{«desorden»} = 1$$

El resultado habitual todavía es válido, es decir, la entropía y el «desorden» aumentan juntos.

¡Pero no tiene por qué ser siempre así! Supongamos que el cuarto está limpio y dejemos que el cajón de juguetes se disperse

por todo el cajón. La entropía entonces aumenta, pues los juguetes, aunque siguen en el cajón ocupan un espacio mayor. Supongamos además que la habitación se agrande más aprisa aún. Entonces la entropía máxima alcanzable aumenta más rápidamente que la entropía actual, de manera que el «desorden» disminuye. Hemos llegado a un resultado notable: la entropía aumenta, el «desorden» disminuye. En este caso, por lo tanto, la entropía y el «orden» aumentan a la vez (9) (10) (11), contrariamente a lo que normalmente se espera.

La razón de señalar esta posibilidad es la de que los sistemas biológicos crecen, el universo se expande, y hay muchos otros sistemas de este tipo. Es precisamente en estos casos cuando necesitamos saber por qué el orden puede aumentar con la entropía, y las ideas anteriores pueden apuntar hacia una explicación.

La importante variable llamada entropía nos da, como es bien sabido, la principal flecha del tiempo en la física. Puesto que el universo es probabilístico, es posible hablar incluso sobre la entropía de universos modélicos (no tan fácilmente del universo real, que es demasiado complicado). Su entropía aumenta, pero, en virtud de las ideas que acabamos de introducir, podemos comprender que también puede hacerse más ordenado, si se expande con suficiente rapidez.

Debe señalarse también que no hay muerte térmica si nuestro universo es de tipo oscilatorio. Existe la posibilidad entonces de que incluso si la vida queda destruida en el ciclo actual, pueda, como el ave Fénix de sus cenizas, surgir de nuevo en el siguiente ciclo. Las pinturas de Miguel Angel en la Capilla Sixtina adquieren entonces una nueva interpretación; pueden aplicarse al futuro: indican el comienzo del ciclo siguiente.

## 8. Conclusión

Los cometidos científicos no pueden, en mi opinión, proporcionar respuestas definitivas al problema del determinismo. ¿Podrá hacerse en el futuro? Creo que incluso muchos cerebros humanos puestos a trabajar juntos son una herramienta demasiado débil para elucidar los entresijos del cerebro humano en detalle. Se harán grandes avances aquí y allá, pero la cuestión básica del determinismo no será respondida por la ciencia. Hay quien es más optimista. Quien cree que la ciencia está a punto de responder a cuestiones tales como: ¿Qué es la materia, qué es la vida, qué es la mente? (3). Pero a mí me parece en principio imposible.

Los métodos científicos no se prestan ellos mismos a estas tareas, que conducirían a las verdades últimas. Estas no son para los hombres, sino sólo para Dios.

El orden de marcha de los científicos se realiza desde el efecto hasta su causa, o de la causa al efecto; pero no es adecuado para el estudio de las causas primeras. Una causa primera es una categoría de pensamiento que no existe en la ciencia. Las cadenas causales son largas y se pierden a la vista de los diligentes científicos en una nebulosa de incertidumbre, en el ocaso de la duda. La ciencia tiene que callarse sobre las cuestiones últimas como el origen del universo, la existencia de Dios, la estructura de los constituyentes últimos de la materia. Aquí sólo nos sirve de guía la fe. Y esto quiere decir que uno ha llegado al final, según las convicciones y las preferencias emocionales de cada individuo.

#### Referencias

1. M. Born, «Continuity, determinism and reality», Kgl. Danske Videnskab, Selskab, 30 N.º 2 (1955).
2. «Colston Research Society» (Londres, Butterworths, 1957), 9, págs. 139-147.
3. P. Davies, *God and the Physicists* (Nueva York: Simon and Schuster, 1983).
4. B. D'Espagnet, *Conceptual Foundations of Quantum Mechanics*, 2ª ed. (Reading, Mass: Benjamin, 1976).
5. D.A. Evans and P.T. Landsberg, «Freewill in a mechanistic Universe?» en *An extension Brit. J. Phil. Sci.* 23 239 (1972).
6. J. Frod, «How random is a Coin Toss?», «Physics Today», 36 N.º 4 (1983).
7. S. Hook, (Ed.), *Determinism and Freedom in the Age of Modern Science* (Nueva York: New York Univ. Press, 1958).
8. P.T. Landsberg, «On heterological paradoxes», «Mind», 62, 374 (1953).
9. P.T. Landsberg, «Time in statistical physics and reactivity», «Stadium Generale», 23, 1108 (1970); reimpresso en *The Study of Time* (J.T. Fraser, F.C. Haber, G.H. Müller, Ed.; Berlín: Springer, 1972, págs. 59-109), 13.
10. P.T. Landsberg, *Thermodynamics and Statistical Mechanics* (Oxford University Press, 1978), Apéndice I.

11. P.T. Landsberg, «Can Entropy and Order increase together?», «Phys. Lett», 102A, 171 (1984).
12. D.M. Mackay, *The Clocwork Image* (Inter-Varsity Press, 1974).
13. P. Mittelstaedt, *Philosophical Problems of Modern Physics* (Dordrecht, Reidal, 1976), pág. 109.
14. W.H. Press, «Man's Size in Terms of fundamental Constants», «Am. J. Phys.», 48 597 (1980).
15. I. Prigogine y I. Stengers, *Order out of Chaos* (New York: Bantam Books, 1984).
16. C.W. Rietdijk, «Special relativity and determinism», «Philosophy of Science», 43 598 (1976).
17. R. Shaw, «Strange attractor, chaotic behaviour and information flow», «Z. Naturf.», 36a 80 (1981).
18. P. Speziale (Ed.), *Albert Einstein-Michele Besso. Correspondance 1903-1955* (París: Hermann, 1972).
19. R. Thom, «A dynamic Theory of morphogenesis» en *Towards a Theoretical Biology I* (C.H. Waddington Ed. Edinburgh University Press, 1968), «The source of catastrophe theory».
20. G. Toraldo Di Francia, *The investigation of the Physical World* (Cambridge University Press, 1976), pág. 278.