

# ¿Determinismo, azar o probabilidad?\*

II

Mario E. Flores de la Cruz<sup>1</sup>

*La totalidad de los eventos está determinada por las leyes de la probabilidad; para un estado en el espacio corresponde una probabilidad.*

MAX BORN, 1954.

Imaginemos el primer momento en la creación del universo: el todo, y a la vez la nada se encontraban allí: luz, polvo, piedras cósmicas, planetas y galaxias comenzaron a representar sus papeles en un tiempo y un espacio. Las leyes de la naturaleza dormían aún, esperando que alguien las despertara de su sueño para conocerlas. Millones de años después el hombre surgía, y en su sed de conocimiento sobre los fenómenos que presenciaba, comenzaría a especular sobre las posibles respuestas. Conforme los siglos transcurrieron, los seres humanos se dieron cuenta que cada vez eran mayores las preguntas que las explicaciones que encontrarían. No quedaba más que empezar la tarea de teorización. Tiempo después, estas observaciones arrojaban interrogantes: ¿realmente son leyes las que rigen el Universo?, ¿quién las elaboró?, ¿el hombre forma parte de ellas? Y, si esto es así, ¿todas sus acciones están determinadas o hay un margen para el azar y libre albedrío? El científico no guardaría silencio al respecto y elaboraría un razonamiento más ambicioso: el puente de la medición y la probabilidad era el camino obligatorio para conocer todos los espacios de la naturaleza. Este ensayo es un intento por explicar el surgimiento de tales ideas y responder a la pregunta: ¿El universo está sujeto a leyes?, ¿es parte de la contingencia o es susceptible de cálculos entre un determinismo y el azar, ubicado en las fronteras de la probabilidad?

Desde el nacimiento del universo hasta nuestros días han pasado cerca de 20 000 millones de años. El hombre científico inició la especulación filosófica para conocer los orígenes y elementos constitutivos de la naturaleza; aire, tierra, agua y fuego fueron las respuestas iniciales. A éstas vinieron después conceptos más abstractos: el número y hasta el llamado *hapeyrón* serían parte de esa explicación, que, dicho sea de paso, tenía por meta ser lo más racional posible. El objetivo era sencillo, pero ambicioso a la vez: se necesitaba encontrar los principios universales, y un sinnúmero de ideas e imágenes sobre éstos intentaron responder por qué, cómo y para qué fue creado el mundo. A pesar de no contar con respuestas convincentes, las suposiciones de los primeros filósofos-científicos, si algo tenían claro, era que la naturaleza estaba dotada de una armonía interna y, lo que es más, que era una estructura organizada. Estas ideas fueron el primer



\* Segundo lugar al IV Premio al Estudiante Universitario "Francisco Díaz Covarrubias", categoría ensayo científico.

<sup>1</sup>Octavo semestre de la Facultad de Historia, Universidad Veracruzana.

eslabón en la cadena de investigaciones sobre el Universo, y, de hecho, forman la base de una actitud filosófica que dotó de sentido a las ciencias naturales. Seguramente, la pregunta lanzada a este respecto fue sobre la existencia de objetos independientes al observador. La disyuntiva fue: negar o afirmarla. Aquí encontramos el tan famoso problema de la objetividad de la ciencia. Si respondemos que así es, tal afirmación nos llevará al siguiente planteamiento: hay leyes naturales que se refieren a los objetos que existen en el mundo entero. Ese fue el camino a seguir durante varios siglos: el conocimiento sobre tales objetos permitiría de forma creciente llegar a una explicación sobre todo lo existente. El proceso requeriría del esfuerzo de un buen número de personajes, cuyas contribuciones permitieron ascender algunos peldaños en la escalera del conocimiento. La duda era: ¿cuán grande era ésta?

La tradición occidental tuvo un proceso peculiar en el proceso del conocimiento del mundo, y creemos que atender lo básico para comprender la pertinencia de conceptos como determinismo, azar y probabilidad. Retornando a las preguntas sobre la naturaleza del universo, el desarrollo del pensamiento heredaría una idea complementaria de la escolástica: existía un principio original de dicho universo, que con su dedo divino había escrito en la naturaleza los signos para comprenderlo. No nos interesa estudiar aquí la concepción medieval del conocimiento de la *Scientia*; lo que es interesante rescatar es que un ejército de alquimistas, astrólogos, mineros y médicos se dieron a la tarea de leer estos signos. Así, se conformó el hermetismo y, con él, la lectura de la naturaleza para entender los principios de ese "Autor del Universo". Si recordamos que la *Scientia*, la "buena ciencia" de la Alta Edad Media se basaba en el conocimiento demostrativo de los efectos a partir de las primeras causas, fueron entonces las nuevas ciencias inductivas las que partieron de expe-

rimentos para encontrar dichas causas y apoyar así las formulaciones de las hipótesis que previamente elaboraban sobre un fenómeno. No es raro que en este periodo se hiciera uso de análisis, pruebas, ensayos y diagnósticos para determinar la causa y el efecto de un objeto a conocer, como por ejemplo una enfermedad. Fue concretamente en el Renacimiento que dicho paradigma permitió hacer uso de pruebas y evidencias, pequeñas y precisas, para llegar a la comprensión de algo "grande", de algo "externo": la generalización, o la expresión de una ley de la naturaleza.

La metáfora del "Autor del Universo", como es lógico suponer, fue perdiendo peso a la luz del avance de la razón humana, pero el principio esencial no decayó, y ya que el conocimiento se escribía en ese gran libro del universo, científicos como Galileo buscaron comprender el lenguaje con que estaba escrito. Este lenguaje fue el de las matemáticas.



Los ejemplos astronómicos y geométricos demostraron que era posible llegar al descubrimiento de las verdades ocultas. La revolución científica asomaba su cabeza a través de obras como las de Bacon, Leibniz, Newton, Copérnico, Galileo, Kepler, Tycho Brahe, Torricelli y Boyle. Ellos fueron tan sólo algunos de los autores de estudios que hoy día siguen maravillando a los hombres de ciencia. Ante sus descubrimientos, era necesario encontrar los primeros principios, ya fuera de los cuerpos, movimiento, vacío, las formas sustanciales, el origen de las ideas, y, finalmente, la naturaleza del mundo y hasta del alma humana. Ya no existían límites: el hombre estaba en el umbral de la descripción del sistema físico. Las leyes de la naturaleza adquirieron una forma matemática explícita, y, así, la relación entre los conceptos de la teoría y los elementos de la realidad física permitían avanzar en el conocimiento del sistema al que pertenecían. De esta manera, para todo hecho o evento que ocurriese en la naturaleza fue posible establecerle una causa que lo producía. Si estas causas los provocaban con la misma regularidad, entonces era correcto hablar de una ley, la ley de la naturaleza que determinaba tal o cual acontecimiento: la caída de un rayo, el movimiento de los astros, la gravedad, la emisión de luz. Y ya que el mundo era reductible al conocimiento científico, la pregunta obligada era: ¿el hombre formaba parte de estas leyes universales?

## II

Las observaciones ante los fenómenos humanos no se hicieron esperar. Desde el siglo XVIII comenzó el alud de números impresos en relación con el hombre: tablas de natalidad y mortalidad registraron la llamada "distribución normal" de un pueblo: cuantificaciones relacionadas con los individuos que nacían, morían o a qué sexo pertenecían. En sus primeros momentos, filósofos y aritméticos políticos observaron los resultados arrojados por los recuentos masivos. No cabía duda: los nacimientos o defunciones mostraban una relación que no podía sino ser producto del mismo orden natural al que pertenecían los hechos físicos. La proporción entre los sexos dependía de ese orden que había sido determinado, y, por tanto, también existía una ley que era aplicable al hombre. Los actos humanos estaban determinados.



La observación fue más allá. Un siglo más tarde, gracias a las estadísticas, nuevos indicios hicieron su aparición: las tablas secuenciales arrojaban información sobre la regularidad con que se registraban crímenes o enfermedades. Indudablemente, estos eran fenómenos sociales, y ya no quedaba lugar a dudas: las regularidades eran una mera expresión de las leyes de la naturaleza a las que estaban supeditadas. Ello implicaba que en una población existía un "hombre tipo", pero, lejos de él, también se hacían presentes los "desviados de la norma": criminales, alcohólicos, prostitutas y mendigos eran parte de los designios de la naturaleza. El propósito era mejorar esta población, pero ¿cómo hacerlo si ya se había establecido en un plano superior? El orden universal ya lo había destinado así. Un buen número de Estados contaba con los índices de estas desviaciones, y no se dudaba ya que, si las desviaciones se presentaban, era porque las primeras causas así lo establecían. ¿Cómo

En el siglo XIX quedó demostrada la ondulatoriedad de la luz; poco más tarde, la interrelación entre electricidad y magnetismo fue descubierta; así, el carácter dual de la luz como onda y como partícula inspiró los trabajos en las partículas que seguirían ese patrón de comportamiento —los electrones y fotones, por ejemplo—. Más tarde, los experimentos demostraron que en estos elementos microscópicos era posible realizar secuencias de mediciones, aunque no arrojaban resultados continuos. Según los principios de la mecánica cuántica, toda descripción del mundo no es objetiva ni determinista —la negación en la respuesta al problema de la objetividad en la ciencia al que aludíamos líneas arriba—. De acuerdo con estos principios, si se conoce la posición de un electrón con exactitud se desconocerá su posición, o viceversa: si el momento es conocido, la posición resultará completamente desconocida. La teoría cuántica juega un poco con los conceptos de espacio y tiempo, pero añade una solución peculiar a este problema: la medición es de gran ayuda al científico. Dada una gran cantidad de mediciones, será posible calcular la probabilidad de encontrar un electrón en determinada posición, de acuerdo con un momento específico. No señala la posición exacta, mas si la probabilidad de hallarlo en ésta.



Fragmentos de la obra de Kandinski

Si consideramos que las partículas y las regiones internas de los átomos —como los quarks y los gluones— son parte de estructuras más complejas y, por ende, de los fenómenos universales, estas partículas forman parte de las propiedades de la naturaleza. Debemos indicar que como elementos dinámicos, su estudio requiere la existencia de un marco de leyes probabilísticas, en las que su comportamiento sea susceptible de representación. Ese marco lo proporciona la mecánica cuántica. Curiosamente, el sueño laplaciano del sometimiento de los fenómenos de la naturaleza a las leyes universales, enunciado tiempo atrás, se convertía en una quimera. En su lugar, quedaba establecida la nueva cuántica: la totalidad de los eventos está determinada por las leyes de la probabilidad, de las que para un estado en el espacio corresponde una de estas probabilidades. ¿Implica este principio que nuestro conocimiento sobre el mundo es probabilístico? La respuesta parece ser un rotundo sí.

Este no es espacio para reseñar la historia de los descubrimientos de la mecánica cuántica. Fascinante es entrar en su estudio, y para ello no queda otro camino que descubrirlo por cuenta propia. Quisiera únicamente señalar que los físicos hicieron aplicaciones de su teoría a los fenómenos naturales; así, se desprendió la teoría de los sólidos, líquidos y gases. Las investigaciones llegaron a inundar campos como la electrodinámica y crearon la teoría nuclear, la teoría de conducción eléctrica en los semiconductores y la química moderna, así como la descripción de procesos orgánicos y de combustión<sup>1</sup>. Concebida de esta manera, la mecánica cuántica, como se puede observar, ha tenido una gran influencia en nuestra concepción de la naturaleza, y de sus propias leyes, si es que éstas

<sup>1</sup> Su alcance ha ido más allá del mundo natural y ha llegado a campos que prácticamente han cambiado la sociedad en que vivimos: cibernética, biología molecular, química cuántica, biología genética, biotecnología, etc., son sólo algunas de las áreas que se han desarrollado en las últimas décadas.

enfrentar esos designios entonces?, ¿controlando a la sociedad o resignándose a un determinismo?

En este momento quisiera hacer un señalamiento que puede ser muy instructivo. El comportamiento de una sociedad es completamente diferente al de los átomos o moléculas del mundo físico. En el esquema de clasificación que hemos referido, sin duda parecerá evidente el esfuerzo por reconocer a una población como típica o atípica. Es obvio que lo atípico se ligaba al concepto de lo anormal o lo patológico, por lo que cualquier individuo se sentiría más replegado a inclinarse a las fronteras de la normalidad. La solución a este problema viene a continuación: las *leyes* de la naturaleza se refieren a sistemas físicos, no al comportamiento humano; fue la idea contraria la que provocó una serie de actitudes en el siglo XIX respecto a la sociedad que, en el mejor de los casos, se tradujo en la susceptibilidad de control y perfeccionamiento. La eugenesia, por ejemplo, fue tan sólo una de las disciplinas que respondió a las necesidades planteadas en tal contexto.

Sin embargo, una nueva revolución estaba afectando también los principios de la ciencia natural. La mecánica clásica, se había establecido firmemente en el siglo XVII. Para el siglo XIX, es lógico suponer que llegó a considerársele una teoría que explicaba todos los fenómenos naturales. No se dudaba de eso hasta finales de dicho periodo. La física decimonónica describía el mundo externo a escalas macroscópicas —aquel mundo que podía verse—. El científico clásico encontraba, medía y consideraba al mundo tal como era. De acuerdo con sus preceptos, la posición y el movimiento —por citar un ejemplo— eran perfectamente determinados, debido en gran parte al sistema de medición que se empleaba. La cuestión a discutir aquí era hasta qué punto esta era correcta. Si en toda medición existía un margen de error, había



fenómenos que escapaban a su precisión. Los elementos microscópicos, entonces, eran los que no se encontraban sujetos a la determinación de la mecánica clásica. Fue este punto el que comenzó a resquebrajar el determinismo clásico. Ante este problema, surgían dos preguntas imperativas: ¿la incapacidad del hombre en la medición natural implicaba la ausencia de un determinismo?, y ¿esta ausencia condenaba entonces a la propia ciencia a un mundo donde el caos y la contingencia reinaban?

### III

Si en un pasado el azar fue mirado con desprecio, a partir de los inicios del siglo XX fue visto de manera diferente. Dado que cala sobre éste el estigma de lo irracional y la carencia de un orden, no es difícil entender por qué la erosión del determinismo clásico era vista con un gran escepticismo. La discontinuidad en la medición es lo que realmente llevó a pensar a diversos investigadores si el mundo en que habitamos no dependía de algún orden. Algunos de ellos anunciaron al azar como la más absoluta de las percepciones intelectuales. Otros, más moderados, trataron de estudiar los fenómenos susceptibles de medición, es decir, los sistemas experimentales, para interpretar la naturaleza de la realidad física. La mecánica cuántica había surgido entonces para describir ese mundo microscópico.

existen. Aquí es donde las probabilidades parecen ayudarnos a conocer nuestro universo.

## IV

La pregunta: ¿existen leyes del azar?, que parecía surgir frente a la caída del determinismo, fue respondida por los planteamientos de la mecánica cuántica. Son leyes probabilísticas las que determinan nuestro conocimiento de los elementos constitutivos del universo. El azar ha sido asociado a los fenómenos que no tienen ley, fenómenos cuyas causas son en extremo complejas para nuestro entendimiento y, por otra parte, gracias a las discusiones de la mecánica cuántica que individuos como Heisenberg y Bóhr defendían frente a hombres de la talla de Einstein, Podolsky o Rosen, se llegó a ver a la probabilidad como algo objetivo, frente a una física objetivamente indeterminista. Para fortuna nuestra, los matemáticos, desde la época de Pascal, Galileo, Huygens y otros pensadores, establecieron el cálculo de probabilidades, cuya función principal es deducir fenómenos complejos en función de probabilidades conocidas de fenómenos más sencillos. En un inicio, esta actividad surgió como respuesta a los problemas planteados por los juegos de azar, y, si bien en un principio se dieron soluciones a las que se llegaba a través de razonamientos de simetría, combinación o permutación de los mecanismos a computar, conforme este pensamiento se desarrolló elaboró situaciones más complejas de análisis.

Con el correr de los años, la probabilidad iría más allá y encontraría aplicación a problemas prácticos, como el cálculo de rentas vitalicias y loterías. Estas operaciones se enriquecerían al por mayor al nutrirse con los datos que la estadística hizo posible conocer.

Gracias a esa cuantificación, se pudo analizar y calcular las probabilidades de eventos dentro de una serie numérica, en la que el único evento determinado es la existencia de una frecuencia media. La *Ley de los grandes números* de Poisson se convirtió así en un legado que la mecánica cuántica adoptó para hacer comprensibles las "leyes naturales".

Quizás éste no sea el lugar más pertinente para señalarlo, pero creemos necesario indicar que la probabilidad se descompone en dos aspectos: la tendencia a producir frecuencias, y el epistemológico. Toda vez que se ha obtenido un número importante de mediciones sobre fenómenos, es posible encontrar una correlación entre sus datos que nos lleva a realizar predicciones sobre la aparición de eventos en razón de la frecuencia registrada. Estas predicciones, invariablemente, supondrán grados de certeza en el conocimiento de ese fenómeno. Ahora, apliquemos estos planteamientos al mundo físico, al compuesto por moléculas, átomos y partículas elementales, y entenderemos el mecanismo que hace girar los engranes de la teoría de la probabilidad en relación con la comprensión de nuestro universo.

Parece ser que las probabilidades pueden proporcionar la explicación a las leyes cuánticas del universo. Y ya que señalábamos líneas arriba el cambio de paradigma que ha surgido con la mecánica cuántica en cuanto a nuestra percepción de una naturaleza indeterminista, justo es señalar que, en relación con el hombre, el cálculo de probabilidades está presente en todos los niveles de su existencia, y ha seducido también al cálculo de eventos vinculados a él. Nuestra vida misma depende de las probabilidades: la posibilidad de salir a la calle y ser sorprendido por una lluvia, una nevada o hasta por un malhechor. Encontrar a algún conocido en un parque, un centro comercial o como compañero en un viaje. Probabilidad de contagiarnos de alguna enfermedad, sufrir un accidente o comprar un billete de lotería y resultar ser el afortunado ganador. Tal vez no seamos conscientes de que la mayor parte de los fenómenos que nos rodean forman parte de ese mundo del azar, y que la probabilidad es tan sólo la expresión de ese universo, sea cuántico o social, hablando groseramente, si se me permite. Tal vez dentro de toda esta contingencia efectivamente exista un orden muy claro; puede ser que la probabilidad sea la regla que asegure nuestro conocimiento del universo, o, viendo a futuro, podemos encontrar también una teoría que dote de sentido a todas nuestras interrogantes, pues en este mundo de azar y probabilidad todo es posible.