

La Mente de Dios

La Base Científica Para Un Mundo Racional¹

Por Paul Davies

Traducción de Alejandro Daniel Bokser Scacchi 2003

*Para Carolina, en reconocimiento a
tu propia búsqueda de la verdad²*

¹ *The Mind of God: The scientific basis for a rational World* by Paul Davies (Simon & Shuster NY 1992 ISBN 0-671-68787-5

² Reconocimiento original de Paul Davies

Si descubrimos una teoría completa, esta sería con el tiempo en un principio amplio entendible por todos, no sólo por unos poco científicos. Luego todos, filósofos, científicos, y gente común, seríamos capaces de tomar parte de la discusión de porqué nosotros y el universo existimos. Si hallásemos la respuesta a esto, sería el último triunfo de la razón humana – para entonces conoceríamos realmente la mente de Dios.³

Stephen Hawking

Frase final de *Una Breve Historia del Tiempo*

Nosotros somos la encarnación local del Cosmos, que ha crecido hasta tener conciencia de sí. Hemos empezado a contemplar nuestros orígenes: sustancia estelar que medita sobre las estrellas; conjuntos organizados de decenas de miles de billones de billones de átomos que consideran la evolución de los átomos y rastrean el largo camino a través del cual llegó a surgir la conciencia, por lo menos aquí. Nosotros hablamos en nombre de la Tierra. Debemos nuestra obligación de sobrevivir no sólo a nosotros sino también a este Cosmos, antiguo y vasto, del cual procedemos.⁴

Carl Sagan

1934 - 1996

³ En el original de Paul Davies

⁴ Insertado por el A.B.

Tabla de Contenidos

PREFACIO	6
CAPÍTULO 1 – RAZÓN Y CREENCIA	9
El Milagro Científico.....	9
Razonamiento Humano y Sentido Común.....	10
Pensamientos Sobre los Pensamientos	12
Un Mundo Racional.....	14
Metafísica: ¿Quién la Necesita?	16
Tiempo y Eternidad: La Paradoja Fundamental de la Existencia	17
CAPÍTULO 2 - ¿PUEDE EL UNIVERSO CREARSE A SI MISMO?	21
¿Hubo un Evento de Creación?.....	21
Creación a Partir de la Nada	27
El Comienzo del Tiempo.....	27
Visitando Nuevamente el Mundo Cíclico.....	30
Creación Continua	33
¿Causó Dios el Big Bang?	34
Creación sin Creación	36
Universos Madre e Hijo.....	42
CAPÍTULO 3 - ¿QUÉ SON LAS LEYES DE LA NATURALEZA?.....	45
El Origen de las Leyes	45
El Código Cósmico	50
El Estado de las Leyes Hoy.....	51
¿Qué Significa que Algo “Existe”?	53
En el Principio	54
CAPÍTULO 4- MATEMÁTICA Y REALIDAD.....	58
Números Mágicos	58
Mecanizando la Matemática	61

Lo No Computable	64
¿Por qué Funciona la Aritmética?.....	66
Muñecas Rusas y Vida Artificial	68
CAPÍTULO 5 - MUNDOS REALES Y MUNDOS VIRTUALES.....	72
Realidad Simulada	72
¿Es el Universo una Computadora?	75
Lo inalcanzable.....	77
Lo incognoscible.....	78
El Programa Cósmico	82
CAPÍTULO 6 - EL SECRETO MATEMÁTICO	85
¿Está la Matemática Ya “Ahí Afuera”?	85
La Computadora Cósmica.....	89
¿Por qué Nosotros?.....	90
¿Por qué las Leyes de la Naturaleza son Matemáticas?.....	91
¿Cómo Podemos Saber Algo sin Saberlo Todo?.....	96
CAPÍTULO 7 - ¿POR QUÉ EL MUNDO ES DE LA FORMA QUE ES?.....	98
Un universo inteligible.....	98
¿Una única teoría para todo?.....	100
Orden Contingente.....	102
¿El mejor de todos los mundos posibles?.....	104
La belleza como guía hacia la verdad.....	106
¿Es Dios Necesario?.....	107
Un Dios Bipolar y la Nube de Wheeler	109
¿Tiene Dios que Existir?	111
Las Opciones.....	113
Un Dios que Juega a los Dados.....	114
Resumen del capítulo	116
¿Porqué el mundo es de la forma que es?	116
Un universo inteligible.....	116
¿Una única teoría para todo?	116
Orden Contingente	117

¿El mejor de todos los mundos posibles?	117
La belleza como guía hacia la verdad	118
¿Es Dios Necesario?	118
Un Dios Bipolar y la Nube de Wheeler	119
¿Tiene Dios que existir?	120
Las Opciones	120
Un Dios que Juega a los Dados	120
CAPÍTULO 8 - EL DISEÑADOR DEL UNIVERSO.....	122
La Unidad del Universo	122
La Vida Es Muy Difícil	124
¿Ha Sido el Universo Diseñado por un Creador Inteligente?	125
La Ingeniosidad de la Naturaleza	128
Un Lugar para Todo y Todo en Su Lugar	130
¿Hay Necesidad de un Diseñador?	133
Realidades Múltiples.....	135
Darwinismo Cosmológico	138
CAPÍTULO 9 - EL MISTERIO AL FINAL DEL UNIVERSO.....	140
El Poder de la Tortuga	140
Conocimiento Místico	142
El Infinito	144
¿Qué es el Hombre?	145
BIBLIOGRAFÍA SELECCIONADA	146

Prefacio

CUANDO ERA UN NIÑO solía enfurecer a mis padres preguntando continuamente ¿Por qué? ¿Por qué no puedo ir afuera a jugar? Porque va a llover. ¿Por qué va a llover? Porque está pronosticado. ¿Por qué está pronosticado? Porque hay tormentas viendiendo desde Francia. ¿Por qué...? Y así siguiendo. Este implacable interrogatorio normalmente terminaba con un desesperado “¡Porque Dios hizo las cosas de ese modo, y eso es todo!” Mi descubrimiento de niñez (debido más al aburrimiento que a la agudeza filosófica) que la explicación de un hecho o circunstancia requería a su vez una explicación, y esta cadena podría continuar indefinidamente, me ha perturbado desde entonces. ¿Puede la cadena de explicaciones realmente terminar en algún lugar, con Dios quizás, o con alguna súper ley de la naturaleza? Si así fuese, ¿Cómo escapa esa explicación suprema a la necesidad de ser explicada? En breve, ¿puede “eso” siempre ser “eso”?

Cuando fui un estudiante universitario descubrí en la ciencia la habilidad de proveer tales respuestas imponentes a nuestras preguntas sobre el mundo. El poder de la ciencia para explicar cosas es tan deslumbrante que encontré fácil de creer que, dados los recursos, todos los secretos del universo podrían ser revelados. Sin embargo la preocupación de “¿Por qué, por qué, por qué...?” retornó. ¿Qué yace al fondo de todo este magnífico esquema explicativo? ¿Qué es lo que sostiene todo? ¿Hay un último nivel, y si así fuera, de donde viene? ¿Puede uno estar satisfecho con una explicación “esto es así”?

En los últimos años comencé a investigar temas tales como el origen del universo, la naturaleza del tiempo y la unificación de las leyes de la física, y me encontré a mi mismo atravesando un territorio que por siglos había sido una provincia casi exclusiva de la religión. Sin embargo aquí estaba la ciencia proveyendo respuestas a aquello que había sido un oscuro misterio, o bien descubriendo que el mismo concepto del cual esos misterios sacaban su poder era realmente sin sentido o aún erróneo. Mi libro *Dios y la Nueva Física*⁵ fue el primer esfuerzo de enfrentar esas ideologías. *La Mente de Dios*⁶ es un intento más estudiado.

Desde la publicación de mi primer libro, muchas nuevas ideas han emergido a la vanguardia de la física fundamental: la teoría de las súper cuerdas y otras aproximaciones a las así llamadas Teorías de Todo, la cosmología cuántica como un medio de explicar como el universo puede aparecer de la nada, el trabajo de Stephen Hawking sobre “tiempo imaginario” y las condiciones cosmológicas iniciales, la teoría del caos y el concepto de sistemas auto organizativos, y los avances en la teoría de la computación y complejidad. Adicionalmente, ha habido un enorme resurgimiento del interés en lo que podría crudamente describirse como la interfase ciencia-religión. Esto ha tomado dos formas distintas. Primero, un diálogo muy incrementado entre científicos, filósofos y teólogos sobre el concepto de la creación y temas relacionados. Segundo una moda creciente del pensamiento místico y la filosofía oriental, la cual, algunos comentaristas han aseverado que tiene un contacto profundo y significativo con la física fundamental.

Quisiera dejar clara mi postura desde el comienzo. Como un científico profesional, estoy totalmente comprometido con el método de investigación científica. Creo que la ciencia es un procedimiento inmensamente poderoso para ayudarnos a entender el complejo universo en el cual vivimos. La historia ha mostrado que sus éxitos son extraordinarios y que raramente transcurre una semana sin que se haya hecho algún nuevo progreso. No obstante, la atracción del método científico va más allá de su enorme poder y alcance. Está también su honestidad incondicional. Se requiere que cada nuevo descubrimiento, cada teoría, pase pruebas rigurosas antes que sea aceptado por la comunidad científica. Por supuesto, en la práctica, los científicos no siempre siguen las estrategias establecidas. A veces los datos son confusos y ambiguos. A veces científicos influyentes sostienen teorías dudosas, mucho tiempo después de haber sido desacreditadas. Ocasionalmente los científicos engañan, pero esas son aberraciones. Generalmente la ciencia nos conduce en el sentido del conocimiento confiable.

⁵ *God and the New Physics* by Paul Davies (Touchstone Press, 10/1/1984, ISBN: 0671528068)

⁶ *The Mind of God: The scientific basis for a rational World* by Paul Davies (Simon & Shuster NY 1992)

He querido siempre creer que la ciencia puede explicarlo todo, al menos en principio. Muchos no científicos negarían tal afirmación resueltamente. Muchas religiones exigen creer en al menos algún evento sobrenatural, los cuales son por definición imposibles de reconciliar con la ciencia. Yo prefiero personalmente no creer en eventos sobrenaturales. Aunque obviamente no puedo probar que ellos nunca pasen, no veo razón para suponer que sí ocurren. Mi inclinación es asumir que las leyes de la naturaleza son obedecidas siempre. Pero aún si uno deja de lado los eventos sobrenaturales, no está claro que la ciencia pueda en principio explicarlo todo en el universo físico. Permanece aquel viejo problema sobre el fin de la cadena de explicaciones. No importa cuan exitosas nuestras explicaciones científicas puedan ser, siempre parten de ciertas suposiciones iniciales que se asumen. Por ejemplo, una explicación de algún fenómeno en términos físicos, presupone la validez de las leyes de la física, que son tomadas como dadas. Pero uno podría preguntarse de donde vinieron esas leyes en primer lugar. Uno podría aún cuestionarse el origen de la lógica sobre la que todo el razonamiento científico está fundado. Tarde o temprano tendremos que aceptar algo como dado, sea Dios, la lógica, o un conjunto de leyes, u otro cimiento para la existencia. Por lo tanto las preguntas "últimas" siempre yacerán más allá del alcance de la ciencia empírica tal como ésta es usualmente definida. ¿Entonces significa eso que las preguntas realmente profundas de la existencia no tienen respuesta? He notado al recorrer cuidadosamente la lista de mis títulos de los capítulos y secciones, que una terrible cantidad de ellos son preguntas. En principio pensé que era una ineptitud estilística, pero ahora me doy cuenta que eso refleja mi creencia intuitiva que es probablemente imposible para el pobre viejo *Homo Sapiens* "llegar al fondo de todo." Probablemente deberá haber siempre algún "misterio al final del universo." Pero parece valer la pena seguir el camino de la investigación racional hasta su límite. Aún una prueba de que la cadena de inferencias no puede ser completada es un conocimiento valedero. Como veremos, algo de esto ha sido demostrado en matemática.

Muchos científicos son también religiosos. Siguiendo la publicación de *Dios y la Nueva Física* quedé sorprendido al descubrir cuantos de mis colegas científicos cercanos practicaban una religión convencional. En algunos casos se las arreglaban para mantener estos dos aspectos de sus vidas separados, como si la ciencia rigiera seis días a la semana y la religión los domingos. Algunos pocos científicos, no obstante, hacen arduos y sinceros esfuerzos para armonizar la ciencia y su religión. Usualmente esto supone tener un punto de vista muy liberal de la doctrina religiosa por un lado, y por otro imbuir al mundo de los fenómenos físicos con un significado que muchos de sus compañeros científicos encuentran poco atractivo.

Entre esos científicos que no son religiosos de un modo convencional, muchos confiesan tener un sentimiento vago de que hay "algo" más allá de la realidad superficial de la experiencia cotidiana, algún significado detrás de la existencia. Aún entre los ateístas más duros hay lo que ha sido llamado un sentido de reverencia por la naturaleza, una fascinación y respeto por su profundidad, belleza y utilidad, que es parecido a un respeto religioso. Realmente los científicos son personas muy emocionales en estos temas. No hay equivocación más grande sobre los científicos que la difundida creencia que son individuos fríos, duros y sin alma.

Pertenezco al grupo de científicos que no suscribe a alguna religión convencional, pero no obstante niega que el universo sea un accidente sin propósito. A través de mi trabajo científico he llegado a creer más y más fuertemente que el universo ha sido ensamblado con un ingenio tan asombroso que no puedo aceptar que es meramente un hecho bruto. Debe haber, me parece, un nivel más profundo de explicación. Si uno quiere llamar a ese nivel más profundo "Dios" es una cuestión de gusto o y definición. Más aún, he llegado al punto de vista que la mente, el conocimiento consciente del mundo no es un accidente sin sentido de la naturaleza, sino una faceta absolutamente fundamental de la realidad. Esto no quiere decir que nosotros seamos el propósito por el cual el universo existe. Lejos de mí. Creo, no obstante, que nosotros, seres humanos estamos construidos dentro del esquema de las cosas de una manera muy básica.

En lo que sigue intentaré de mostrar las razones de estas creencias. Examinaré también algunas de las teorías y creencias de otros científicos y teólogos, los cuales no todos concuerdan con migo. Muchas de las discusiones involucran nuevos avances en la frontera de la ciencia, algunos de los cuales han conducido a ideas interesantes y excitantes a cerca de Dios, la creación, y la naturaleza de la realidad. Este libro, no obstante, no intenta ser un relevamiento exhaustivo de la interfase ciencia-religión, sino más una búsqueda personal para el entendimiento. Este libro está orientado al lector general, por lo tanto he tratado de mantener los aspectos técnicos al mínimo. No son necesarios conocimientos previos

de matemática o física. Algunas secciones, especialmente el capítulo 7, incluyen argumentos filosóficos más bien complicados, pero el lector puede pasar por alto esas secciones sin serios problemas.

Tanta gente me ha ayudado en esta búsqueda, que es imposible reconocer a todos personalmente. He aprendido mucho en las conversaciones de café con mis colegas de las universidades de Newcastle, Tyne y Adelaida. He recibido también fascinantes introspecciones de mis conversaciones con John Barrett, John Barrow, Bernard Carr, Philip Davies, George Ellis, David Hooton, Chrislsham, John Leslie, Walter Mayerstein, Duncan Steel, Arthur Peacocke, Roger Penrose, Martin Rees, Russell Stannard, y Bill Stoeger, y he sido inspirado escuchando las lecturas de muchos otros. Adicionalmente Graham Nerlich y Keith Ward amablemente me proveyeron comentarios detallados y muy valiosos de ciertas partes del manuscrito.

Finalmente, quisiera comentar algunos aspectos de terminología. Cuando trato sobre Dios es a menudo imposible evitar alguna clase de pronombre personal. Adhiero a la convención usual de usar “Él.” Esto no debería ser tomado como que implica que creo en un Dios masculino, aún en la noción de Dios como una persona en un sentido simple. Similarmente el uso de la palabra “Hombre” en la última sección se refiere a la especie Homo Sapiens, no a la persona masculina. Cuando trato números grandes y pequeños, uso la notación normal de potencias de diez. Por lo tanto 10^{20} , por ejemplo, significa “un uno seguido de veinte ceros,” mientras que 10^{-20} significa $1/0^{20}$. •

Capítulo 1 – Razón y Creencia

Los SERES HUMANOS tienen toda clase de creencias. La forma en la que arriban a ellas varía desde argumentos razonados a la fe ciega. Algunas creencias están basadas en experiencias personales, otras en la educación, y otras en el adoctrinamiento. Muchas creencias son sin duda innatas: nacemos con ellas como resultado de factores evolutivos. Sentimos que podemos justificar algunas creencias, otras las mantenemos por cuestión de “tripas.”

Obviamente muchas de nuestras creencias están equivocadas, o porque son incoherentes, o porque entran en conflicto con otras creencias o con los hechos. Dos mil quinientos años atrás en la antigua Grecia, fue hecho el primer intento sistemático para establecer alguna clase de fundamentos comunes para las creencias. Los filósofos griegos buscaron un medio de formalizar el razonamiento humano proveyendo reglas de deducción lógica incuestionables. Adhiriéndose a procedimientos acordados de argumentos racionales, estos filósofos esperaron remover la confusión, los malos entendidos y las disputas que caracterizan los asuntos humanos. El mayor objetivo de este esquema era arribar a un conjunto de suposiciones, o axiomas, los cuales cualquier hombre o mujer razonables aceptaría, y a partir del cual la resolución de todos los conflictos podría encararse.

Tiene que ser dicho que este objetivo nunca fue logrado, aún si fuera posible. El mundo moderno, hoy más que nunca, está plagado de una gran diversidad de creencias muchas de ellas excéntricas o aún peligrosas, y los argumentos racionales son considerados por mucha gente como una sofisticación sin sentido. Sólo la ciencia, y especialmente la matemática, han sostenido los ideales de los filósofos griegos (y la filosofía misma, por supuesto).

Cuando se llega a tratar los temas realmente profundos de la existencia, como el origen y significado del universo, el lugar del ser humano en el mundo, y la estructura y organización de la naturaleza, hay una fuerte tentación de retroceder a las creencias no razonadas. Aún los científicos no son inmunes a esto. Sin embargo hay una larga y respetable historia de confrontar tales temas por medio de un análisis racional y desapasionado. ¿Cuán lejos pueden llevarnos los argumentos desapasionados? ¿Podemos realmente esperar responder las últimas preguntas de la existencia a través de la ciencia y la búsqueda científica y racional, o siempre encontraremos algún misterio impenetrable en alguna etapa? ¿Y qué es la racionalidad humana?

El Milagro Científico

A través de las épocas todas las culturas han exaltado la belleza, majestad, e ingenio del universo físico. Es sólo la cultura científica moderna, no obstante, la que ha hecho un intento sistemático de estudiar la naturaleza del universo y nuestro lugar dentro de él. El éxito del método científico en descifrar los secretos de la naturaleza es tan sorprendente que puede impedirnos ver el mayor milagro científico de todos: *la ciencia funciona*. Los científicos mismos dan por sentado que vivimos en un mundo racional, un cosmos ordenado sujeto a leyes precisas que pueden ser descubiertas por el razonamiento humano. El que esto pudiera ser así permanece como un sugestivo misterio. ¿Por qué el ser humano tiene la habilidad de descubrir y entender los principios sobre los cuales el universo funciona?

En los años recientes más y más filósofos han comenzado a estudiar este enigma. ¿Es nuestro éxito al explicar el mundo usando la ciencia y la matemática sólo un golpe de suerte, o es inevitable que los organismos biológicos que han emergido del orden cósmico puedan reflejar ese orden en sus capacidades cognoscitivas? ¿Es el espectacular progreso de nuestra ciencia sólo un accidente incidental de la historia, o señala esto una resonancia profunda y significativa entre la mente humana y la organización subyacente del mundo natural?

Cuatrocientos años atrás la ciencia entró en conflicto con la religión porque parecía amenazar el cómodo lugar de la humanidad con un cosmos teleológico diseñado por Dios. La revolución que comenzó con Copérnico y terminó con Darwin, tuvo el efecto de marginar y aún trivializar los seres humanos. La gente no estaba ya en el centro del gran esquema, sino que fue relegada a un rol incidental y aparentemente sin sentido en un drama cósmico indiferente, como extras no identificados que habían tropezado accidentalmente en un basto estudio de filmación. Esta ética existencialista de que no hay significado en la vida humana más allá que el que los humanos mismos habían puesto en

ella, se tornó el leitmotiv de la ciencia. Es por esta razón que la gente ordinaria ve a la ciencia como amenazadora y degradante: los ha enajenado del universo en donde vivían.

En los capítulos que siguen presentaré una visión completamente diferente de la ciencia. Lejos de exponer a los seres humanos como el producto incidental de ciegas fuerzas físicas, la ciencia sugiere que la existencia de los organismos conscientes es una característica *fundamental* del universo. Hemos sido inscriptos en las leyes de la naturaleza de una forma profunda, y yo creo, significativa. No considero a la ciencia como una actividad alienante. Lejos de ello. La ciencia es una búsqueda noble y enriquecedora que nos ayuda a encontrar el sentido del mundo de una forma objetiva y metódica. No niega un significado detrás de la existencia. Por lo contrario. Como he enfatizado, el hecho que la ciencia funcione, y lo haga tal bien, señala algo profundamente significativo sobre la organización del cosmos. Cualquier intento de entender la naturaleza de la realidad y el lugar del ser humano en el universo debe preceder de una profunda base científica. La ciencia no es, por supuesto, el único esquema de pensamiento que llama nuestra atención. La religión florece aún en nuestra así llamada era científica. Pero como Einstein una vez señalara, religión sin ciencia es poco convincente.

La búsqueda científica es un viaje a lo desconocido. Cada avance trae nuevos e inesperados descubrimientos, y desafía nuestras mentes con conceptos inusuales y a veces difíciles. Pero a través de ella todo se hilvana en el hilo de la racionalidad y el orden. Veremos que este orden cósmico está sostenido por leyes matemáticas definidas que entrelazan entre sí en una sutil y armoniosa unidad. Las leyes están dotadas de una elegante simplicidad, y han sido recomendadas a menudo por los científicos solamente en base a su belleza. Sin embargo esas mismas leyes permiten a la materia y energía auto organizarse en una enorme variedad de estados complejos, incluyendo aquellos que tienen la cualidad de la conciencia, y que pueden a su vez percibir el orden cósmico que los produjo.

Dentro de los objetivos más ambiciosos en tales reflexiones está la posibilidad de ser capaces de formular una “Teoría de Todo” – una descripción completa del mundo en términos de un sistema cerrado de verdades lógicas. La búsqueda de tal Teoría de Todo se ha vuelto el Santo Grial para los físicos. Y la idea es indudablemente fascinante. Después de todo, si el universo es una manifestación del orden racional, entonces deberíamos ser capaces de deducir la naturaleza del mundo a través del “pensamiento puro” solamente, sin la necesidad de la observación o el experimento. La mayoría de los científicos rechazan esta filosofía completamente, por supuesto, reconociendo la ruta empírica hacia el conocimiento como el único camino confiable. Pero como veremos, las demandas de racionalidad y lógica ciertamente imponen al menos algunas restricciones en la clase de mundo que podemos conocer. Por otro lado, la misma estructura lógica contiene dentro de sí sus propias limitaciones paradójicas que aseguran que nunca podremos captar la totalidad de la existencia a partir de la deducción solamente.

La historia ha producido muchas imágenes del orden racional subyacente del mundo: el universo como una manifestación de formas geométricas perfectas, como un organismo vivo, un basto mecanismo de relojería, y más recientemente, como una computadora gigantesca. Todas estas imágenes capturan algún aspecto clave de la realidad, aunque cada una es incompleta en sí misma. Examinaremos algunos de los últimos pensamientos sobre esas metáforas, y la naturaleza de la matemática que las describen. Esto nos llevará a confrontar las cuestiones: ¿Qué es la matemática? ¿Y por qué funciona tan bien en describir las leyes de la naturaleza? ¿Y de dónde provienen dichas leyes? En muchos casos las ideas son fáciles de describir; otras son más bien técnicas y abstractas. El lector es invitado a compartir esta excursión científica a lo desconocido, en busca del basamento último de la realidad. Aunque el camino se torna áspero aquí y allí, y el destino permanece envuelto en el misterio, espero que el viaje mismo pruebe ser excitante.

Razonamiento Humano y Sentido Común

Se dice a menudo que el factor que más distingue los seres humanos de otros animales es nuestro poder de razonamiento. Muchos otros animales parecen ser conscientes del mundo físico en mayor o menor grado, y responden a él, pero los humanos parecen tener más que mera conciencia. Nosotros poseemos alguna clase de entendimiento del mundo, y de nuestro lugar dentro de él. Somos capaces de predecir eventos y manipular procesos naturales para nuestros fines, y aunque somos parte del mundo natural, de alguna manera distinguimos entre nosotros mismos y el resto del universo físico.

En las culturas primitivas, el entendimiento del mundo estaba limitado a las cuestiones cotidianas, como el cambio de las estaciones, o el movimiento de una piedra de honda o de una flecha. Esto era enteramente pragmático, y no tenía una base teórica, excepto en términos mágicos. Hoy en la era de la ciencia, nuestro entendimiento se ha expandido bastante, tanto que tenemos que dividir el

conocimiento en distintas materias – astronomía, física, química, geología, psicología y así siguiendo. Este progreso dramático se ha debido casi completamente al resultado del “método científico”, experimentación, observación, deducción, hipótesis, y verificación. No necesitamos preocuparnos por los detalles aquí. Lo que es importante es que la ciencia demanda normas rigurosas para procedimientos y discusiones que hacen prevalecer la razón sobre la creencia irracional.

El concepto de razonamiento humano es en si mismo curioso. Somos persuadidos por argumentos “razonables,” y nos sentimos bien con aquellos que apelan al “sentido Común.” Aún así el proceso de los pensamientos humanos no está dado por Dios. Tiene su origen en la estructura del cerebro humano, y de las tareas para las cuales ha evolucionado. La operación del cerebro, a su vez, depende de las leyes de la física y de la naturaleza del mundo físico en que habitamos. Lo que llamamos sentido común, es el producto de patrones de pensamiento profundamente embebidos en la psiquis humana, presumiblemente porque ellos confieren ciertas ventajas para lidiar con las situaciones cotidianas, como esquivar objetos que caen y esconderte de depredadores. Algunos aspectos del pensamiento humano estarán fijados por el cableado de nuestro cerebro, otros heredados como “software genético” de nuestros ancestros primigenios.

El filósofo Immanuel Kant argumentaba que no todas nuestras categorías de pensamiento derivaban de la experiencia sensorial del mundo. Él creía que algunos conceptos eran *a priori*, por lo cual el significaba que, aunque esos conceptos no son *verdades necesarias* en el sentido estrictamente lógico, todo pensamiento sería imposible sin ellos: serían “necesarios para el pensamiento.” Un ejemplo que dio Kant es nuestro entendimiento intuitivo del espacio tridimensional a través de las reglas de la geometría euclíadiana. Él supuso que nacimos con ese conocimiento. ¡Desafortunadamente, los científicos han descubierto ahora que la geometría euclíadiana es realmente incorrecta! Hoy los científicos y filósofos generalmente suponen que aún los aspectos más básicos del pensamiento humano deben tener como última referencia y antecedente las observaciones del mundo físico. Probablemente los conceptos que están más profundamente grabados en nuestra psiquis, las cosas que encontramos más difíciles de imaginar que pudieran ser de otra manera, como el “sentido común” y la racionalidad humana son aquellas que están genéticamente programadas a un nivel muy profundo en nuestros cerebros.

Es interesante especular si los seres alienígenos que evolucionaran bajo circunstancias muy diferentes podrían compartir nuestro concepto de sentido común, o verdaderamente cualquier otro patrón de pensamiento. Si, como algunos escritores de ciencia ficción han reflexionado, la vida existiera en la superficie de una estrella de neutrones, uno no podría ni siquiera suponer como tales seres podrían percibir y pensar sobre el mundo. Es posible que el concepto alienígeno de racionalidad podría diferir del nuestro tan grandemente que ese ser no podría ser persuadido en absoluto por lo que nosotros podríamos considerar como argumento racional.

¿Significa esto que el razonamiento humano es sospechoso? ¿Estamos siendo excesivamente chauvinistas o parroquianos al suponer que podemos aplicar con éxito los patrones de pensamiento del *homo sapiens* a los grandes temas de la existencia? No necesariamente. Nuestros procesos mentales han evolucionado como son, precisamente porque ellos reflejan algo de la naturaleza del mundo físico en el que habitamos. Lo que es sorprendente es que el razonamiento humano sea tan exitoso al estructurar un entendimiento de esas partes del mundo que nuestra percepción no puede alcanzar directamente. Podría no ser una sorpresa que las mentes humanas puedan deducir las leyes de los objetos que caen, porque el cerebro ha evolucionado para desarrollar estrategias para esquivarlos. ¿Pero tenemos algún derecho de esperar extensiones de tal razonamiento que trabajen cuando los extendemos a la física nuclear, o astrofísica, por ejemplo? El hecho que trabaje, y que trabaje “irrasonablemente” bien, es uno de los grandes misterios del universo que investigaré en este libro.

Pero ahora se presenta otro asunto. ¿Si el razonamiento humano refleja algo de la estructura del mundo físico, sería verdadero decir que el mundo es una manifestación de la razón? Usamos la palabra “racional” para significar “en conformidad con la razón,” entonces mi pregunta es si, o hasta qué grado, el mundo es racional. La ciencia está fundada en la esperanza de que el mundo sea racional en todos sus aspectos observables. Es posible que hubiera algunas facetas de la realidad las cuales yazgan más allá del poder del razonamiento humano. Esto no significa que esas facetas sean necesariamente irracionales en un sentido absoluto. Los habitantes de estrellas neutrónicas (o de supercomputadoras) podrían entender cosas que nosotros, por la misma naturaleza de nuestros cerebros, no podemos. Por lo tanto tenemos que estar conscientes de la posibilidad de que pudiera haber cosas con explicaciones que nunca podremos comprender, y pudiera haber otras sin explicación en absoluto.

En este libro adoptaré el punto de vista optimista que el razonamiento humano es generalmente confiable. Es un hecho de la vida que la gente sostiene creencias, especialmente en el campo de la religión, lo cual podría ser considerado como irracional. Que sean sostenidas irracionalmente no significa que estén equivocadas. ¿Habrá quizás una ruta hacia conocimiento (como a través del misticismo o la revelación) que sortee o trascienda la razón humana? Como científico prefiero tratar de llevar el razonamiento humano tan lejos como sea posible. Explorando las fronteras de la razón y de la racionalidad ciertamente encontraremos misterio e incertidumbre, y con toda probabilidad en alguna etapa el razonamiento nos fallará y tendrá que ser reemplazado por la creencia irracional o por el franco agnosticismo.

Si el mundo es racional, al menos en gran medida, ¿cuál es el origen de esa racionalidad? No puede surgir solamente en nuestras mentes, porque nuestras mentes meramente reflejan lo que ya está allí. ¿Deberíamos buscar la explicación en un Diseñador racional? ¿O la racionalidad pude “crearse a sí misma” por la propia fuerza de su propia “racionabilidad”? Alternativamente ¿podría ser que a una “escala mayor” el mundo sea irracional, pero que nos encontremos habitando un oasis de racionalidad aparente, porque este es el único “lugar” donde los seres conscientes y racionales podrían encontrarse? Para explorar esta clase de cuestiones más profundamente, permítaseme echar un vistazo más cuidadoso a los diferentes tipos de razonamiento

Pensamientos Sobre los Pensamientos

Dos clases de razonamiento nos sirven bien, y es importante hacer una clara distinción entre ellos. El primero es llamado “deducción.” Éste está basado estrictamente en las reglas de la lógica. De acuerdo don la lógica estándar, ciertas declaraciones, como “Un perro es un perro” y “Todo es o no es un perro” son aceptadas como verdades, mientras que otras, como “Un perro no es un perro” son consideradas falsas. Un argumento deductivo comienza con un conjunto de suposiciones llamadas “premisas.” Éstas son declaraciones o condiciones las cuales son sostenidas sin mayor cuestionamiento, para el propósito de argumentar. Obviamente las premisas deben ser mutuamente consistentes.

Es ampliamente creído que la conclusión de un argumento lógico deductivo no contiene más de lo que estaba presente en las premisas originales, por lo tanto tal argumento no puede nunca ser usado para probar algo genuinamente nuevo. Considere por ejemplo la siguiente secuencia deductiva (conocida como “silogismo”):

1. Todos los bachilleres son hombres.
2. Alex es un bachiller.
3. Por lo tanto Alex es un hombre.

La sentencia 3 no dice más que lo que estaba presente en la sentencia 1 y la 2 combinadas. Por lo tanto desde este punto de vista, el razonamiento deductivo es realmente sólo una forma de procesar los hechos o conceptos para presentarlos de una forma más interesantes o útil.

Cuando la lógica deductiva es aplicada a un conjunto complejo de conceptos, las conclusiones pueden a menudo ser sorprendentes o inesperadas, aún sean éstas meramente el resultado de las premisas originales. Un buen ejemplo es provisto por la geometría, la cual está fundada en un conjunto de suposiciones conocido como “axiomas,” sobre los cuales está erigido el elaborado edificio de la teoría geométrica. En el siglo III después de Cristo, el geómetra griego Euclides enumeró cinco axiomas sobre los que se fundó la escuela convencional de geometría, incluyendo cosas tales como “Entre dos puntos cualesquiera hay una única línea recta.” A partir de esos axiomas se puede usar la lógica deductiva para derivar todos los teoremas de la geometría que aprendemos en la escuela. Uno de ellos es el teorema de Pitágoras, el cual, aunque no contiene más información que los axiomas de Euclides, de los cuales se deriva, no es ciertamente intuitivamente obvio.

Claramente un argumento deductivo es tan bueno como los son las premisas en la que se funda. Por ejemplo, en el siglo XIX algunos matemáticos decidieron investigar las consecuencias de descartar el quinto axioma de Euclides, el cual establece que a través de un punto cualquiera es posible dibujar una línea paralela a otra línea dada. La “geometría no euclidiana” obtenida resultó ser de gran utilidad para la ciencia. De hecho, Einstein la empleó en su teoría general de la relatividad (una teoría de la gravedad), y, como mencioné, ahora sabemos que la geometría Euclidiana es incorrecta en el mundo real, hablando groseramente, el espacio es curvado por la gravedad. La geometría euclidiana es todavía enseñada en las escuelas, porque es una muy

bueno aproximación en la mayoría de las circunstancias. La lección de esta historia, no obstante, es que es imprudente considerar cualquier axioma como tan evidentemente correcto que no podría ser de otra manera.

Se acuerda generalmente que los argumentos lógicos deductivos constituyen la forma más segura de razonar, aunque debo mencionar que aún el uso de lógica estándar ha sido cuestionado por algunos. En la así llamada lógica cuántica, la regla de que algo no puede ser y no ser a la vez ha sido dejada de lado. El motivo de esto es que en la física cuántica la noción de "ser" es más sutil que en la experiencia cotidiana: los sistemas físicos pueden existir en una superposición de estados alternativos.

Otra forma de razonar que empleamos es llamada "inductiva." Tal como la deducción, la inducción comienza como un conjunto de hechos dados o suposiciones, y se llega a conclusiones a partir de ellos, pero se hace por un proceso de generalización más que por argumentación secuencial. La predicción que el sol saldrá mañana es un ejemplo de razonamiento deductivo basado en el hecho que el sol ha salido fielmente cada día hasta ahora en nuestra experiencia. Y cuando dejo caer un objeto pesado, espero que éste caiga, sobre la base de mis experiencias previas con la atracción de la gravedad. Los científicos emplean el razonamiento inductivo cuando estructuran hipótesis basada en un número limitado de observaciones o experimentos. Las leyes de la física, por ejemplo, son de esa clase. La ley del inverso del cuadrado para las fuerzas eléctricas, ha sido comprobada innumerables veces y siempre confirmada. La llamamos una ley porque, en la base de la inducción, razonamos que la propiedad del inverso del cuadrado siempre se cumplirá. No obstante, el hecho de que nadie haya observado una violación de la ley del inverso del cuadrado no prueba que deba ser verdad. No importa en cuantas ocasiones individuales la ley haya sido confirmada, nunca podremos estar absolutamente seguros que se aplica infaliblemente. Sobre la base de la inducción, podemos concluir sólo que es muy *probable* que la ley se cumpla la próxima vez que se pruebe.

El filósofo David Hume⁷ advirtió sobre el razonamiento inductivo. Que el sol haya siempre sido observado amanecer en horario, o que la ley del inverso del cuadrado haya sido siempre

⁷



David Hume nació en Edimburgo en el seno de una familia acomodada el año 1711 y murió en esta misma ciudad en 1766. Su vida transcurrió entre Edimburgo, París y Londres.

En vez de seguir el estudio de las leyes, a lo que le orientaba la tradición familiar, quiso probar fortuna en el comercio, pero sin mucho éxito, lo cual le llevó a abandonarlo pronto.

Tras un período de intensa dedicación a la lectura, en 1726, durante una estancia de varios años en Francia, escribió su obra más importante, el Tratado sobre la naturaleza humana, que no sería publicado hasta el año 1740 en Londres.

Esta obra no tuvo el reconocimiento que esperaba. Hume tuvo que atraerse la atención del público por medio de una serie de ensayos menores, antes de encontrar alguna consideración. Posteriormente, decidió reelaborar los temas y problemas del Tratado y así, en 1748 publicó la Investigación sobre el conocimiento humano (que refunde la primera parte de su primera obra), y en 1751 sacó a la luz la Investigación sobre los principios de la moral (en la que se vuelven a tratar los temas del libro tercero del Tratado).

Tras aspirar por dos veces, de forma infructuosa, a un cargo académico, aceptó un puesto como bibliotecario en Edimburgo, donde escribió una Historia de Inglaterra que le haría rico y famoso. Más tarde, como secretario de legación, vivió en París varios años, y allí entró en contacto con varios pensadores franceses, como Rousseau.

Ocupó luego un alto cargo en el gobierno inglés, en Londres, pero pronto se cansó de la vida pública y se retiró a Edimburgo, donde pasó los últimos años de su vida, hasta su muerte, ocurrida en 1776, rodeado de sus amigos y seguidores.

Hume llevó el empirismo de Locke hasta sus últimas consecuencias. Según Hume, el conocimiento humano se compone de impresiones sensibles y de ideas, que se forman a partir de los datos de los sentidos. No podemos ir, pues, más allá de lo que nos aportan los sentidos, y la existencia y verdad de las ideas resultan injustificables para nosotros.

El propio Hume reconoció que este análisis del conocimiento lleva inevitablemente al escepticismo. Además, su filosofía desemboca en un emotivismo moral, dado que de las proposiciones o verdades de hecho no pueden deducirse los mandatos o recomendaciones morales. En definitiva, los valores y las normas morales se basan únicamente en el sentimiento y no en la razón.

confirmada, no es garantía que esas cosas ocurrirán en el futuro. La creencia que lo harán está basada en la suposición que “el curso de la naturaleza continúa siempre uniformemente igual.” ¿Pero cuál es la justificación para esta suposición? Verdaderamente, puede ser el caso que el estado de ciertos asuntos B (por ejemplo el alba) ha invariablemente sido observado después de A (por ejemplo el crepúsculo), pero uno no debería interpretar que esto implica que B es una consecuencia *necesaria* de A. ¿En qué sentido podría B tener que seguir a A? Podríamos ciertamente imaginar un mundo donde A ocurra pero B no: no hay una conexión lógicamente necesaria entre A y B. ¿Podría haber otro sentido de necesidad, una clase de necesidad natural? Hume y sus seguidores niegan que haya tal cosa.

Parece que estamos forzados a conceder que las conclusiones a las que se arriba inductivamente no son nunca tan lógicamente seguras como las deductivas, aunque el “sentido común” esté basado en la inducción. Que este razonamiento inductivo sea tan a menudo exitoso es una propiedad remarcable del mundo, que uno podía caracterizarlo como la “confiabilidad de la naturaleza.” Todos nosotros vamos por la vida sosteniendo creencias sobre el mundo (como que el amanecer es inevitable) las cuales son derivadas inductivamente, y consideradas completamente razonables, y aunque no descansan en la lógica deductiva, sí en la manera que el mundo resulta ser. Como veremos, no hay una razón lógica por la cual el mundo no pudiera ser de otra manera. Podría ser caótico de una manera que hiciera la generalización inductiva imposible. La filosofía moderna ha sido fuertemente influenciada por el trabajo de Karl Popper⁸, quien argumentó que en la práctica los científicos raramente usan el razonamiento inductivo en la forma descripta. Cuando un nuevo descubrimiento científico es hecho, los científicos trabajan hacia atrás para construir una hipótesis consistente con tal descubrimiento, y luego intentan deducir otras consecuencias para esa hipótesis, que pueda a su vez ser experimentalmente comprobada. Si alguna de esas predicciones resultase ser falsa, la teoría tiene que ser modificada o abandonada. El énfasis está entonces en la falsación, no en la verificación. Una teoría poderosa, es una que es altamente vulnerable a la falsación, y por lo tanto pueda ser probada en muchas maneras detalladas y específicas. Si la teoría pasa esas pruebas, nuestra confianza en la teoría es reforzada. Una teoría que demasiado vaga o general, o hace predicciones concernientes sólo a circunstancia más allá de nuestra habilidad de prueba, es de poco valor.

En la práctica, entonces, el esfuerzo intelectual humano no siempre procede a través del razonamiento deductivo e inductivo. La clave para los grandes avances científicos frecuentemente descansa en saltos libres, imaginativos o de inspiración. En tales casos un hecho importante o conjectura aparece completo en la mente del investigador, y sólo subsecuentemente es encontrada la justificación en los argumentos razonados. Como ocurre la inspiración es un misterio que eleva muchas preguntas. ¿Tienen las ideas alguna clase de existencia independiente, y por lo tanto son “descubiertas” de tiempo en tiempo por una mente receptiva? ¿O es la inspiración una consecuencia del razonamiento normal que toma lugar escondido en el subconsciente, con el resultado siendo entregado al conciente sólo cuando está completo? Si así fuera, ¿Cómo evolucionó tal habilidad? ¿Qué ventajas biológicas pueden conferirles a los humanos cosas tales como la inspiración matemática o artística?

Un Mundo Racional

La afirmación de que el mundo es racional está conectada con el hecho que es ordenado. Los eventos generalmente no suceden caprichosamente, están relacionados de alguna manera. El sol sale a horario porque la tierra gira de una manera regular. La caída de un objeto pesado está relacionada con dejarlo caer antes desde lo alto. Y así siguiendo. Es esta interrelación de los eventos que nos da la sensación de causa efecto. Un vidrio se rompe porque es golpeado por una piedra. El roble crece porque es

⁸ Karl Raimund Popper. Filósofo británico Nació el 28 de julio de 1902 en Viena (Austria), en una familia judía que más tarde se convirtió al protestantismo. Trabajó por algún tiempo en la clínica infantil de Alfred Adler. Obtuvo su doctorado en filosofía por la universidad de su ciudad natal en 1928. En 1929 obtiene la cátedra de matemática y física en enseñanza secundaria. Aunque no fue miembro de la llamada escuela de filosofía de Viena, simpatizó con su actitud científica, aunque criticó algunos de sus postulados. Desarrolló una destacada carrera académica en Europa, Australia, India, Japón y Estados Unidos. Desde 1937 hasta 1945 trabajó como profesor en la Universidad de Canterbury en Nueva Zelanda, y más tarde en la Universidad de Londres. En su Lógica del descubrimiento científico (1934) criticó la idea de que la ciencia es en esencia inductiva. Propuso un criterio de comprobación que él denominó falsabilidad, para determinar la validez científica, y subrayó el carácter hipotético-deductivo de la ciencia. En La sociedad abierta y sus enemigos (1945), defendió la democracia y mostró reparos a las implicaciones autoritarias de las teorías políticas de Platón y Karl Marx. También es autor de En busca de un mundo mejor, La responsabilidad de vivir, Conjeturas y refutaciones, El mito del marco común y El cuerpo y la mente. En 1965 le fue otorgado el título de Sir. Fue profesor visitante en varias universidades y sus obras se han traducido a más de veinte lenguas. Fue considerado como uno de los filósofos principales del siglo XX. Falleció el 17 de septiembre de 1994 en Londres.

plantada la bellota. La conjunción de eventos causalmente relacionados se torna tan familiar que estamos tentados de suscribir la potencia causal de los objetos materiales en sí mismos: la piedra realmente produce la rotura del vidrio. Pero esto es atribuirle a los objetos materiales potencias activas que no merecen. Todos podríamos realmente decir que hay una correlación entre, digamos, piedras lanzadas a las ventanas y vidrios rotos. Los eventos que forman tales secuencias no son por lo tanto independientes. Si pudiéramos hacer un registro de todos los eventos en una región del espacio sobre un período de tiempo, podríamos notar que el registro estaría entrecruzado por patrones, siendo esos las "conexiones causales." Es la existencia de esos patrones la manifestación del orden racional del mundo. Sin ellos habría sólo caos.

Muy relacionada con la causalidad está la noción de determinismo. En su forma moderna, es la suposición que los eventos están enteramente determinados por otros anteriores. El determinismo lleva la implicancia que el estado del mundo en un momento es suficiente para establecer su estado en un momento posterior. Y porque el estado posterior fija los estados subsecuentes, y así siguiendo, se llega a la conclusión que todo lo que vaya a ocurrir en el futuro del universo está completamente determinado por su estado presente. Cuando Isaac Newton propuso sus leyes de la mecánica en el siglo XVII, el determinismo estaba automáticamente construido dentro de ellas. Por ejemplo, tratando al sistema solar como un sistema aislado, las posiciones y velocidades de los planetas en un momento dado bastarían para determinar unívocamente (a través de las leyes de Newton) sus posiciones y velocidades en todos los momentos subsecuentes. Más aún, las leyes de Newton no contienen dirección en el tiempo, por lo tanto el truco trabaja también en reversa: el estado presente es suficiente para determinar unívocamente todos los estados pasados. De esta forma podríamos, por ejemplo, predecir eclipses en el futuro y retrotraer sus ocurrencias al pasado.

Si el universo es estrictamente determinista, entonces todos los eventos están trabados en una matriz de causas y efectos. El pasado y el futuro están contenidos en el presente, en el sentido que la información necesaria para construir los estados del pasado y del futuro están incluidos en su estado presente tan rígidamente como la información del teorema de Pitágoras está incluida en los axiomas de la geometría euclíadiana. El cosmos entero se vuelve una máquina gigante de relojería, siguiendo esclavizadamente un camino de cambio ya establecido desde el comienzo de los tiempos. Ilya Prigogine lo ha expresado más poéticamente: Dios es reducido a un mero archivista dando vuelta las páginas de una historia cósmica ya escrita.⁹

En oposición al determinismo está el indeterminismo, o probabilidad. Debemos decir que un evento ocurrió por "pura chance" o por "accidente" si no estuvo obviamente determinado pro algo más. Arrojar un dado o una moneda son ejemplos familiares. ¿Pero son esos ejemplos de indeterminismo genuino, o es meramente que los factores y fuerzas que determinan su resultado están ocultos para nosotros, de modo que su comportamiento simplemente aparece aleatorio para nosotros?

Antes del siglo XX la mayoría de los científicos hubieran respondido si a la última pregunta. Ellos suponían que en el fondo, el mundo era estrictamente determinista, y que la aparición de elementos aleatorios o probables era enteramente el resultado de la ignorancia sobre los detalles del sistema concernido. Si el movimiento de cada átomo pudiera ser conocido, ellos razonaban, entonces aún el arrojar una moneda al aire se volvería predecible. El hecho de que en la práctica sea impredecible es debido a nuestra limitada información sobre el mundo. El comportamiento aleatorio es trasladado a los sistemas que son altamente inestables, y por lo tanto a la merced de fluctuaciones mínimas en las fuerzas que lo afectan desde el entorno.

Este punto de vista fue completamente abandonado al final de la década de 1920 con el descubrimiento de la mecánica cuántica, la cual lida con los fenómenos a escala atómica y tiene el indeterminismo imbuido a un nivel fundamental. Una expresión de ese indeterminismo es conocida como el principio de incertidumbre de Heisenberg, debido al físico cuántico alemán Werner Heisenberg. Groseramente hablando, establece que todas las cantidades mesurables están sujetas fluctuaciones impredecibles, y por lo tanto a la incertidumbre de sus valores. Para cuantificar esta incertidumbre, las magnitudes observables son agrupadas de a pares: posición y momentum¹⁰ forman un par, como lo hacen energía y tiempo. El principio requiere que los intentos de reducir la incertidumbre de un miembro del par sirven para incrementar la incertidumbre del otro. Por lo tanto una medición precisa de la posición de una partícula como un electrón, digamos, tiene el efecto de hacer su momentum altamente incierto, y

⁹ "The Rediscovery of Time" by Ilya Prigogine, in *Science and Complexity* (ed. Sara Nash, Science Reviews Ltd, London, 1985), p. 23.

¹⁰ Momentum: Cantidad de movimiento como el producto de la masa por la velocidad. N. T.

viceversa. Debido a que Ud. necesita conocer las posiciones y momentums de las partículas en un sistema precisamente si desea predecir sus estados futuros, el principio de incertidumbre de Heisenberg pone fin a la noción que el presente determina el futuro exactamente. Por supuesto, esto supone que la incertidumbre cuántica es genuinamente intrínseca a la naturaleza, y no meramente el resultado de algún oculto de actividad determinística. En los últimos años un número de experimentos clave se han llevado a cabo para probar este punto, y ellos han confirmado que la incertidumbre es en verdad inherente en los sistemas cuánticos. El universo realmente es indeterminista a su nivel más bajo.

¿Entonces significa esto que el universo es irracional después de todo? No. Hay una diferencia entre el rol de la probabilidad en la mecánica cuántica y el caos irrestricto de un universo sin ley. Aunque no hay generalmente certeza sobre los estados futuros de un sistema cuántico, las probabilidades relativas de los posibles estados diferentes permanecen determinadas. Por lo tanto puede apostarse que, digamos, un átomo estará en un estado excitado o no excitado, aún que el resultado de una instancia particular no se conozca. Esta obediencia estadística a las leyes implica que, en una escala macroscópica donde los efectos cuánticos no son notables usualmente, la naturaleza parece cumplir las leyes deterministas.

El trabajo del físico consiste en descubrir los patrones en la naturaleza y tratar de establecer esquemas matemáticos simples que los describan. La cuestión de *porqué* hay patrones, y porqué tales esquemas matemáticos son posibles, yace fuera del alcance de la física, perteneciendo al campo de la metafísica.

Metafísica: ¿Quién la Necesita?

En la filosofía griega el término “metafísica” originalmente significaba “que viene después de la física.” Se refiere al hecho que la metafísica de Aristóteles fue hallada, sin título, después de su tratado sobre la física. Pero la metafísica pronto comenzó a significar aquellos tópicos que están más allá de la física (podríamos decir hoy en día más allá de la ciencia) y que aún tienen que ver con la naturaleza de la investigación científica. Por lo tanto metafísica significa el estudio de tópicos sobre la física (o la ciencia en general), como opuesto al tema científico en sí mismo. Los problemas metafísicos tradicionales han incluido el origen, naturaleza y propósito del universo, cómo el mundo de las apariencias que se presenta a nuestros sentidos se relaciona con su orden y “realidad” subyacentes, la relación entre mente y materia, y la existencia del libre albedrío. Claramente la ciencia está profundamente involucrada en tales cuestiones, pero la ciencia empírica sola no puede ser capaz de responderlas, como así tampoco ninguna pregunta relacionada con el “significado de la vida.”

En el siglo XIX toda la empresa metafísica comenzó a tambalear después de haber sido críticamente cuestionada por David Hume e Immanuel Kant. Esto filósofos sembraron dudas no sobre algún sistema metafísico en particular como tal, sino sobre el mismo significado de la metafísica. Hume argumentaba que sólo se podía adjudicar un significado a esas ideas que se derivan directamente de nuestra observación del mundo, o de esquemas deductivos como la matemática. Conceptos como “realidad”, “mente” y “substancia,” las cuales se supone que contienen algo que está más allá de las entidades presentadas a nuestros sentidos, fueron desestimados por Hume sobre la base que son inobservables. Él también rechazó cuestiones concernientes al propósito o significado del universo, o el lugar de la humanidad dentro de él, porque creía que ninguno de esos conceptos podría ser inteligiblemente relacionado con cosas que realmente podemos observar. Esta postura filosófica es conocida como “empirismo,” porque trata a los hechos de la experiencia como el cimiento de todo lo que podemos conocer.

Kant aceptó la premisa empírica de que todo conocimiento comienza con nuestras experiencias del mundo, pero también creía, como he mencionado, que los seres humanos poseían cierto conocimiento innato que es absolutamente necesario para que cualquier pensamiento tenga lugar. Hay por lo tanto dos componentes unidos en el proceso de pensar: datos sensibles y conocimiento a priori. Kant usó su teoría para explorar los límites del conocimiento que los seres humanos, por la misma naturaleza de sus poderes de observación y razonamiento, podrían esperar alcanzar. Su crítica a la metafísica fue que nuestro razonamiento puede aplicarse sólo en el reino de la experiencia, al mundo de los fenómenos que realmente podemos observar. No tenemos razón para suponer que pueda ser aplicado a cualquier reino hipotético que pueda yacer más allá del mundo de los fenómenos reales. En otras palabras, podemos aplicar nuestro razonamiento a las cosas tal como las vemos, pero esto no pude decírnos nada sobre las cosas en si mismas. Cualquier intento de teorizar sobre una “realidad” que yazga más allá de los objetos de la experiencia está condenado al fracaso.

Aunque la teoría metafísica quedó fuera de moda después de este ataque, unos pocos filósofos y científicos se negaron a dejar de especular sobre la realidad que yace bajo la apariencia superficial del mundo de los fenómenos. Luego en los años recientes, un número de avances en física fundamental, cosmología y teoría de la computación, comenzaron a reavivar un amplio interés en algunos de los tópicos metafísicos tradicionales. El estudio de la “inteligencia artificial” reabrió el debate sobre el libre albedrío y el problema de la mente-cuerpo. En primer lugar el descubrimiento del big bang disparó una especulación sobre la necesidad de un mecanismo para traer al universo a su existencia. La mecánica cuántica expuso la forma sutil en que el observador y lo observado están entrelazados. La teoría del caos reveló que la relación entre permanencia y cambio estaba lejos de ser simple.

Adicionalmente a estos desarrollos, los físicos comenzaron a hablar sobre las Teorías de Todo, la idea de que todas las leyes físicas podrían ser unificadas en un solo esquema matemático. La atención comenzó a enfocarse en la naturaleza de las leyes físicas. ¿Por qué ha la naturaleza optado por un esquema particular en lugar de otro? ¿Por qué hay un esquema matemático? ¿Hubo algo especial en el esquema que realmente observamos? ¿Podrían ser capaces de existir observadores inteligentes en un universo que estuviera caracterizado por otro esquema?

El término “metafísica” comenzó a significar “teoría sobre teorías” de la física. De pronto fue respetable discutir sobre “clases de leyes” en lugar de las leyes reales de nuestro universo. Se le dio atención a universos hipotéticos con propiedades bastantes diferentes del nuestro, en un esfuerzo de entender si hay algo peculiar en nuestro universo. Algunos teóricos contemplaron la existencia de “leyes sobre leyes,” las cuales actúan para “seleccionar” las leyes de nuestro universo de un conjunto más amplio. Unos pocos estuvieron preparados para considerar la existencia real de otros universos con otras leyes.

De hecho, en este sentido los físicos hacía largo rato habían estado practicando metafísica de alguna manera. Parte del trabajo de un físico matemático es examinar ciertos modelos matemáticos idealizados cuyo propósito es capturar varios aspectos estrechos de la realidad, y por lo tanto a menudo sólo simbólicamente. Estos modelos juegan el rol de “universos juguete” que pueden ser explorados, a veces para recreación, usualmente para echar luz sobre el mundo real estableciendo ciertos temas comunes entre diferentes modelos. Esos universos juguete a menudo llevan el nombre de sus creadores. Entonces hay un modelo de Thirring, el modelo de Sugawara, el universo de Taub-NUT, el universo máximamente extendido de Kruskal, y así siguiendo. Son reconocidos como modelos teóricos porque normalmente permiten un tratamiento matemático, mientras que un modelo más realista podría ser intratable. Mi propio trabajo alrededor de diez años atrás¹¹, estuvo en gran medida dedicado a explorar los efectos cuánticos en universos modelados con sólo una dimensión espacial en lugar de las tres reales. Esto fue hecho para hacer el problema más fácil de estudiar. La idea fue que algo de las características esenciales del modelo unidimensional sobrevivía en un tratamiento tridimensional más realista. Nadie sugeriría que el universo es realmente unidimensional. Lo que mis colegas y yo hicimos fue explorar universos hipotéticos para descubrir información sobre las propiedades de ciertos tipos de leyes físicas, propiedades que podrían ser relevantes para las leyes reales de nuestro universo.

Tiempo y Eternidad: La Paradoja Fundamental de la Existencia

"La eternidad es tiempo
 Tiempo, eternidad
 Verlas como opuestas
 Es perversidad del hombre"

El Libro de Angelus Silesius¹²

“Pienso, luego existo.” Con estas famosas palabras el filósofo del siglo XVII René Descartes expresó lo que llegaría a ser la declaración más primitiva concerniente a la realidad sobre la cual cualquier persona pensante llegaría a coincidir. Nuestra propia existencia es nuestra experiencia primaria. Aún cuando esta afirmación sin excepciones contiene dentro de si la esencia de una paradoja que obstinadamente recorre la historia del pensamiento humano. Pensar es un proceso. Ser es un estado. Cuando pienso mi estado mental cambia con el tiempo, pero el “yo” al cual el estado mental se refiere permanece siendo

¹¹ Alrededor de 1980. N. T.

¹² Alias de Daniel von Czepko (1605 – 1660)

el mismo. Éste es probablemente el problema metafísico más antiguo en el libro, y es uno el cual ha resurgido con creces en la moderna teoría científica.

Pensar sobre nosotros mismos constituye nuestra experiencia primaria, también percibimos un mundo externo, y proyectamos sobre ese mundo la misma conjunción paradójica de proceso y estado, de lo temporal y atemporal. Por un lado, el mundo continúa existiendo, y por otro cambia. Reconocemos constancia no sólo en nuestras identidades personales, sino también en la persistencia de los objetos y cualidades de nuestro ambiente. Estructuramos nociones como "persona," "árbol," montaña," "sol." Estos objetos no necesitan durar para siempre, pero tienen una quasi permanencia que nos habilita a concederles una identidad propia. No obstante superpuesto a este telón de fondo de ser constantemente está el cambio continuo. Las cosas ocurren. El presente se desvanece en el pasado, y el futuro "deviene en existencia." El fenómeno de devenir que nosotros llamamos "existencia" es una conjunción paradójica de ser y devenir.

Los hombres y mujeres, quizás por razones psicológicas, son temerosos de su propia mortalidad, han buscado siempre los aspectos más duraderos de la existencia. La gente viene y va, los árboles crecen y mueren, aún las montañas gradualmente se erosionan hasta desaparecer, y sabemos que el sol no estará ardiendo para siempre. ¿Hay algo que sea verdadera y confiablemente constante? ¿Podría uno encontrar un ser absolutamente inmutable en un mundo tan lleno de modificación? Una vez el cielo fue considerado como inmutable, el sol y las estrellas durando desde la eternidad hasta la eternidad. Pero ahora sabemos que los cuerpos astronómicos, tan inmensamente antiguos como puedan ser, no existieron siempre y no lo continuarán haciendo indefinidamente. Por cierto los astrónomos han descubierto que el universo entero está en una evolución gradual.

¿Qué es entonces absolutamente constante? Uno es inevitablemente conducido fuera del mundo material y físico al reino de lo místico y abstracto. Conceptos como "lógica," "número," "alma," y "Dios" recurren a lo largo de la historia como la base más firme sobre la cual construir una imagen de realidad que tenga alguna esperanza de fiabilidad permanente. Pero luego la fea paradoja de la existencia reaparece. ¿Cuánto puede el cambiante mundo de la experiencia estar arraigado en los inalterables conceptos abstractos?

Ya en los albores de la filosofía sistemática en la antigua Grecia, Platón confrontó esta dicotomía. Para Platón, la verdadera realidad yace en un mundo trascendente de Ideas abstractas, perfectas e inmutables, o Formas, un dominio de relaciones matemáticas y estructuras geométricas establecidas. Este era el reino del ser puro, inaccesible a los sentidos. El mundo cambiante de nuestra experiencia directa – el mundo del devenir – era considerado por él como mutante, efímero, e ilusorio. El universo de los objetos materiales fue relegado a la pálida sombra de una parodia del mundo de las Formas. Platón ilustró la relación entre estos dos mundos en términos de una metáfora. Imaginemos estar prisioneros en una caverna dando la espalda a la luz. Los objetos al pasar por la entrada de la caverna proyectan sombras sobre la pared de la caverna. Esas sombras son proyecciones imperfectas de las formas reales. Él asemejó el mundo de nuestras observaciones a las imágenes del mundo de las sombras. Sólo el mundo de las ideas estaría "iluminado por el sol de lo inteligible."

Platón inventó dos dioses que tuvieran dominio sobre los dos mundos. En la cumbre del mundo de las Formas estaba el Bien, un ser inmutable y eterno, más allá del espacio y el tiempo. Encerrado en el semi real y cambiante mundo de los objetos materiales y de las fuerzas, estaba el así llamado Demiurgo, cuya tarea era acomodar la materia existente en un estado ordenado, usando las Formas como una plantilla o boceto. Pero, siendo menos que perfecto, este mundo formado está continuamente desintegrándose y necesita la atención creativa del Demiurgo. Entonces aparece el estado de flujo del mundo de nuestros sentidos e impresiones. Platón reconoció una tensión fundamental entre el ser y el devenir, entre las formas eternas y sin tiempo y el mundo cambiante de la experiencia, pero no hizo ningún intento serio de reconciliar ambos. Estuvo satisfecho con relegar al último a un estado parcialmente ilusorio, y consideró sólo al atemporal y eterno como de real valor.

Aristóteles, un estudiante de Platón, rechazó el concepto de Formas atemporales, y construyó en cambio una imagen del mundo como un organismo vivo, desarrollándose como un embrión hacia un objetivo definido. Por lo tanto el cosmos estaba imbuido de propósito, y se dirigía hacia el mismo conducido por causas finales. A las cosas vivas se les adscribió un alma para guiarlas en su actividad teleológica, pero Aristóteles, consideró esas almas como inmanentes a los propios organismos, y no trascendentales en el sentido platónico. Esta visión animista del universo reforzaba el proceso del cambio orientado a un objetivo. Debido a esto podría suponerse que, en contraste con Platón, Aristóteles daba primacía al devenir sobre el ser. Pero su mundo permanecía siendo una conjunción paradójica de los dos. Los fines hacia los cuales evolucionaba no cambiaban, ni lo hacían las almas. Más aún, el universo

de Aristóteles, aunque admitía el desarrollo continuo no tenía un comienzo en el tiempo. Contenía objetos – los cuerpos celestiales – que eran “no generados, no perecederos, y eternos,” moviéndose para siempre a lo largo de órbitas fijas, circulares y perfectas.

Mientras tanto, en el Medio Este, la visión judaica del mundo estaba basada en una alianza especial de Yahvé con Israel. Aquí el énfasis estaba puesto en la revelación de Dios a través de la historia, como está expresado en el registro histórico del antiguo testamento, y representado más obviamente en el Génesis con la narración de la creación del universo por Dios en un momento en el pasado finito. Y aún el Dios Judío era todavía declarado trascendente e inmutable. Nuevamente no se hizo ningún intento de resolver la paradoja inevitable de un Dios inmutable cuyos propósitos no obstante cambiaron en respuesta al desarrollo histórico.

Una visión sistemática del mundo que tomara seriamente las paradojas del tiempo tuvo que esperara hasta el siglo quinto D. C. y al trabajo de San Agustín de Hipona¹³. Agustín reconoció que el tiempo era parte del universo físico – parte de la creación – y por lo tanto ubicó al Creador firmemente fuera del fluir del tiempo. No obstante, la idea de una Deidad sin tiempo no encaja fácilmente dentro de la doctrina cristiana. Una dificultad especial rodea el rol de Cristo. ¿Qué podría significar para un Dios sin tiempo encarnarse y morir en la cruz en una época particular de la historia? ¿Cómo podría la impasibilidad divina ser reconciliada con el divino sufrimiento? El debate continuaba en el siglo XIII cuando los trabajos de Aristóteles traducidos se volvieron disponibles en las universidades de Europa. Esos documentos tuvieron un gran impacto. Un joven monje en París, Tomás de Aquino, combinó la religión cristiana con los métodos griegos de filosofía racional. Concibió a un Dios trascendente habitando un reino platónico más allá del espacio y del tiempo. Luego le atribuyó un conjunto de cualidades bien definidas – perfección, simplicidad, atemporalidad, omnipotencia, omnisciencia – e intentó argumentar lógicamente por su necesidad y consistencia bajo el aspecto de teoremas geométricos. Aunque su trabajo fue inmensamente influyente, Aquino y sus seguidores tuvieron una terrible dificultad en relacionar este Ser abstracto e inmutable al universo físico dependiente del tiempo, y al Dios de la religión popular. Este y otros problemas llevaron al trabajo de Aquino a ser condenado por el obispo de París, aunque Aquino fue posteriormente exonerado y eventualmente canonizado.

En su libro *God and Timelessness*, Nelson Pike concluye luego de un exhaustivo estudio: “es ahora mi sospecha que la doctrina de la atemporalidad de Dios fue introducida en la teología cristiana porque el pensamiento platónico estaba de moda en ese tiempo y porque la doctrina parecía tener considerables ventajas desde el punto de vista de la elegancia sistemática. Una vez introducida, tomó vida propia.”¹⁴ El filósofo John O’Donnell arriba a la misma conclusión. Su libro *Trinity and Temporality* trata el conflicto entre la atemporalidad platónica y la historia Judeo – Cristiana “Estoy sugiriendo que la Cristiandad estuvo en gran contacto con el Helenismo ... buscó obtener una síntesis que estaba obligada a quebrarse precisamente en este punto. ... El evangelio, combinado con ciertas suposiciones helenísticas sobre la naturaleza de Dios, llevan a un punto muerto del cual la Iglesia aún tienen que liberarse.”¹⁵ Volveré sobre este “punto muerto” en el capítulo 7.

La Europa medieval fue testigo del surgimiento de la ciencia, y de una forma completamente nueva de mirar el mundo. Los científicos como Roger Bacon y, posteriormente, Galileo Galilei enfatizaron la importancia de obtener conocimiento a través de experimentos precisos y cuantitativos y de la observación. Consideraron al Hombre y a la naturaleza como distintos, y los experimentos fueron vistos como una clase de diálogo con la naturaleza, por medio del cual sus secretos podrían ser develados. El orden racional de la naturaleza, el cual deriva a si mismo de Dios, estaba manifestado por leyes definidas. Aquí un eco de la deidad inmutable y atemporal de Platón y Aquino entra en escena, en la forma de leyes eternas, un concepto que adquirió su forma más persuasiva con el monumental trabajo de Isaac Newton en el siglo XVII. La física newtoniana distingue claramente entre los estados del mundo, que cambian de momento a momento, y las leyes, que permanecen sin cambio. Pero aquí una vez más la dificultad de reconciliar el ser y el devenir reaparece, ¿cómo explicamos un flujo de tiempo

¹³ Agustín de Hipona, San (354-430), el más grande de los padres de la Iglesia y uno de los más eminentes doctores de la Iglesia occidental. Agustín nació el 13 de noviembre del año 354 en Tagaste, Numidia (hoy Souk-Ahras, Argelia). Su padre, Patricio (fallecido hacia el año 371), era un pagano (más tarde convertido al cristianismo), pero su madre, Mónica, era una devota cristiana que dedicó toda su vida a la conversión de su hijo, siendo canonizada por la Iglesia católica romana. Agustín se educó como retórico en las ciudades norteafricanas de Tagaste, Madaura y Cartago. Entre los 15 y los 30 años vivió con una mujer cartaginesa cuyo nombre se desconoce, con la que tuvo un hijo en el año 372 al que llamaron Adeodatus, que en latín significa regalo de Dios.

¹⁴ *God and Timelessness* by Nelson Pike (Routledge & Kegan Paul, London, 1970), p. 3.

¹⁵ *Trinity and Temporality* by John O’Donnell (Oxford University Press, Oxford, 1983), p. 46.

en un mundo fundado sobre leyes atemporales? Este problema de la “flecha del tiempo” ha plagado la física desde entonces, y aún es objeto de intenso debate e investigación.

Ningún intento de explicar el mundo, ya sea científica o teológicamente, puede ser considerado exitoso hasta que explica la conjunción paradójica de lo temporal y lo atemporal, del ser y el devenir. Y ninguna cuestión confronta esta conjunción paradójica más marcadamente que el origen del universo •

Capítulo 2 - ¿Puede el Universo Crearse a si mismo?

"La ciencia debe proveer un mecanismo para que el universo devenga en su existencia."

John Wheeler

USUALMENTE PENSAMOS que las causas preceden a sus efectos. Es por lo tanto natural tratar de explicar el universo apelando a la situación en épocas cósmicas anteriores. Pero aún si pudiéramos explicar el estado presente en términos de su estado mil millones de años atrás, ¿habríamos realmente obtenido algo, excepto retroceder el misterio mil millones de años? Seguramente querríamos explicar el estado del universo en ese momento en términos de algún estado anterior, y así siguiendo. ¿Tendría esta cadena de causas y efectos algún fin? El sentimiento de que "algo tiene que haber comenzado todo" está profundamente arraigado en la cultura occidental. Y hay una suposición ampliamente difundida de que ese "algo" no puede yacer dentro del alcance de la investigación científica; debe ser en algún sentido sobrenatural. Los científicos, en ese sentido, podrían ser muy inteligentes en explicar esto y aquello. Podrían aún explicar todo dentro del universo físico. Pero en alguna etapa en la cadena de explicaciones alcanzarían un punto muerto más allá del cual la ciencia no puede penetrar. Este punto es la creación del universo como un todo, el último origen del mundo físico.

Este argumento, llamado cosmológico, en una forma u otra ha sido usado como evidencia de la existencia de Dios. A lo largo de los siglos ha sido refinado y debatido por muchos teólogos y filósofos, algunas veces con gran sutileza. El enigma del origen cósmico es probablemente un área donde el científico ateo se sentirá incómodo. La conclusión del argumento cosmológico fue, en mi opinión, difícil de falsar hasta hace pocos años, hasta el momento en que se hicieron intentos serios de explicar el origen del universo dentro de la estructura de la física. Debería decir desde un principio que esa explicación puede ser bastante errónea. No obstante no creo que importe. Lo que está en juego es si algún acto sobrenatural es necesario, o no, para comenzar el universo. Si puede construirse una teoría científica verosímil que explique el origen del universo físico completo, entonces, al menos conocemos que una explicación científica es posible, sea o no correcta la teoría actual.

¿Hubo un Evento de Creación?

Todo debate sobre el origen del universo presupone que el universo *tuvo* un origen. Las culturas más antiguas estaban inclinadas a una visión del tiempo en la cual el mundo no tenía un principio, sino en cambio experimentaba ciclos repetitivos sin fin. Es interesante hallar el origen de estas ideas. Las tribus primitivas siempre vivieron en armonía con la naturaleza, dependiendo para su supervivencia del ritmo de las estaciones y otros períodos naturales. Muchas generaciones pasarían sin alteración de estas circunstancias, por lo tanto la idea de un cambio unidireccional o de progreso histórico no se les ocurrió. Las preguntas sobre el origen y el destino del mundo yacían fuera de su concepción de la realidad. Estaban en cambio preocupados con mitos concernientes a patrones rítmicos, y la necesidad de serles propicios a los dioses asociados con cada ciclo para asegurar fertilidad continua y estabilidad.

La aparición de las primeras civilizaciones en China y en el Medio Oriente no introdujo mucha diferencia en esta visión. Stanley Jaki¹⁶, un clérigo benedictino nacido en Hungría que tiene doctorados tanto en

16



LOS CIENTÍFICOS Y LA FILOSOFÍA

Respuestas de Stanley Jaki a Molly Baldwin y Patricia Pintado Mascareño

Stanley Jaki nació en Györ (Hungría) en 1924 y es Profesor Emérito de la Universidad Seton Hall de New Jersey. Ingresó en la orden benedictina en 1942. Doctor en Teología y Física, durante los últimos treinta y cinco años ha realizado numerosos estudios especializados en historia y filosofía de la ciencia. Es Doctor Honoris Causa por seis universidades.

En 1970 le fue otorgado el Premio Lecomte de Nouy. En 1987 recibió el Premio Templeton en atención a sus publicaciones (en 1995 Paul Davies, el autor de este libro recibió el mismo premio). Desde 1989 es Fellow del Centro de Investigación Teológica de Princeton. Ha sido nombrado recientemente Miembro de la Academia Pontificia de Ciencias. Ha publicado 22 libros, entre los que destacan *The Relevance of Physics* (1966) y *The Road of Science and the Ways to God* (1978). En castellano se ha publicado *Ciencia, Fe y Cultura* (MC, 1990; ver Atlántida, 1990, pág. 484).

El estilo del profesor Jaki es muy personal y lleno de un fino sentido del humor: su enseñanza queda ilustrada con abundantes ejemplos. Juega con variados recursos del idioma, en una exposición llena de metáforas y delicados matices. Su obra resulta desmitificadora. Quien desea discutir sus conclusiones encuentra abundantes ocasiones para hacerlo, pero debe emplear un instrumento que Jaki domino con soltura: los hechos, la realidad histórica

Mr. Jaki, usted ha dicho que las mesas de todas las aulas y laboratorios deberían tener grabadas las palabras de Maxwell: "Una de las pruebas más difíciles para una mente científica es conocer los límites del método científico".

— ¿Cuáles son los límites del método científico?

—los límites de la Ciencia (y al hablar de Ciencia me refiero a su forma más exacta, es decir, a la Física) los fija su propio método. El método de la Física versa sobre los aspectos cuantitativos de las cosas en movimiento. Sólo podemos aplicar legítimamente el método de la Física cuando captamos rasgos cuantitativos en las cosas. Pero cuando ante las cosas nos surgen preguntas como "¿Y es esto bonito?", "¿Esto existe?" o "¿Es esto moralmente bueno?", nos preguntamos cosas que el método de la Física no puede contestar. Actualmente es muy importante —en momentos en que muchos desean respuestas científicas a sus preguntas— que esta limitación del método científico sea manifestada con frecuencia y firmeza por físicos destacados. Los físicos tienen una gran autoridad epistemológica. Si un Premio Nóbel de Física dice algo, incluso si no está relacionado con su campo específico de estudio, al poco tiempo sus declaraciones son publicadas en la prensa. Puede hablar de cuanto existe bajo el cielo, puede incluso decir tonterías, pero diga lo que diga, uno tiende a dudar de sí mismo antes que de las palabras de un Nóbel de Física. Algunos físicos han abusado mucho de la confianza que la gente tiene en ellos. En cierto modo, dada que este abuso se ha convertido en algo bastante habitual, descubrimos una pista que conduce a uno de los mayores males de la cultura moderna occidental: un interés casi exclusive en las cantidades. Cuando se trata de analizar una cuestión moral se ha puesto de moda recurrir a las estadísticas: ¿Cuánta gente actúa de este modo y cuántos actúan de otra manera? luego, si es que se llega alguna conclusión, se afirma que es preferible la actuación de la mayoría a la de la minoría.

En otras palabras, el peligro que existe —en potencia— en el método científico es que bajo su influencia podemos encasillar la sensibilidad en unos patrones previamente fijados. Dado que un patrón o modelo puede medirse, podemos caer en la tentación de pensar que una vez obtenidos ciertos resultados cuantitativos, hemos hallado la solución a nuestra pregunta. Obrando de este modo tal vez hayamos eliminado los aspectos más importantes de la pregunta, especialmente si es de estética, moral o sobre la existencia como tal. Por ejemplo, un científico mira a través de su microscopio. A lo largo de este proceso aplica legítimamente el método científico. Pero ese método no puede siquiera asegurarte que el microscopio está delante de él. Pongo énfasis en el verbo ser o estar, el más metafísico de todos los verbos. Con ese verbo el método de la ciencia no tiene nada que hacer.

[Distinción entre cuantitativo y cualitativo]

— ¿Qué piensa usted sobre la necesidad de unir en los planes de estudio de las universidades los estudios humanísticos y los científicos?

—Opino que los estudios humanísticos y los científicos deben estar separados. No se debe intentar fundirlos porque parten de presupuesto distintos y emplean métodos también distintos. En Humanidades, por ejemplo, cuando estudiamos a Dante, no preguntamos: ¿Cuántas letra hay en tal o cual obra de Dante? Pregunta que en el campo científico sería lógica. Al estudiar obras literarias nos mueve un propósito muy específico; para tal estudio el método científico sirve más bien poco. Las grandes obras literarias ofrecen, por lo general, lecciones de moralidad, de ética. Versan sobre los designios humanos, el destino, las reacciones de los distintos individuos ante cuestiones de conciencia. Ninguna de estas preguntas puede ser solucionada empleando un método científico. Debemos cultivar tanto los aspectos cuantitativos de las cosas como aquellos que no son mensurables; los aspectos cualitativos de esas mismas cosas, de esos procesos y experiencias. Dado que las Humanidades parten de un método que no es científico y que los aspectos cuantitativos de las cosas dan par supuesto otro método, ambos deben ser tratados de formas distintas. El problema de nuestra cultura es que estamos condicionados por 200 o 300 años de ciencia y, por lo tanto, es muy difícil tratar sólo con cuestiones de tipo cuantitativo, aun si tenemos en mente el valor tan importante que se le da en nuestro siglo a la ciencia.

[No unir lo que dios ha separado]

Me gustaría repetir algo que ya he destacado muchas veces, a saber, que ningún hombre debe unir lo que Dios ha separado. ¿De qué manera o en qué sentido separó Dios estas cosas? El sentido es que existe una irreductibilidad conceptual entre los aspectos cuantitativos y cualitativos de las cosas. A modo de ejemplo podríamos considerar la acción de asesinar. Tal acción —se coge un cuchillo y se le clava a otro en la espalda— puede ser descrita correctamente en términos cuantitativos. Se puede medir el tamaño del cuchillo, la profundidad de la herida y el momento exacto en que expiró la víctima. Pese a ello, estos datos no nos llevarían a descubrir si la persona muerta era inocente, o si la acción fue lícita o ilícita moralmente, o incluso si la persona que cometió el crimen sintió o no remordimiento. Los aspectos físicos y morales de una misma acción no se pueden equiparar conceptualmente. A esto me refiero al afirmar que "nadie debe unir lo que Dios ha separado". Estos aspectos no están separados en el sentido de que no tienen nada que ver el uno con el otro. Pero al intentar comprender estos aspectos —diferentes—, debemos tener en cuenta que tenemos entre manos conceptos totalmente distintos. En este sentido las Humanidades no pueden convertirse en Ciencias, ni éstas podrán ser nunca una rama de los estudios humanísticos.

—Usted ha afirmado que el gran "crimen" de este siglo es decir que el único verdadero conocimiento es aquel que puede medirse cuantitativamente. ¿Cuáles son las con secuencias más destacadas de este "crimen"?

—Es un crimen en el sentido de que estas aplicaciones unilaterales del método cuantitativo llegan a privar al ser humano de su sensibilidad hacia los aspectos incommensurables de la existencia. La principal consecuencia es la relativización de los puntos de vista morales. En lugar de movernos en una perspectiva moral, según la cual una acción es intrínsecamente buena y otra es intrínsecamente mala, ahora seguimos un modelo behaviorista. Esta es la base del relativismo moderno que se fundamenta en la creencia de que existen varios patrones de comportamiento, o, como dice la popular frase americana, "estilos de vida alternativos". No se hacen más preguntas.

— ¿Cómo describiría usted la actitud de la Iglesia hacia la Ciencia a lo largo de la historia?

—La actitud de la Iglesia hacia la Ciencia ha sido muy beneficiosa. Considerada en sí misma, dicha actitud no tiene que ser útil a la Ciencia como tal, dado que el campo de la Iglesia no es el mundo de la Ciencia. Como se decía en tiempos de Galileo, y como de hecho el propio Galileo afirmó citando a San Agustín: "la razón de ser de la Iglesia no es explicar a la gente cómo funciona el Cielo, sino cómo ir al Cielo".

— ¿Qué debe hacerse si las conclusiones a las que llega la Ciencia son contrarias a las enseñanzas de la Iglesia?

—Toda conclusión científica es siempre cuantitativa. Como tal no tiene contenido moral. No tiene siquiera contenido ontológico. Presupone un estado ontológico. Cuando un científico va más allá de la aplicación apropiada del método científico, se le debe llamar la atención y advertir que ha sobrepasado los límites de su competencia. En otras palabras, cuando nos encontramos ante conclusiones científicas y enseñanzas de la Iglesia que están enfrentadas, lo peor que puede hacer uno es perder la calma. Uno debe especificar la naturaleza de sus objeciones, sean cuantitativas o no. En el primer caso no puede ir contra las enseñanzas de la Iglesia. En el otro caso, no es una objeción científica sino filosófica, ética o pseudo filosófica, y como tal debe ser tratada.

Tenemos el caso del aborto. La Medicina moderna ha llegado tan lejos que es posible realizar un aborto, sin perjudicar a la madre, cuando el feto tiene pocas semanas. Esto es algo médicaamente comprobado. Ahora bien, sólo porque se haya llegado a este punto no significa que el aborto sea moralmente lícito. Y ahora analicemos un caso de hurto. Hay ladrones muy hábiles que actúan con tal maestría que nadie se da cuenta de lo ocurrido. En estos casos, ¿el acto deja de considerarse un robo, por el simple hecho de haber sido realizado con una pillería ejemplar?

Siempre hay que echar mano de dos distinciones fundamentales: Si se habla simplemente de cantidades o si nos referimos a una serie de cosas no mensurables y con contenido moral.

[¿La existencia de Dios es científicamente demostrable?]

—Usted afirma que las premisas filosóficas de las que se parte en el uso creativo del método científico son semejantes a las premisas filosóficas mediante las cuales uno puede demostrar la existencia de Dios. ¿Es, por tanto, correcta la afirmación de que esas premisas son propias de ontologías realistas, y que por lo tanto la Ciencia demuestra la existencia de Dios?

—El método científico no demuestra la existencia de las cosas, mucho menos la de Dios. Volvamos a la base de todo. Como dije antes, tan pronto como el científico afirma "hay un microscopio delante de mí", está hablando como un filósofo, tenga o no conocimientos de filosofía. La esencia de toda prueba de la existencia de Dios está ligada a la existencia del universo o del cosmos. Si existe un universo, y lo hay, entonces la razón de su existencia sólo puede encontrarse en un factor externo al universo. Ese factor es Dios. (Me gustaría precisar que tomamos universo, en el sentido estricto de la palabra que el universo es la suma de todo. No puede haber dos universos. La pluralidad de universos es una contradicción en sí misma.)

La Ciencia moderna tiene, en términos de la Teoría General de la Relatividad de Einstein, un método que está libre de contradicciones con la gravitación interactiva de todo lo material. De donde se sigue que, desde el punto de vista de la ciencia, la noción de universo es una noción legítima. ¿Por qué esta conclusión es tan importante? Porque Immanuel Kant, en su ataque al argumento cosmológico, declaró que lo anterior no presenta razones concluyentes, porque la noción de universo es una noción falsa. De hecho, Kant escribió que el concepto de universo es el fruto ilegítimo de los deseos metafísicos del intelecto. Los científicos modernos que se dedican al estudio de la cosmología deben, sin embargo, basar sus estudios en la Teoría General de la Relatividad de Einstein y, por lo tanto, admitir que el universo es un concepto legítimo desde la perspectiva científica. Así pues, la Cosmología moderna socava la objeción de Kant al argumento cosmológico. Es más, la ciencia moderna presenta el universo como algo extremadamente específico, tanto en el espacio como en el tiempo. En consecuencia, y contrariamente a lo afirmado por Kant, la ciencia no plantea dificultades a la hora de formular una pregunta tan propia de la Metafísica como es ¿Por qué el universo es así y no de otra manera? Cualquier persona mínimamente informada de la historia del pensamiento a lo largo de los siglos pasados podrá percibir sin problemas que esta contribución de la ciencia al argumento cosmológico es de suma importancia.

— ¿No cree usted que, aunque tal vez sea de modo inconsciente, las ideas filosóficas de cada científico en particular influyen en su trabajo?

—En todas las épocas, bien sea el siglo XIX, el XVIII o el XIII, la mayoría de los científicos compartía los puntos de vista de gran parte de los otros grupos de profesionales. También es verdad que, en la mayor parte de los casos, las hipótesis empleadas en los trabajos no son un reflejo del quehacer científico. Y cuando lo son, suele ocurrir que se emplean formulaciones muy

primitivas de las cuestiones filosóficas. Por lo tanto, es muy difícil intentar aprender filosofía a través de las obras de los premios Nóbels. Es casi tan peligroso como ir a una carnicería en busca de luces para comprender mejor la obra de Goya, por el simple hecho de que en muchas carnicerías se ve carne ensangrentada.

Hoy en día, hay pocas cosas más peligrosas o dañinas que leer obras escritas por personas que han sido galardonadas con el Premio Nóbel de Biología, Química, o Física, y que intentan hacer asequible la Ciencia. Son aún más dañinas cuando se leen con la idea de aprender de ellas ética. Fíjémonos —por ejemplo— en Azar y necesidad, de Jacques Monod. En el libro, Monod nunca definió el concepto de azar. Si el título del libro ya cojea, desde el punto de vista filosófico, ¿por qué leerlo? Lo mismo ocurre con los libros de Ilya Prigogine sobre la Filosofía de la Ciencia. El autor afirma que dado que la Ciencia no puede predecir los estados ulteriores de procesos similares al del flujo turbulento, éstos no son producto de ninguna causa. Este es un argumento filosófico muy pobre.

—El libro de Stephen Hawking ha tenido mucho éxito par todo el mundo. ¿A qué se debe?

—Probablemente a que el ambiente cultural contemporáneo se caracteriza por su agnosticismo y por su ateísmo. En tales ambientes, uno busca en la Ciencia la confirmación de que Dios no existe. Porque si no hay un Dios, uno puede hacer lo que quiera. Para un agnóstico o un materialista, esto es algo muy reconfortante. Llegados a este punto, sólo existen sistemas, modelos o formas alternativas de vida que se emplean según convenga.

—¿Qué opina sobre el hecho de que muchos científicos acepten la interpretación de Copenhague del mecanismo del quantum?

—Tal interpretación es una falacia. Se basa en la premisa de que una acción intermedia que no se pueda medir con exactitud no puede producirse con exactitud. Lo es porque en la primera parte de la premisa la palabra exactitud se emplea en su sentido operativo, y en la segunda parte se toma en sentido ontológico. Esto es erróneo, porque entre ambos campos no puede haber relación.

Mucho antes de que Heisenberg formulara el Principio de la Indeterminación y de que le diera aquel valor anti-causal en 1927, muchos físicos destacados, entre ellos el propio Heisenberg, ya habían rechazado el Principio de Causalidad en otros campos. Lo que ocurrió fue que en lugar de encontrar en la ciencia una demostración o refutación de la causalidad, lo que encontraron fue una especie de recubrimiento de cientificismo a su incredulidad en la causalidad. Tal recubrimiento y una refutación científica son dos cosas bien distintas. La apariencia de ser algo científico se buscó porque la mentalidad de la cultura moderna se basa en el pragmatismo y en el relativismo. Tal mentalidad busca una gratificación inmediata, y trata de ignorar las consecuencias a largo plazo (fundadas en la causalidad) de las acciones del individuo. Para poder sostener esta mentalidad hay que tener un punto de vista mediante el cual las cosas parezcan ser incoherentes. La apariencia de cientificismo que adopta el rechazo de la causalidad sostiene esta reivindicación pseudo cultural de la incoherencia de las cosas y de las acciones.

En otras palabras, desde esta perspectiva el fin de la vida es pasar por muchos momentos en que recibimos gratificaciones inmediatas, sin necesidad de plantearnos la relación entre unos momentos y otros, ni sus consecuencias. Dicho de otro modo: debe tenerse en cuenta que la mentalidad moderna está enferma como consecuencia del pecado original y que esto será así siempre. Usemos los argumentos que usemos, el mundo sigue siendo lo que era, lo que es y lo que seguirá siendo, en cuanto a su actitud negativa hacia los argumentos filosóficos puros y la religiosidad sincera.

—¿Qué diferencia existe entre la mente humana y la computadora más perfecta?

—Si se considera que la mente humana equivale al cerebro, que es un conjunto de moléculas, puede establecerse un paralelismo entre el cerebro y una computadora. Pero, ¿quién ha demostrado que la mente humana se reduce al cerebro? Si todo es asunto propio de la mente humana, entonces, ¿cómo puede la mente llegar a la idea de la nada? o ¿cómo puede la mente plantearse funciones matemáticas que no se pueden expresar en términos cuantitativos exactos, tales como, por ejemplo, la tendencia al infinito en el cálculo integral o el reino de los números irracionales e imaginarios? Si la mente es meramente un conjunto de moléculas, ¿cómo se explica que llegue a tales nociones, y muy especialmente a la noción de la nada? La nada es una de las invenciones más espectaculares del poder metafísico de la mente humana. Cuando se escribe, se transforma en algo, pero a pesar de todo significa que no hay nada.

Si la mente humana se reduce al cerebro, resulta imposible tratar con cosas tan esenciales en la vida de la mente como son las abstracciones (implícitas en toda palabra) y los hechos en la vida espiritual.

—¿Y qué tiene que decir la Ciencia sobre la evolución biológica?

—La Ciencia puede declarar que ha habido un pasado biológico de al menos 3 billones de años. Puede establecer que hay cierta sucesión entre varias especies y géneros. Pero cuando la Ciencia emplea términos como especies, géneros y phyla, trae a colación los poderes metafísicos de la mente. Uno no puede ver los distintos reinos animales ni las especies. Todas estas nociones, tan esenciales en la biología evolutiva, son generalizaciones. La biología evolutiva está repleta de conceptos metafísicos. Es más, la ciencia biológica no puede decir nada acerca del propósito de la evolución. Para empezar, la Ciencia no ha demostrado empíricamente el origen de una especie a partir de otra. Cuando yo accepto la evolución, y desde luego que la acepto partiendo de los poderes metafísicos de mi mente, lo considero como un reflejo maravilloso de esos poderes metafísicos. Pero de ninguna forma un método científico me puede decir el propósito de la evolución y sin lugar a dudas no me sirve para nada una evolución basada en la probabilidad, porque probabilidad es otro modo de decir ignorancia. Hace mucho que debió eliminarse esa palabra de la terminología filosófica y científica.

—¿Por qué los teoremas de Gödel sobre lo incompleto son tan importantes?

—Considerados en sí mismos, dichos teoremas afirman sólo que las matemáticas no pueden ser consideradas como un conjunto de proposiciones verdaderas a priori y, por lo tanto, necesarias. Esto, sin embargo, admite una consecuencia muy importante para la cosmología científica, que en parte es empírica y en parte teórica. Desde el punto de vista teórico, la cosmología científica tiene mucho de matemática. En consecuencia ninguna expresión de cosmología científica puede tomarse como necesariamente cierta, basándose en su simplicidad matemática. No obstante algunos cosmólogos modernos (Hawking, por ejemplo) tienen la esperanza de dar con alguna teoría cosmológica que demuestre que el universo tiene que ser necesariamente como es y lo que es. Un universo que existe necesariamente no necesita un creador. La importancia de los teoremas de Gödel debe estar clara ahora. Debido a ello es imposible sostener el principal principio del paganismo clásico y moderno, a saber, que el universo es el ser primario.

física como en teología, ha hecho un estudio detallado de las creencias antiguas en cosmologías cíclicas. Él señala que el sistema dinástico chino refleja una indiferencia general hacia la progresión histórica. "Sus fechas cronológicas son reiniciadas con cada nueva dinastía, una circunstancia que sugiere que para ellos el flujo del tiempo no era lineal, sino cíclico. En verdad, todos los eventos, políticos y culturales, representan el patrón periódico chino, una pequeña réplica de la interacción de dos fuerzas básicas del cosmos, el Yin y el Yang.... El éxito alternaba con el fracaso, como el progreso con la decadencia."¹⁷

El sistema hindú consiste en ciclos dentro de ciclos de duración inmensa. ¡Cuatro yugas hacen un mahayuga de 4,32 millones de años; mil mahayugas forman un kalpa, dos kalpas constituyen un día de Brahma; el ciclo de vida de Brahma es cien años de Brahma, o sea 311 trillones de años! Jaki compara los ciclos hindúes a un molino de noria sin salida, que contribuye en gran medida al efecto hipnótico el cual describe como desesperación y abatimiento de la cultura hindú. Lo cíclico y su fatalismo asociado también están presentes en las cosmologías babilónicas, egipcias y mayas. Jaki refiere la historia de Itza, una tribu maya bien armada, quienes voluntariamente renunciaron controlar a un pequeño contingente de soldados españoles en 1698, habiéndoles informado ochenta años atrás a dos misioneros españoles que esa fecha marcaba el comienzo de su era fatídica.

La filosofía griega estaba también basada en el concepto de ciclos eternos, pero, en contraste con la desesperanza pesimista de los mayas, los griegos creían que su cultura representaba la cima del ciclo – el máximo pináculo del progreso. La naturaleza cíclica del tiempo en el sistema griego fue heredado de los árabes, quienes permanecieron como custodios de la cultura griega hasta que esta fue transmitida al cristianismo en el medioevo. Mucha de la visión del mundo presente de las culturas europeas puede ser rastreada hasta el choque monumental que entonces ocurrió entre las filosofías griega y Judeo-Cristiana. Por supuesto es fundamental para las doctrinas judía y cristiana que Dios creó al universo en un momento específico en el pasado, y que los eventos subsecuentes forma una secuencia que se desarrolla en forma unidireccional. Debido a esto un sentido de progresión histórica – la Caída, el Convenio, la Encarnación y Resurrección, la Segunda Venida – impregna estas religiones y establece un severo contraste con la noción griega del eterno retorno. En su ansiedad de adherir a un tiempo lineal más que cíclico, los antiguos Padres de la Iglesia denunciaron como pagana la visión cíclica del mundo de los filósofos griegos a pesar de su admiración general del pensamiento griego. De este modo encontramos a Tomás de Aquino reconociendo el poder de los argumentos filosóficos de Aristóteles sobre que el universo tiene que haber existido siempre, pero apelando para creer en un origen cósmico a fundamentos bíblicos.

Una característica fundamental de la doctrina Judeo-Cristiana de la creación, es que el Creador es enteramente separado e independiente de su creación; esto es, la existencia de Dios no asegura automáticamente la existencia del universo, como ocurre en algunos esquemas paganos donde el mundo físico emana del Creador como una extensión automática de su ser. En vez, el universo devino en su existencia en un instante definido en el tiempo como un acto deliberado de creación sobrenatural de un ser ya existente.

Tan sencillo como este concepto pueda parecer, causó una disputa doctrinal durante siglos, parcialmente porque los antiguos textos son un tanto vagos en la materia. La descripción bíblica del Génesis, por ejemplo, la cual se fundamenta en anteriores mitos sobre la creación del Medio Oriente, es extensa en poesía, pero breve en detalles fácticos. No hay una indicación clara si Dios meramente ordenó un caos primigenio, o creó la materia y la luz en un vacío preexistente, o hizo algo aún más profundo. Abundan las preguntas incómodas. ¿Qué estaba dios haciendo antes de crear el universo? ¿Por qué lo creó en un instante en el tiempo y no en otro? ¿Si había estado contento durando una eternidad sin un universo, qué causó que cambiara de parecer y creara uno?

Sin embargo, si el universo, que es la totalidad de las cosas, no puede ser considerado como lo primario o esencial, queda abierto el campo a una búsqueda filosófica y teológica de ese Principio que es el Creador del universo. O existimos necesariamente o somos creados. La tercera alternativa, que todo existe por azar, no merece ni siquiera ser considerada. El azar es un sinónimo de nuestra ignorancia. Esto lo han señalado muchos sabios, incluso el Cardenal Newman (el año pasado celebramos el centenario de su muerte). Newman estaba muy cerca del punto principal de nuestra conversación cuando escribió: "Hay sólo un pensamiento mayor que el de nuestro universo, y ese pensamiento es el de su Creador".

http://www.mercaba.org/FICHAS/arvo.net/fisica_y_religion_en_perspectiva.htm
<http://www.arvo.net/includes/documento.php?IdDoc=2227&IdSec=406>

¹⁷ "The History of Science and the Idea of an Oscillating Universe" by Stanley Jaki, in *Cosmology, History and Theology* (eds. W. Yourgrau & A. D. Breck, Plenum, New York and London. 1977), p. 239.

La Biblia deja mucho espacio para debatir sobre estos temas. Y ciertamente ha habido mucho debate. De hecho gran parte de la doctrina cristiana concerniente a la creación ha sido desarrollada mucho después que el Génesis fuera escrito, y fue influida por tanto por el pensamiento griego como por el judío. Dos aspectos en particular son interesantes desde el punto de vista científico. El primero es la relación de Dios con el tiempo; el segundo es su relación con la materia.

Todas las principales religiones occidentales proclaman que Dios es eterno, pero la palabra "eterno" puede tener dos significados bastante distintos. Por un lado puede significar que Dios ha existido por una duración infinita de tiempo en el pasado, y continuará existiendo por una duración infinita en el futuro; o puede significar que Dios está fuera del tiempo mismo. Como mencionara en el capítulo 1, San Agustín optó por el último cuando aseguró que Dios hizo el mundo "con el tiempo y no en el tiempo." Considerando al tiempo como *parte* del universo físico, más que como algo en el cual la creación del universo ocurre, y colocando a Dios fuera, Agustín evitó limpiamente el problema de qué estaba haciendo Dios antes de la creación.

No obstante esta ventaja tuvo su precio. Todos pueden ver la fuerza del argumento "algo debe haber iniciado todo." En el siglo diecisiete estaba de moda referirse al universo como una máquina gigantesca que había sido puesta en marcha por Dios. Aún hoy mucha gente gusta de creer en el rol de Dios como el Primer Motor o la Primera Causa en una cadena cósmica causal. ¿Pero qué significa para un Dios que está fuera del tiempo causar algo? A causa de esta dificultad, los creyentes en un Dios atemporal prefieren enfatizar su rol en sostener la creación a cada momento de su existencia. No hay una distinción trazada entre creación y preservación: ambas son para los ojos de un Dios atemporal una y la misma acción.

La relación de Dios con la materia similarmente ha sido sujeto de dificultades doctrinales. Algunos mitos de la creación, como la versión babilónica, pintan una descripción del cosmos creado a partir de un caos primigenio. ("Cosmos" literalmente significa "orden" y "belleza"; este último aspecto sobrevive en la moderna palabra "cosmética.") De acuerdo a esta visión, la materia precede, y es ordenada por, un acto creativo sobrenatural. Una imagen similar fue expuesta en la Grecia clásica: El Demiurgo de Platón estaba restringido a tener que trabajar con materiales ya existentes. Esta fue también la posición tomada por los Cristianos Gnósticos, quienes se refirieron a la materia como corrupta, y por lo tanto un producto más del demonio que de Dios.

En realidad el uso más amplio de la palabra "Dios" en estas discusiones puede ser bastante confuso, dada la amplia variedad de esquemas teológicos que han sido propuestos a lo largo de la historia. La creencia en un ser divino que inicia el universo y luego se "sienta" para ver como se desarrollan los acontecimientos y no toma parte directa en los asuntos subsiguientes es conocida como "deísmo." Aquí la naturaleza de Dios es capturada por la imagen del relojero perfecto, una clase de ingeniero cósmico, quien diseña y construye un mecanismo vasto y elaborado y luego lo hace a andar. En contraste con el deísmo está el "teísmo" que cree en un Dios que es el creador del universo, pero también se involucra en el día a día del mundo, especialmente en los asuntos de los seres humanos, con quien Dios mantiene una relación personal y papel de guía. En ambos, deísmo y teísmo, se hace una clara distinción entre Dios y el mundo, entre el creador y la criatura. Dios es concebido totalmente distinto y más allá del universo, aunque es todavía responsable del universo. En el sistema conocido como "panteísmo" no se hace tal separación entre Dios y el universo físico. Por lo tanto Dios es identificado dentro de la naturaleza misma: todo es parte de Dios, y Dios está en todo. Está también el "panenteísmo," que se asemeja al panteísmo en el sentido que el universo es parte de Dios, pero en el cual no está todo Dios. Una metáfora es aquella en la que el universo es el cuerpo de Dios.

Finalmente, un número de científicos ha propuesto un tipo de Dios que evoluciona dentro de universo, eventualmente volviéndose tan poderoso que se asemeja al Demiurgo de Platón. Uno puede imaginar, por ejemplo, vida inteligente, o aún máquinas inteligentes volviéndose gradualmente más avanzadas esparciéndose por el cosmos, obteniendo control sobre porciones cada vez más grandes hasta que su manipulación de la materia fuera indistinguible de la naturaleza misma. Tal inteligencia parecida a Dios podría desarrollarse de nuestros propios descendientes, o aún haberse desarrollado ya de alguna comunidad o comunidades extraterrestres. La fusión de dos o más inteligencias diferentes durante este proceso evolutivo es concebible. Sistemas de esta clase han sido propuestos por el astrónomo Fred Hoyle, el físico Frank Tipler, y el escritor Isaac Asimov. El Dios en estos esquemas es claramente menos que el universo, y aunque inmensamente poderoso, no es omnipotente, y no puede ser considerado como el creador del universo como un todo, sólo de parte de su contenido organizado. (Al menos que se introdujera algún arreglo particular de relación causal inversa, por medio de la cual la superinteligencia al final del universo actuara hacia atrás en el tiempo para crear tal universo como parte de un lazo causal auto consistente. Hay [indicios de esto en las ideas del físico John Wheeler](#). Fred

Hoyle también discutió este esquema, pero no en el contexto de un evento de creación totalmente incluyente.)

Creación a Partir de la Nada

Los mitos paganos de la creación asumen la existencia de la materia y de un ser divino, y por lo tanto son fundamentalmente dualísticos. Por contraste la Iglesia Cristiana antigua estableció la doctrina de la “creación *ex nihilo*,” en la cual sólo Dios es necesario. Se toma que Él ha creado el universo entero a partir de la nada. El origen de todas las cosas visibles e invisibles, incluyendo la materia, es entonces atribuido a un libre acto de creación de Dios. Una componente importante de esta doctrina es la omnipotencia de Dios: no hay límite a su poder creativo, como fue el caso con el Demiurgo griego. Verdaderamente no solo Dios no está limitado a trabajar con materia preexistente, sino que tampoco está limitado a trabajar con leyes físicas preexistentes, porque parte de su acto creativo fue traer esas leyes a la existencia y subsecuentemente establecer el orden y la armonía del cosmos. La creencia Gnóstica que la materia es corrupta es rechazada por ser incompatible con la Encarnación de Cristo. Por otro lado tampoco la materia es divina como en el esquema panteísta, donde toda la naturaleza está infundida con la presencia de Dios. El universo físico – criatura de Dios – es considerada distinta y separa de su creador.

La importancia de la distinción entre creador y criatura en este sistema es que el mundo creado depende absolutamente para su existencia del creador. Si el mundo físico mismo fuera divino, o algo emanado directamente del creador, entonces éste debería compartir la existencia necesaria del creador. Pero como éste fue creado a partir de la nada, y a causa de que el acto creativo fue una libre elección del creador, el universo no tiene necesariamente que existir. De este modo Agustín escribió: “Tu has creado algo, y ese algo lo creaste de la nada. Tu has hecho el paraíso y la tierra pero no lo has hecho de ti mismo, porque serían iguales a tu misma creación y en consecuencia serían iguales a Ti.”¹⁸ La distinción más obvia entre creador y criatura es que el creador es eterno mientras que el mundo creado tiene un principio. De este modo el antiguo teólogo cristiano Iríneo escribió: “Pero las cosas establecidas son distintas de Él, quien las ha establecido, y que han sido hechas de Él, quien las ha hecho. Porque Él es Él mismo no creado, ambos sin principio ni fin, y sin faltarles nada. Él es Él mismo suficiente para su propia existencia, pero las cosas que han sido hechas por Él han recibido un principio.”¹⁹

Aún hoy persisten diferencias doctrinales concernientes al significado de la creación entre las ramas principales de la Iglesia, y todavía diferencias mayores entre las varias religiones del mundo. Estas van desde las ideas de los cristianos e islámicos fundamentalistas, basadas en una interpretación literal de los textos tradicionales, a aquellas de los pensadores radicales cristianos que prefieren un visión totalmente abstracta de la creación. Pero todos concuerdan que en algún sentido u otro el mundo físico es sí mismo es incompleto. No puede explicarse a si mismo, y puede ser entendido sólo a partir de su dependencia de alguna influencia divina.

El Comienzo del Tiempo

Volviendo a la posición científica del origen del universo, uno puede preguntar nuevamente sobre la evidencia de si realmente hubo un origen. Es ciertamente posible concebir un universo de duración infinita, y siguiendo los trabajos de Copérnico, Galileo y Newton observamos que muchos en la era científica moderna de hecho generalmente creían en un cosmos eterno. No obstante hubo algunos aspectos paradójicos a esta creencia. Newton estaba intrigado acerca de porqué el universo no se precipitaba en una gran masa. ¿Cómo podían las estrellas mantenerse suspendidas en el espacio para siempre, sin un soporte, sin ser arrastradas unas hacia otras por sus mutuas fuerzas de gravedad? Newton propuso una solución ingeniosa. Para que el universo se colapse en su centro de gravedad tiene que *haber* un centro de gravedad. Si, en cambio, el universo fuese infinito en su extensión espacial, y en promedio poblado uniformemente por las estrellas, entonces no habría un centro privilegiado hacia el cual las estrellas pudieran caer. Cualquier estrella dada sería atraída igualmente en todas las direcciones, y no habría una fuerza resultante en ninguna dirección.

¹⁸ *Confessions* by Augustine, book 12, ch 7.

¹⁹ *Against Heresies* by Iranaeus, book III, X, 3.

Esta solución no es realmente satisfactoria, porque es matemáticamente ambigua: todas las fuerzas que compiten son todas infinitas en magnitud. Por lo tanto el misterio de cómo el universo impide colapsarse se mantuvo recurrente y persistió hasta el presente siglo XX. Aún Einstein estaba perplejo. Su propia teoría de la gravitación (la teoría general de la relatividad) fue formulada en 1915, y casi inmediatamente “corregida” en un intento de explicar la estabilidad del cosmos. La enmienda consistió en introducir un término extra en las ecuaciones del campo gravitacional correspondiente a una fuerza de repulsión – un tipo de antigravedad. Si la intensidad de esta fuerza repulsiva estaba ajustada para equipararse a la tracción gravitacional de todos los cuerpos cósmicos unos a otros, la atracción y la repulsión podrían ser balanceadas para producir un universo estático. Desafortunadamente el acto de balanceo resultó ser inestable, por lo tanto el menor disturbio haría causar que una de las fuerzas prevaleciera, o bien dispersando el cosmos en una fuga expansiva, o bien enviándolo a una implosión.

No fue el misterio del colapso del cosmos el único problema con el universo eterno. Estaba también algo llamado la paradoja de Olbers²⁰ que atañe a la oscuridad del cielo nocturno. Aquí la dificultad consistía en que si el universo es infinito en extensión espacial como en antigüedad, entonces la luz de una infinidad de estrellas se estaría derramando sobre la tierra desde el cielo. Un simple cálculo muestra que el cielo no podría ser oscuro bajo esas circunstancias. La paradoja puede ser resuelta asumiendo una edad finita del universo, porque en tal caso seríamos capaces de ver sólo la luz de esas estrellas que hayan tenido tiempo de viajar a través del espacio hacia la Tierra desde el comienzo.

Hoy reconocemos que de ninguna forma una estrella puede permanecer quemándose para siempre. Se le acabaría el combustible. Esto sirve para ilustrar un principio muy general: un universo eterno es incompatible con la existencia continua de procesos físicos irreversibles. Si los sistemas físicos pueden sufrir cambios irreversibles a una velocidad finita, entonces los mismos tendrían que haber completado esos cambios en un tiempo infinitamente anterior. Consecuentemente no podríamos ahora estar siendo testigos de dichos cambios (tales como la producción y emisión de la luz de las estrellas). De hecho el universo físico abunda con procesos irreversibles. En algunos aspectos es más bien como un reloj deteniéndose lentamente. Tal como un reloj no puede mantenerse andando para siempre, así el universo no puede haber estado andando por siempre sin que se la haya “dado cuerda” nuevamente. Estos problemas ocuparon a los científicos durante la mitad del siglo XIX. Hasta entonces los físicos habían lidiado con leyes que eran simétricas en el tiempo, no mostrando ningún favoritismo entre el pasado y el futuro. Entonces la investigación de los procesos termodinámicos cambió eso para bien. En el corazón de la termodinámica yace la segunda ley, que prohíbe al calor fluir espontáneamente desde cuerpos fríos a calientes, mientras que sí permite que fluya desde calientes hacia fríos. Por lo tanto esta ley no es reversible: imprime sobre el universo una flecha del tiempo, señalando el camino del cambio unidireccional. Los científicos llegaron rápidamente a la conclusión que el universo está comprometido en un camino de mano única hacia un estado de equilibrio termodinámico. Esta tendencia hacia la uniformidad, donde las temperaturas se emparejan y el universo termina en un estado estabilizado, se conoció como la “muerte térmica.” Esta representa un estado de desorden molecular o entropía máximos. El hecho que el universo no haya muerto todavía – esto es, está aún en un estado menor al máximo de entropía – implica que no puede haber durado por toda la eternidad.

En 1920 los astrónomos descubrieron que la imagen de un universo estático estaba en todo caso equivocada. Encontraron que el universo de hecho se está expandiendo, con las galaxias huyendo unas de otras. Esta es la base de la bien conocida teoría del big-bang, de acuerdo a la cual el universo entero devino en su existencia abruptamente, hace aproximadamente quince mil millones de años atrás, en una gigantesca explosión. La expansión hoy vista puede ser considerada como un vestigio de ese estallido primigenio. El descubrimiento del big-bang a menudo ha sido tomado como la confirmación de los acontecimientos bíblicos del Génesis. Efectivamente, en 1951, el Papa Pío XII aludió a ello en un discurso en la Academia Pontificia de Ciencias. Por supuesto, el escenario del big-bang presenta sólo la más superficial resemejanza del Génesis, por lo tanto éste tiene que ser interpretado de una forma casi completamente simbólica para que se pueda establecer alguna conexión. Lo mejor que se puede decir es que ambos demandan un comienzo abrupto más que gradual o inexistente.

²⁰ http://das.uchile.cl/cursos/eh28b/2p10_olbers.pdf
<http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Launchpad/9192/olbers.htm>
<http://perso.wanadoo.es/galileus2001/olbers.htm>
<http://www.arachnoid.com/sky/olbersparadox.html>
<http://zebu.uoregon.edu/~imamura/123/lecture-5/olbers.html>
<http://www.math.ucr.edu/home/baez/physics/Relativity/GR/olbers.html>
<http://cmb.physics.wisc.edu/tutorial/olbers.html>

La teoría del big-bang automáticamente evita la paradoja de un cosmos eterno. Debido a que el universo es finito en edad, no hay problemas con los procesos irreversibles. El universo comenzó evidentemente con la "cuerda cargada" y actualmente está todavía ocupado descargándola. La noche es oscura porque podemos ver solamente una distancia finita en el espacio (cerca de quince mil millones de años luz), siendo esta la distancia máxima que la luz ha podido viajar hacia la tierra desde el comienzo. Tampoco está la dificultad del universo colapsando bajo su propio peso. Debido a que las galaxias están separándose se impide que caigan todas juntas, al menos por un tiempo.

Si bien la teoría soluciona algunos problemas nos confronta con otros, no siendo el menor de los mismos el explicar qué causó el big-bang en primer lugar. Es aquí que encontramos una importante sutileza acerca de la naturaleza del big-bang. Algunas explicaciones populares dan la impresión que fue la explosión de un cúmulo concentrado de materia ubicado en algún lugar particular en un vacío preexistente. Esta esa una conclusión groseramente errónea. La teoría del big-bang está basada en la teoría general de la relatividad de Einstein. Una de las características principales de la teoría general de la relatividad es que los asuntos de la materia no pueden ser separados de los asuntos del espacio y del tiempo. Es una unión que tiene profundas implicancias en el origen del universo. Si uno se imagina "pasando la película cósmica hacia atrás," entonces las galaxias se aproximan más y más cerca hasta que se fusionan. Luego el material galáctico se exprime más y más hasta que un estado de enorme densidad es alcanzado. Uno podría preguntarse si hay un límite para el grado de compresión en el momento en que pasmos hacia atrás al instante de la explosión.

Es fácil de ver que no puede haber un límite simple. Supongamos que hubiera un estado de máxima compresión. Esto implicaría la existencia de alguna clase de fuerza repulsiva que venciera la enorme gravedad, de otra forma la gravedad ganaría y el material sería comprimido todavía más. Más aún, esta fuerza expulsiva tendría que ser verdaderamente enorme, porque la fuerza implosiva de la gravedad crece sin límite a medida que la compresión crece. ¿Entonces, que podría ser esa fuerza estabilizadora? Un tipo de presión o rigidez del material, quizás - ¿Quién sabe que fuerzas podría desplegar la naturaleza en esas condiciones extremas? No obstante aunque no conocemos el detalle de las fuerzas se pueden aplicar ciertas consideraciones generales. Por ejemplo, en la medida que el material se vuelve más y más rígido, la velocidad del sonido en el material cósmico se vuelve más rápida. Parece claro que, si la rigidez del primigenio material cósmico se volviera suficientemente grande la velocidad del sonido superaría la velocidad de la luz. Pero esto es estrictamente contrario a la teoría de la relatividad, la que requiere que ninguna influencia física puede viajar más rápido que la luz. Por lo tanto el material no puede nunca haber sido infinitamente rígido. Consecuentemente, en alguna etapa durante la compresión, la fuerza de la gravedad ha de ser mayor que la fuerza de rigidez, lo cual implica que la rigidez sería incapaz de contener la tendencia de compresión de la gravedad.

La conclusión a la que se arribó concerniente a esta lucha entre las fuerzas primigenias fue que, bajo condiciones de extrema compresión como la ocurrida durante el big-bang, no hay fuerza en el universo capaz de vencer el aplastante poder de la gravedad. El hundimiento no tiene límite. Si la materia en el universo estuviera espaciada uniformemente, entonces ésta debió haber estado infinitamente comprimida en el primer momento. En otras palabras, el cosmos entero debió haber estado apretado en un solo punto. En ese punto la fuerza gravitacional y la densidad del material eran infinitas. Un punto de infinita compresión es conocido en la física matemática como una "singularidad."

Aunque uno es conducido con fundamentos bastante elementales a esperar una singularidad en el origen del universo, se requiere una investigación matemática de alguna delicadeza para establecer el resultado rigurosamente. Esta investigación fue el trabajo principal de los físicos matemáticos británicos Roger Penrose y Stephen Hawking. En una serie de poderosos teoremas probaron que una singularidad en el big-bang resulta inevitable en tanto y en cuanto la gravedad permanezca como una fuerza atractiva bajo las extremas condiciones del universo primigenio. El aspecto más significativo de sus resultados es que la singularidad no es evitada aún si el material cósmico está distribuido no uniformemente. Es una característica general del universo descripta por la teoría gravitacional de Einstein – o para esta cuestión, cualquier teoría similar.

Hubo una gran resistencia entre los físicos y cosmólogos a la idea de una singularidad en el big-bang cuando esta fue debatida por vez primera. Una razón para esto concierne al hecho arriba mencionado de que espacio, materia y tiempo están unidos por la teoría general de la relatividad. Esta unión acarrea importantes implicancias para la naturaleza del universo expansivo. Ingenuamente uno puede suponer que las galaxias están apartándose rápidamente a través del espacio. Una imagen más precisa, no obstante, es imaginar el espacio mismo como expandiéndose o contrayéndose. Esto es que las galaxias se apartan porque el espacio entre ellas se expande. (Los lectores que estén incómodos con la idea de que el espacio se pueda contraer pueden referirse a mi libro *The Edge of Infinity* para mayor

discusión.²¹) A la inversa, en el pasado, el espacio estaba contraído. Si consideramos el momento de infinita compresión, el espacio estaba infinitamente contraído. Pero si el espacio está infinitamente contraído, literalmente debe desaparecer, como un globo que se desinfla hasta la nada. Y la importantísima unión entre espacio, tiempo, y materia además implica que el tiempo también debe desaparecer. No puede haber tiempo sin espacio. Por lo tanto la singularidad material es también una singularidad del espacio-tiempo. A causa que todas nuestras leyes de la física están formuladas en términos de espacio y tiempo, esas leyes no se pueden aplicar más allá del punto en el cual el espacio y el tiempo cesan de existir. Por lo tanto las leyes de la física deben quebrarse en la singularidad.

La imagen que obtenemos del origen del universo es una muy particular. En un instante finito en el pasado el universo de espacio, tiempo y materia está limitado por una singularidad del espacio-tiempo. El devenir en existencia del universo es por lo tanto representado no sólo por la aparición abrupta de la materia, sino del espacio y del tiempo también.

El significado de este resultado no debe ser subestimado. La gente a menudo pregunta ¿Dónde ocurrió el big-bang? No ocurrió en ningún punto del espacio en absoluto. El espacio mismo devino en existencia con el big-bang. Hay una dificultad similar con la pregunta ¿Qué pasó antes del big-bang? La respuesta es no hubo un "antes." El tiempo mismo comenzó con el big-bang. Como hemos visto, San Agustín mucho tiempo atrás proclamó que el mundo había sido hecho con el tiempo y no dentro del tiempo, y esa es precisamente la postura de la ciencia moderna.

Sin embargo no todos los científicos estaban preparados para aceptar esto. Mientras aceptaban la expansión del universo, algunos cosmólogos intentaron construir teorías que sin embargo evitaban un origen singular para el espacio y el tiempo.

Visitando Nuevamente el Mundo Cílico

A pesar de la fuerte tradición Occidental de un universo creado y de un tiempo lineal, el sueño del eterno retorno siempre yace justo debajo de la superficie. Aún durante la moderna era del big-bang ha habido intentos de reinstalar la cosmología cíclica. Como hemos visto, cuando Einstein formuló su teoría general de la relatividad, los científicos aún creían en un cosmos estático, y esto indujo a Einstein a "enmendar" sus ecuaciones para crear un equilibrio entre la gravitación y la levitación. Mientras tanto, no obstante, un oscuro meteorólogo ruso llamado Alexander Friedmann comenzó a estudiar las ecuaciones de Einstein y sus implicaciones en cosmología. Descubrió varias soluciones interesantes, todas las cuales describen un universo que se expande o se contrae. Un conjunto de soluciones corresponde a un universo que comienza en una gran explosión (big bang), se expande a una velocidad siempre decreciente, y luego se comienza a contraer nuevamente. La fase de contracción es simétrica a la de expansión, de modo tal que la contracción se hace más y más rápida hasta que el universo desaparece en un "big crunch" – una implosión catastrófica como el big bang en reversa. Este ciclo de expansión y contracción puede ser continuado en otro ciclo, y luego en otro y así siguiendo *ad infinitum* (ver figura 1). En 1922 Friedmann envió los detalles del modelo de su universo periódico a Einstein, quien quedó impresionado. Fue sólo unos años más tarde con el descubrimiento de Edwin Hubble y otros astrónomos de que el universo efectivamente se está expandiendo, que el trabajo de Friedmann fue debidamente reconocido.

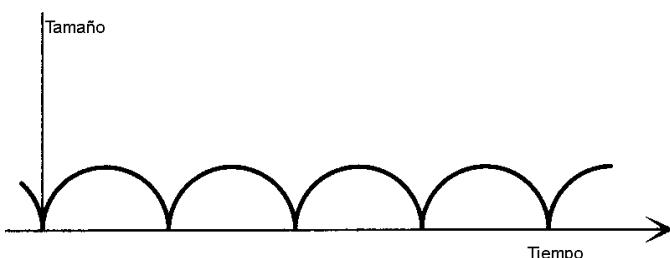


Figura 1. Universo oscilante. El gráfico muestra como el tamaño del universo varía con el tiempo en la medida que se expande y contrae cícicamente.

²¹ *The Edge of Infinity: Where the Universe Came from and How It Will End* by P. C. W. Davies (Simon & Schuster; (January 1981), ISBN: 0671440632

Las soluciones de Friedmann no obligan al universo a oscilar con fases de expansión y recontracción, también pueden explicar un universo que comience con un big bang y siga expandiéndose para siempre. Cuál de esas alternativas prevalecerá depende de la cantidad de materia que existe en el universo. Básicamente si hay suficiente materia su gravedad eventualmente detendrá la dispersión y producirá el colapso. Por tanto el temor de Newton por el colapso cósmico eventualmente se confirmaría, aunque sólo después de que hayan transcurrido miles de millones de años. Las mediciones revelan que las estrellas constituyen sólo alrededor del 1% de la densidad necesaria para colapsar el universo. No obstante, hay fuertes indicios de una gran cantidad de materia oscura o invisible, posiblemente suficiente como para compensar el déficit. Nadie está seguro de que es esta "materia perdida."

Si hubiera suficiente materia para causar la recontracción, tendríamos que considerar la posibilidad de que el universo pudiera ser pulsante, como lo indicado en la figura 1. Muchos libros populares de cosmología presentan el modelo pulsante y señalan su consistencia con la cosmología Hindú y otras cosmologías orientales de naturaleza cíclica. ¿Podría ser que la solución oscilante de Friedmann sea la contrapartida científica de la antigua idea del eterno retorno, y que la duración de miles de millones de años desde el big bang al big crunch represente el Gran Año del Ciclo de Vida de Brahma?

Por más atractivas que esas teorías puedan ser fallan al ser sometidas a examen. Antes que nada, el modelo no es estrictamente periódico en el sentido matemático. Los puntos de pasaje del big crunch al big bang son realmente singularidades, lo que significa que las ecuaciones involucradas fallan allí. Para que el universo rebote de una contracción a una expansión sin encontrar singularidades, es necesario que algo revoque el empuje de la gravedad e impulse el material hacia fuera nuevamente. En esencia, un rebote es posible sólo si el movimiento del universo es superado por una inmensa fuerza repulsiva (por ejemplo de levitación), tal como la fuerza "correctora" que Einstein sugirió, pero mayor en magnitud por un enorme factor.

Aún se ideara un mecanismo para esto, lo cíclico del modelo abarca sólo el movimiento bruto del cosmos, e ignora los procesos físicos dentro de él. La segunda ley de la termodinámica todavía exige que esos procesos generen entropía, y que la entropía total del universo siga creciendo de un ciclo al siguiente. El resultado es un efecto más bien curioso, descubierto por Richard Tolman en la década de 1930. Tolman encontró que, como la entropía del universo crece, así los ciclos crecen y duran más y más (figura 2). El resultado es que el universo no es estrictamente cíclico en absoluto. Extrañamente a pesar del crecimiento continuado de la entropía el universo nunca halla el equilibrio termodinámico – no hay un estado de máxima entropía. Sólo queda pulsando para siempre generando más y más entropía en el camino.

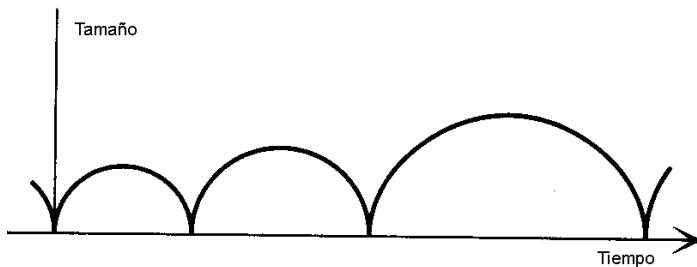


Figura 2 En un modelo más realista de un universo oscilante, los ciclos crecen con el tiempo.

En la década de 1960 el astrónomo Thomas Gold creyó que había encontrado un modelo verdaderamente cíclico del universo. Gold sabía que un universo eternamente estático es insostenible porque alcanzaría el equilibrio termodinámico en un tiempo finito. Estaba impactado por el hecho que la expansión del universo trabajaba en contra del equilibrio termodinámico enfriando continuamente el material cósmico (este es el principio familiar de que la materia se enfria cuando se expande). Le pareció a Gold que el aumento de la entropía cósmica podría ser atribuido al hecho de que se está expandiendo. Pero esta conclusión lleva la pista de una predicción notable: si el universo fuera a contraerse, todo correría hacia atrás – la entropía disminuiría de nuevo y la segunda ley de la termodinámica se invertiría. En un sentido el tiempo volvería atrás. Gold señaló que esta reversión se aplicaría a todos los sistemas, incluyendo el cerebro humano y la memoria, por lo tanto la flecha psicológica del tiempo sería también invertida: podríamos "recordar el futuro" en lugar del pasado.

Cualquier ser consciente viviendo en lo que podríamos llamar la fase de contracción invertiría nuestras definiciones de pasado y futuro y también se considerarían a sí mismos como viviendo en la fase expansiva del universo (figura 3). Para su definición nosotros somos los que estarían en la fase de contracción. Si como resultado de la inversión el universo fuera realmente simétrico en el tiempo, entonces el estado final el universo en el big crunch sería idéntico a su estado en el big bang. Estos dos eventos podrían ser identificados y cerrados en un lazo de tiempo. En tal caso el universo sería verdaderamente cíclico.

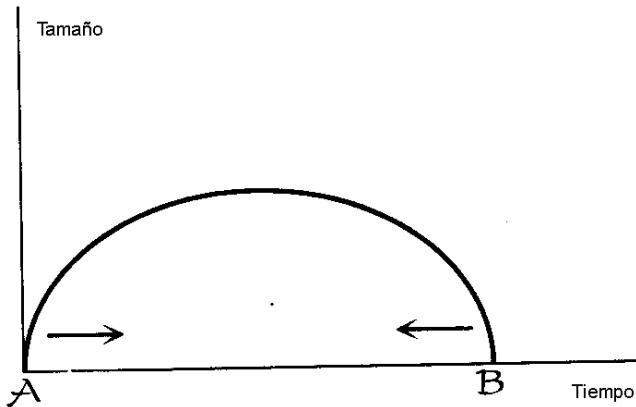


Figura 3. El universo de tiempo reversible. Durante la fase expansiva el tiempo corre hacia delante, y durante la contracción corre hacia atrás. Como resultado es posible identificar el primer y último momento A y B de este modo cerrando el tiempo en un lazo.

El universo simétrico en el tiempo también fue investigado por John Wheeler, quien conjeturó que la inversión podría no ocurrir abruptamente, sino gradualmente, como el giro de una marea. En lugar que la flecha del tiempo se revierta súbitamente en el momento de máxima expansión, quizás esta pudiera vacilar lentamente y luego desvanecerse antes de girar y apuntar en sentido inverso. Wheeler especuló que como resultado algunos procesos aparentemente irreversibles, como la desintegración de núcleos radioactivos, podrían mostrar señales de retardarse antes de la inversión. Sugirió que una comparación de la velocidad de desintegración radiactiva actual con sus valores en el pasado remoto podría indicar tal retraso.

Otro fenómeno que muestra una flecha del tiempo distinta es la emisión de radiación electromagnética. Una señal de radio, por ejemplo, es siempre recibida después de enviada, nunca antes. Esto es porque cuando un transmisor de radio genera ondas, las mismas fluyen fuera de la antena hacia las profundidades del universo. Nunca observamos patrones de ondas de radio organizadas viéndolas desde los bordes del universo y convergiendo a una antena. (El término técnico para las ondas que fluyen hacia fuera es "retrasadas" y para aquellas que fluyen convergentemente es "avanzadas.") No obstante si la flecha del tiempo se fuera a invertir en la fase de contracción del universo, entonces la dirección del movimiento de las ondas de radio tendría también que invertirse – las ondas retrasadas serían reemplazadas por ondas avanzadas. En el contexto de la "inversión de marea" de Wheeler esto podría sugerir que próximo al big bang todas las ondas de radio serían retrasadas; luego, cuando la época de máxima expansión se aproxima ocurrirían cantidades crecientes de ondas avanzadas. En el máximo, habría igual cantidad de ondas retrasadas y avanzadas, mientras que durante la fase de contracción las ondas avanzadas dominarían. Si esta idea es correcta implicaría que hay una muy pequeña cantidad de ondas de radio avanzadas en nuestra presente época cósmica. En efecto, esas serían ondas de radio "del futuro."

Aunque esta idea pueda parecer fantástica fue puesta a prueba en un experimento realizado por el astrónomo Bruce Partridge en la década de 1970. El principio del experimento es que si las ondas de radio emitidas por una antena son dirigidas hacia una pantalla donde son absorbidas, las ondas serán 100% retrasadas, si se les permite fluir en el espacio, parte de ellas continuarán sin ser afectadas hasta que "la marea se haya invertido." El último, pero no el primer conjunto de ondas podrían entonces poseer una pequeña componente avanzada. Si ese fuera el caso las ondas avanzadas devolverían a la antena una pequeña fracción de la energía que las ondas retrasadas emiten. El efecto sería producir

una leve diferencia en la energía drenada por la antena cuando es orientada hacia una pantalla y cuando es dirigida al espacio. A pesar de la alta sensibilidad de las mediciones, Partridge no encontró evidencia de ondas avanzadas.

Por más atractivo que el universo simétrico pueda ser, es muy difícil argumentar por su verosimilitud. Estadísticamente la abrumadora mayoría de posibles estados iniciales del universo *no* producen reversión, sólo si el estado del universo es seleccionado para pertenecer a un muy peculiar y especial conjunto “la marea se invertiría.” La situación puede ser comparada con una bomba explotando dentro de un contendor de acero: es posible imaginar que todos los fragmentos de la bomba rebotando al unísono en las paredes del contenedor y volviendo a reunirse para reconstruir la bomba. Tal clase de comportamiento conspirativo no es estrictamente imposible, pero requiere un increíblemente rebuscado conjunto de circunstancias.

No obstante el universo de tiempo simétrico ha probado ser lo suficientemente convincente que hasta Stephen Hawking coqueteó recientemente con él como parte de su programa de cosmología cuántica, el que explicaré brevemente. No obstante siguiendo una investigación más detallada, Hawking admitió que su propuesta estaba mal concebida.

Creación Continua

Thomas Gold cuenta la historia que una tarde en al final de la década de 1940 él y Herman Bondi volvían caminando del cine habiendo visto una película llamada *Dead of Night*, a cerca de sueños dentro de sueños que formaban una secuencia sin fin. En su camino a casa súbitamente se les ocurrió que el tema del film podría ser una alegoría para el universo. Quizá *no hubo principio*, ni siquiera big bang. Podría ser que él en cambio tenga una forma de llenarse continuamente de modo tal que pueda seguir andando para siempre.

En los meses siguientes Bondi y Gold completaron la idea. La característica central de la teoría de Bondi-Gold es que no hubo un big-bang en el origen del universo en el cual toda la materia fue creada. En cambio, en la medida que el universo se expande, se crean nuevas partículas de materia para llenar los espacios de modo tal de conservar la densidad promedio de materia en el universo permanezca sin cambio. Cualquier galaxia individual pasará a través de su ciclo de vida evolutivo culminando con su muerte cuando las estrellas se apaguen, pero nuevas galaxias serán capaces de formarse a partir de la materia recién creada. En cualquier todo momento habrá una mezcla de galaxias de distintas edades, pero las más antiguas estarán esparcidas porque el universo se habrá expandido mucho desde su nacimiento. Bondi y Gold imaginaron que la velocidad de expansión del universo se mantenía constante y la velocidad de la creación de la materia fuera tal que mantenga constante la densidad promedio. La situación es similar a aquella de un río que luce estable, aunque el agua fluye continuamente a través de él. El río no es estático pero está en un estado estacionario. Por lo tanto la teoría se volvió conocida como la teoría del universo en “estado estacionario.”

El universo de estado estacionario no tiene ni comienzo ni fin y luce en promedio igual en todas las épocas cósmicas, a pesar de la expansión. El modelo evita la muerte térmica, porque la inyección de nueva materia también inyecta entropía negativa: para regresar a la analogía del reloj, su cuerda está siendo continuamente recargada. Bondi y Gold no dieron ningún mecanismo detallado para explicar como es creada la materia, pero su colega Fred Hoyle había estado trabajando justo sobre ese problema. Hoyle investigó la posibilidad de un “campo de creación” que tuviera el efecto de producir nuevas partículas de materia. Como la materia es una forma de energía, el mecanismo de Hoyle podría ser interpretado como violatorio de la ley de la conservación de la energía, pero esto no necesariamente es así. El campo de creación en sí mismo acarrea energía negativa, y acomodando las cosas cuidadosamente es posible que la energía positiva de la materia creada, sea compensada exactamente por la energía negativa aumentada del campo de creación. De un estudio matemático de esta interrelación, Hoyle descubrió que su modelo de campo de creación automáticamente tiende a, y luego permanece en, el estado estacionario requerido por la teoría de Bondi y Gold.

El trabajo de Hoyle proveyó el soporte teórico necesario para asegurar que la teoría del estado estacionario era tomada seriamente, y por una década o más fue considerada como una competidora equiparable a la teoría del big bang. Muchos científicos, incluidos los originadores de la teoría del estado estacionario, sintieron que habiendo abierto el big bang habían removido de una vez por todas, la necesidad de alguna explicación sobrenatural del universo. En un universo sin comienzo no hay necesidad de un evento de creación o de un creador, y un universo con un campo físico de creación para hacer que “se recargue su cuerda” no requiere una intervención divina para mantenerlo funcionando.

En verdad esta conclusión es un *non sequitur*²². El hecho que el universo pudiera no tener un origen en el tiempo no explica su existencia, ni por qué tiene la forma que tiene. Ciertamente no explica por qué la naturaleza posee los campos relevantes (como el campo de creación) y principios físicos que establecen la condición del estado estacionario. Irónicamente, algunos teólogos han realmente festejado la teoría del estado estacionario como un *modus operandi* para la actividad creadora de Dios. Después de todo un universo que viva para siempre evitando la muerte térmica, tiene un atractivo teológico considerable. Alrededor del cambio del siglo XIX al XX, el matemático y filósofo Alfred North Whitehead fundó la escuela teológica llamada del proceso. Los teólogos del proceso rechazan el concepto tradicional Cristiano de la creación a partir de la nada a favor de un universo que no tuvo principio. La actividad creativa de Dios se manifiesta como un proceso continuo, un avance creativo en la actividad de la naturaleza. Volveré sobre el tópico de la cosmología creativa en el capítulo 7.

Eventualmente la teoría del estado estacionario cayó fuera de los fundamentos filosóficos porque fue falsada por las observaciones. La teoría hace la predicción muy específica que el universo en promedio debería lucir igual en todas las épocas, y el advenimiento de los grandes radio telescopios permitieron que esta predicción sea comprobada. Cuando los astrónomos observan objetos muy distantes, estos no aparecen como son hoy en día, pero como eran en el remoto pasado, cuando la luz o las ondas de radio los abandonaron en su largo camino a la tierra. Hoy los astrónomos pueden estudiar objetos que están a muchos miles de millones de años luz, de modo tal que los vemos como eran miles de millones de años atrás. De este modo un relevamiento del espacio profundo puede proveer "instantáneas" del universo en sucesivas épocas para su comparación. A mediados de la década de 1960 se hizo claro que varios miles de millones de años atrás el universo había lucido muy diferente de cómo es ahora, en particular con respecto al número de varios tipos de galaxias.

El último clavo en el ataúd de la teoría del estado estacionario fue puesto en 1965 con el descubrimiento de que el universo está bañado en radiación térmica de aproximadamente tres grados sobre el cero absoluto. Esta radiación se cree que es una reliquia directa del big bang, una clase de resplandor evanescente del calor primigenio que acompañó el nacimiento del cosmos. Es difícil entender como tal baño de radiación puede haber surgido sin que el material cósmico haya estado alguna vez altamente comprimido y extremadamente caliente. Tal situación no ocurre en la teoría del estado estacionario. Por supuesto el hecho de que el universo no esté en estado estacionario no significa que la creación continua de materia sea imposible, pero la motivación para el campo de creación de Hoyle queda muy socavada una vez que se ha establecido que el universo está evolucionando. Casi todos los cosmólogos aceptan hoy que vivimos en un universo que tuvo un principio definido en el big bang y está evolucionando hacia un final incierto.

Si uno acepta la idea que el espacio, tiempo, y materia tienen su origen en una singularidad que representa un límite absoluto al universo físico en el pasado, aparecen un número de interrogantes. Todavía queda el problema de qué ha causado el big bang. No obstante esta cuestión debe ser ahora vista bajo una nueva luz, porque no es posible atribuir el big bang a algo que haya ocurrido *antes* de él, como es usual el caso en discusiones de causación. ¿Significa esto que el big bang fue un evento sin causa? Si las leyes de la física se quiebran en la singularidad no puede haber explicación en términos de esas leyes. Por lo tanto si uno insiste en una razón para el big bang, esa razón debe yacer más allá de la física.

¿Causó Dios el Big Bang?

Mucha gente tiene una imagen de Dios como la de una clase de ingeniero pirotécnico encendiendo la mecha para iniciar el big bang, y luego sentarse para ver el espectáculo. Desafortunadamente esta imagen simple, aunque altamente convincente para algunos, tiene poco sentido. Como hemos visto una creación supernatural no puede ser causativa en el tiempo, porque el devenir en existencia del tiempo mismo es parte de lo que queremos explicar. Si se lo invoca a Dios como una explicación del universo físico, entonces esta explicación no puede ser en términos familiares de causa y efecto.

Este problema recurrente del tiempo fue tratado recientemente por el físico británico Russell Stannard, quien traza la analogía entre Dios y el autor de un libro. Un libro completo existe en su totalidad, aunque nosotros los humanos lo leemos en una forma secuencial en el tiempo, desde el principio al fin. "Tal como un autor no escribe el primer capítulo y luego deja a los otros que se escriban a sí mismos, así la creatividad de Dios no parece únicamente confinada a, o aún especialmente aplicada en, el evento del

²² En el original en latín: Una sentencia que no se deduce lógicamente de lo que la precede N.T.

Big Bang. Más bien tiene que ser vista como ocupando igualmente todo el espacio y todo el tiempo: su rol de cómo Creador y Sostenedor se mezclan.”²³

Bastante aparte del problema del tiempo, hay varios riesgos adicionales involucrados en invocar a Dios como la explicación del big bang. Para ilustrarlos relataré una conversación imaginaria entre un teísta (o, más apropiadamente, un deísta), quien reivindica que Dios creó el universo, y un ateo, quien “no tiene necesidad de esa hipótesis.”

ATEO: En un tiempo, los dioses fueron usados como una explicación para toda clase de fenómenos físicos, como el viento y la lluvia y el movimiento de los planetas. En la medida que la ciencia progresó, se vio que tales agentes sobrenaturales eran superfluos, como una explicación de los eventos naturales. ¿Por qué insiste Ud. en invocar a Dios para explicar el big bang?

TEÍSTA: Su ciencia no lo puede explicar todo. El mundo está lleno de misterio. Por ejemplo, aún el más optimista de los biólogos admite que están desconcertados con el origen de la vida.

ATEO: Estoy de acuerdo con que la ciencia no puede explicar todo, pero eso no significa que no lo hará. Los teístas han siempre intentado aferrarse a cualquier proceso que la ciencia no ha tenido el tiempo de explicar y reivindican que Dios es aún necesario para explicar eso. Por lo tanto cuando la ciencia progrese, Dios desaparecerá. Ud. debe aprender la lección que este “Dios de los huecos” es una hipótesis no confiable. En la medida que el tiempo corre hay menos y menos huecos para que él habite. Yo personalmente no veo problema en que la ciencia explique todos los fenómenos naturales, incluyendo el origen de la vida. Concedo que el origen del universo es una nuez dura de romper. Pero si, como parece, hemos alcanzado el estado donde el único hueco remanente es el big bang, es altamente insatisfactorio invocar el concepto de un ser sobrenatural que ha sido desplazado de todos lados a esta última y desesperada capacidad.

TEÍSTA: No veo porqué. Aún si Ud. rechaza la idea de que Dios pueda actuar directamente en el mundo físico una vez que este ha sido creado, el problema del último origen del mundo está en una categoría diferente del de explicar fenómenos naturales, una vez que el mundo existe.

ATEO: Pero al menos que Ud. tenga otra razón para creer en la existencia de Dios, entonces meramente proclamar “Dios creó el universo” es totalmente *ad hoc*. No es una explicación en absoluto. Verdaderamente la sentencia está esencialmente desprovista de significado, porque Ud. está definiendo meramente a Dios como un agente que creó el universo. Mi entendimiento no ha progresado con eso. Un misterio (el origen del universo) es explicado sólo en términos de otro misterio (Dios). Como científico apelo a la navaja de Occam²⁴, la cual dicta que la hipótesis de Dios debe ser rechazada como una complicación innecesaria. Después de todo estoy inclinado a pensar ¿Qué creó a dios?

TEÍSTA: Dios no necesita un creador. Él es un ser necesario – Él debe existir. No hay opción en esto

ATEO: Pero uno podría también aseverar que el universo no necesita un creador. Cualquier lógica usada para justificar la existencia necesaria de Dios, podría igualmente bien, y con la ventaja de ganar simplicidad, ser aplicada al universo.

TEÍSTA: Seguramente los científicos a menudo siguen el mismo razonamiento que yo. ¿Por qué cae un cuerpo? Porque la gravedad actúa sobre él. ¿Por qué la gravedad actúa sobre él? Porque hay un

²³ “Making Sense of God’s Time” by Russell Standard, *The Times* (London), 22 August 1987.

²⁴ Las descripciones deben mantenerse lo más simples posibles hasta el momento en que se demuestre que resultan inadecuadas”

Newman, J. R.
The world of mathematics
Simon & Shuster, N. Y., 1956

Si se puede explicar “sustancialmente” el comportamiento de un fenómeno con pocas variables explicativas y si la teoría que las relaciona no es lo suficientemente fuerte para sugerir otras variables que pudieran ser incluidas, ¿porqué introducir más variables? Por supuesto, no se deben excluir variables relevantes e importantes sólo para mantener simple la forma del modelo matemático que representa el evento de interés.

Guillermo de Occam (El Doctor Invencible)
Occam, Surrey c. 1285 - Munich c. 1349
Monje franciscano inglés, defensor del nominalismo y precursor del empirismo.
Autor de *Tractatus logicae* y de *Los Diálogos*

Ver también: <http://usuarios.lycos.es/Chultun/occam.html>

campo gravitacional ¿Por qué? Porque el espacio-tiempo está curvado. Y así siguiendo. Ud. está reemplazando una definición con otra más profunda, con el sólo propósito de explicar la cosa con la que comenzó, literalmente la caída de los cuerpos. ¿Por qué entonces objeta Ud. cuando yo invoco a Dios como una explicación más profunda y satisfactoria del universo?

ATEO: ¡Ah, pero es diferente! Una teoría científica debería significar mucho más que los hechos que está tratando de explicar. Las buenas teorías proveen una imagen simplificadora de la naturaleza estableciendo conexiones entre fenómenos desconectados hasta entonces. La teoría de gravitación de Newton por ejemplo demostró una conexión entre las mareas de los océanos y el movimiento de la luna. Adicionalmente las buenas teorías sugieren pruebas de observación, como la predicción de nuevos fenómenos. También proveen una descripción mecanicista detallada de cómo precisamente el fenómeno físico de interés ocurre en términos de los conceptos de la teoría. En el caso de la gravitación, esto es a través de un conjunto de ecuaciones que conectan las intensidades de los campos gravitatorios con la naturaleza de las fuentes gravitantes. Esta teoría le da un mecanismo preciso de porqué las cosas funcionan. Por contraste, un Dios que es invocado sólo para explicar el big bang falla en estos tres criterios. Lejos de simplificar nuestra visión del mundo, un Creador introduce una característica adicional que incorpora complejidad, la misma sin explicación. Segundo, no hay forma en la que podamos comprobar la hipótesis experimentalmente. Hay un solo lugar donde ese Dios se manifiesta - literalmente, el big bang – y eso ya está terminado en el pasado. Finalmente la sentencia lisa y llana “Dios creó el universo” falla en proveer cualquier explicación real al menos que esté acompañada por un mecanismo detallado. Uno quiere saber, por ejemplo, que propiedades asignar a ese Dios, y precisamente como hizo para crear el universo, porqué el universo tiene la forma que tiene, y así siguiendo. Abreviendo, al menos que Ud. pueda o bien proveer evidencia de otra manera que tal Dios existe, o bien dar una descripción detallada de cómo el ha construido el universo que aún un ateo como yo pueda considerar profunda, simple y más satisfactoria, no veo razón para creer en tal ser.

TEÍSTA: No obstante su propia posición es altamente insatisfactoria, ya que Ud. admite que la razón del big bang yace fuera del alcance de la ciencia, Ud. está forzado a aceptar el origen del universo como un hecho bruto sin un nivel de explicación más profundo.

ATEO: Yo prefiero aceptar la existencia del universo como un hecho bruto que aceptar a Dios como un hecho bruto. ¡Después de todo tiene que haber un universo para que estemos discutiendo sobre estas cosas!

Discutiré muchos de los temas aparecidos en este diálogo en los capítulos siguientes. La esencia de la disputa es si uno va a aceptar simplemente la aparición explosiva del universo como un hecho liso y llano inexplicado – algo que pertenece a la categoría “esto es así” – o buscará una explicación más satisfactoria. Hasta hace poco parecía que tal explicación tendría que involucrar una agencia sobrenatural que trascendiera las leyes de la física. Pero luego se hizo un nuevo avance en nuestro entendimiento del universo muy primigenio que transformó enteramente el debate, y replanteó este antiguo enigma bajo una luz totalmente nueva.

Creación sin Creación

A partir del fracaso del la teoría del estado estacionario, los científicos han parecido enfrentar una cruda elección respecto al origen del universo. Uno podría creer que el universo es infinitamente viejo, con todas las paradojas físicas que eso implica, o bien asumir un origen abrupto del tiempo (y espacio), la explicación de lo cual está fuera del alcance de la ciencia. Lo que fue pasado por alto es una tercera posibilidad: que el tiempo pudiera estar limitado en el pasado y aún no haber devenido en su existencia abruptamente como una singularidad.

Antes de entrar en los detalles de esto, permítaseme marcar el punto general que la esencia del problema original es que el big bang parece ser un evento sin una causa física. Esto es usualmente interpretado como contradiciendo las leyes de la física. No obstante hay una pequeña escapatoria, la misma es llamada mecánica cuántica. Como expliqué en el capítulo 1, la aplicación de la mecánica cuántica está normalmente restringida a átomos, moléculas y partículas sub atómicas. Los efectos cuánticos son usualmente despreciables para objetos macroscópicos. Recordemos que en corazón de la física cuántica yace el principio de incertidumbre de Heisenberg, el cual establece que todas las cantidades mensurables (por ejemplo, posición, momentum²⁵, energía) están sujetas a fluctuaciones impredecibles en sus valores. Esta impredecibilidad implica que el micromundo sea indeterminístico:

²⁵ Momentum: Cantidad de movimiento como el producto de la masa por la velocidad. N. T.

para usar la pintoresca fraseología de Einstein, Dios juega a los dados con el universo. Por lo tanto los eventos cuánticos no están absolutamente determinados por sus causas precedentes. Aunque la probabilidad de un evento dado (por ejemplo la desintegración radiactiva de un núcleo atómico) está fijada por la teoría, el resultado real de un proceso cuántico en particular es desconocido y aún en principio incognoscible.

Mediante el debilitamiento de la relación entre causa y efecto, la mecánica cuántica nos provee una forma sutil de burlar el problema del origen del universo. Si se puede encontrar una forma de permitir al universo devenir en su existencia de la nada como resultado de la fluctuación cuántica, entonces no serían violadas las leyes físicas. En otras palabras, visto a través de los ojos de la física cuántica, la aparición espontánea de un universo no es una sorpresa, porque los objetos físicos están apareciendo espontáneamente todo el tiempo – sin causas bien definidas – en el micromundo cuántico. El físico cuántico no necesita más apelar a un acto sobrenatural para traer al universo a su existencia de la misma forma que no lo hace cuando explica la desintegración de un núcleo radiactivo cuando ocurre.

Todo esto depende por supuesto de la validez de la mecánica cuántica cuando se la aplica al universo como un todo. Éste no es un límite claro. Bastante alejadas de la sorprendente extrapolación involucrada en aplicar una teoría de partículas subatómicas al cosmos entero, hay cuestiones profundas de principio concernientes al significado a ser atribuido a ciertos objetos matemáticos en la teoría. Pero muchos físicos distinguidos han argumentado que la teoría puede echarse a andar satisfactoriamente en esta situación y así fue como nació la “cosmología cuántica.”

La justificación para la cosmología cuántica es que, si el big bang es tomado seriamente, debe haber habido un tiempo en el cual el universo estaba comprimido a dimensiones diminutas. Bajo estas circunstancias los procesos cuánticos deben haber sido importantes. En particular las fluctuaciones descriptas por el principio de incertidumbre de Heisenberg deben haber tenido un profundo efecto en la estructura y evolución del naciente cosmos. Un simple cálculo nos dice cuándo fue esa época. Los efectos cuánticos fueron importantes cuando la densidad de la materia era asombrosamente $10^{94} \text{ gm cm}^{-3}$. Este estado de las cosas existió antes de los 10^{-43} segundos, cuando el universo tenía meramente 10^{-33} cm. de diámetro. Estos números son referidos como la densidad, tiempo y distancia de Planck respectivamente, en referencia a Max Planck, el creador de la teoría cuántica.

La habilidad de las fluctuaciones cuánticas de “tornar borroso” el mundo físico en una escala ultramicroscópica, conduce a una fascinante predicción respecto de la naturaleza del espacio-tiempo. Los físicos pueden observar fluctuaciones cuánticas en el laboratorio por debajo de distancias de 10^{-16} cm y por encima de los 10^{-26} cm aproximadamente. Estas fluctuaciones afectan cosas tales como la posición y el momentum de las partículas, y tienen lugar dentro de una base de espacio-tiempo aparentemente fija. En la mucho más pequeña escala de Planck, no obstante, las fluctuaciones afectarían el espacio-tiempo mismo.

Para entender cómo, es necesario apreciar primero la estrecha relación entre el espacio y el tiempo. La teoría de la relatividad requiere que veamos el espacio tridimensional y un tiempo unidimensional como partes de un espacio unificado de espacio-tiempo de cuatro dimensiones. A pesar de la unificación el espacio permanece distinto del tiempo. No tenemos dificultad en distinguirlos en la vida cotidiana. Esta distinción puede borronearse, no obstante, por las fluctuaciones cuánticas. A la escala de Planck las entidades separadas de espacio y tiempo pueden difuminarse. Precisamente cómo, depende de los detalles de la teoría, la cual puede ser utilizada para computar las probabilidades relativas de varias estructuras de espacio-tiempo.

Puede ocurrir como resultado de estos efectos cuánticos, que la estructura más probable para el espacio-tiempo bajo ciertas circunstancias sea realmente un espacio de cuatro dimensiones. Ha sido argumentado por James Hartle y Stephen Hawking que precisamente esas circunstancias son las que prevalecieron en los primeros estados del universo temprano. Esto es, si nos imaginamos retrocediendo en el tiempo hacia el big bang, entonces cuando alcancemos el tiempo de Planck luego de lo que nosotros pensamos fue la singularidad inicial, algo peculiar comienza a suceder. El tiempo comienza a “volverse” espacio. En vez de tener que lidiar con el origen del espacio-tiempo, por lo tanto, ahora tendremos que luchar con un espacio de cuatro dimensiones, y surge la pregunta de la forma de tal espacio, por ejemplo su geometría. De hecho la teoría permite una infinita variedad de formas. Cuál perteneció al universo real está relacionado con el problema de elegir las condiciones iniciales correctas, un tema que será discutido más en detalle brevemente. Hartle y Hawking hicieron una elección particular, la cual ellos aseveran es natural en base a su elegancia matemática.

Es posible dar una representación pictórica de su idea. El lector debe estar advertido no obstante de no tomar las imágenes tan literalmente. El punto de comienzo consiste en representar el espacio-tiempo por un diagrama con el tiempo dibujado verticalmente y el espacio horizontalmente (ver figura 4)

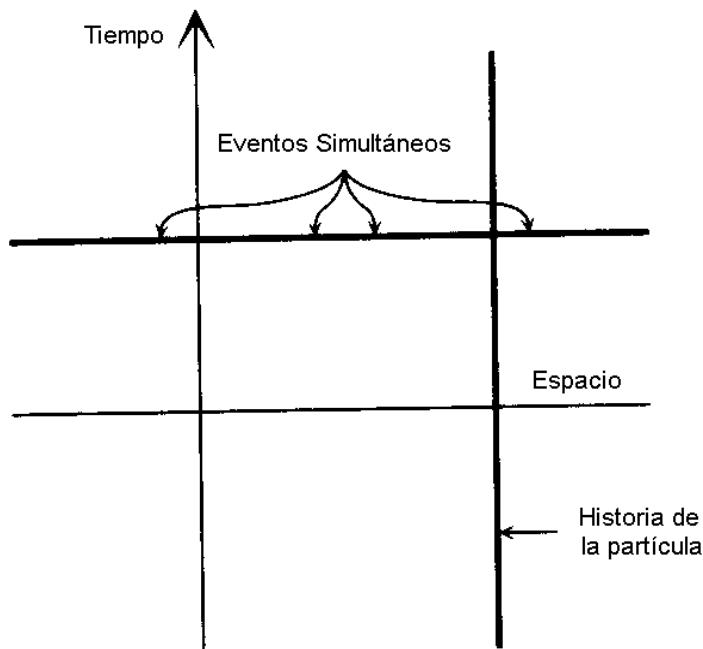


Figura 4. Diagrama espacio-tiempo. El tiempo es dibujado verticalmente y el espacio horizontalmente. Sólo una dimensión del espacio es mostrada. Una sección horizontal en el diagrama representa todo el espacio en un instante de tiempo. Una línea vertical representa un punto fijo en el espacio (por ejemplo la posición de una partícula estacionaria) a través del tiempo

El futuro es hacia la parte superior del diagrama, el pasado hacia abajo. A causa de ser imposible representar cuatro dimensiones apropiadamente en la página de un libro, he eliminado todo, excepto una dimensión del espacio, lo cual es de todas formas adecuado para señalar los puntos esenciales. Un corte horizontal a través del diagrama representa todo el espacio en un instante dado, y una línea vertical representa la historia de un punto en el espacio en tiempos sucesivos. Es útil imaginarse tener este diagrama dibujado en una hoja de papel sobre la cual se puedan efectuar ciertas operaciones. (El lector puede encontrar instructivo llevarlo a cabo realmente.)

Si el espacio y el tiempo fueran infinitos, necesitaríamos estrictamente hablando una hoja de papel infinita para representar en nuestros diagramas al espacio-tiempo apropiadamente. No obstante si el tiempo está limitado en el pasado, entonces el diagrama tiene que tener un límite cerca del fondo: uno puede imaginarse cortando un borde horizontal en algún lugar. También puede haber un límite futuro, demandando un borde similar cerca de la parte superior. (He denotado esto mediante las líneas horizontales onduladas en la figura 5.) En tal caso tendríamos una cinta infinita representando todo el infinito espacio en momentos sucesivos desde el comienzo del universo (en el borde inferior) hasta el final (en el borde superior).

En esta etapa cabría la posibilidad que el espacio no fuera después de todo infinito. Einstein fue el primero en señalar que el espacio podría ser finito aunque ilimitado, y la idea permanece como una hipótesis cosmológica seria y comprobable. Tal posibilidad se muestra en nuestra figura enrollando la hoja de modo tal de hacer un cilindro (figura 6). El espacio a cada instante está ahora representado por un círculo de circunferencia finita. (La analogía bidimensional es la superficie de una esfera, en tres dimensiones sería la llamada hiper esfera que es difícil de imaginar pero matemáticamente perfectamente bien definida y entendida.)

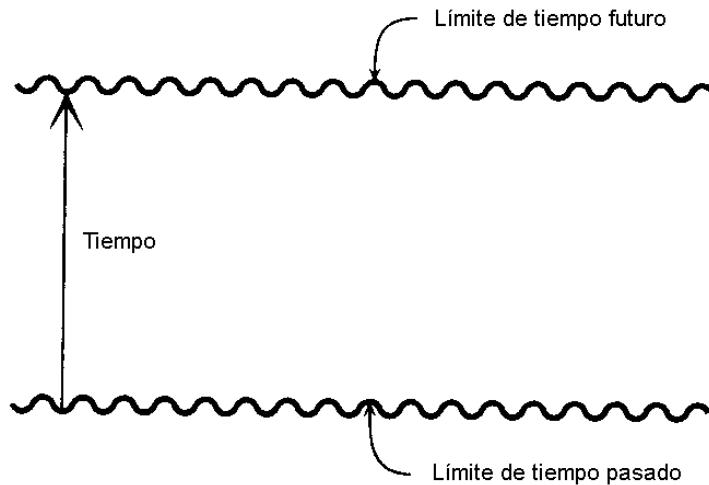


Figura 5. Podría ser que el tiempo esté delimitado por singularidades en el pasado y/o el futuro. Esto está representado en un diagrama espacio-tiempo truncando el diagrama en su parte inferior y superior respectivamente. Las líneas onduladas denotan las singularidades.

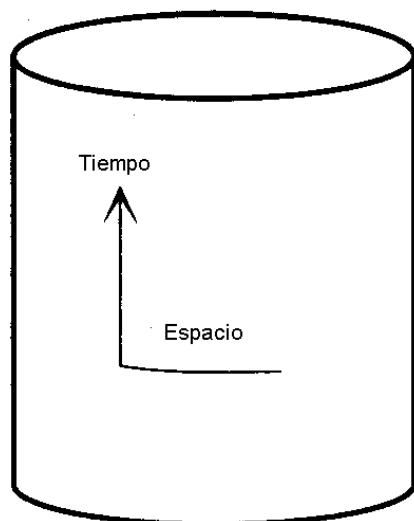


Figura 6. Es posible que el espacio sea finito aún sin límites. Esto está representado enrollando el diagrama de espacio-tiempo en un cilindro. Una sección horizontal, representa el espacio en un instante, es entonces un círculo.

Un nuevo refinamiento es introducir la expansión del universo, la cual puede ser representada haciendo que el tamaño del universo cambie con el tiempo. Como aquí estamos ocupándonos del origen del universo, ignoraré el borde superior del diagrama, y mostraré sólo la porción cercana a la parte inferior. El cilindro se ha vuelto ahora una figura cónica; se han dibujado unos pocos círculos para representar el volumen expansivo del espacio (figura 7). La hipótesis que el universo se originó en una singularidad de infinita compresión está descripta aquí permitiendo que el cono se afine hasta un solo punto en su base, El ápex singular del cono representa la aparición abrupta del espacio y del tiempo ambos en el big bang.

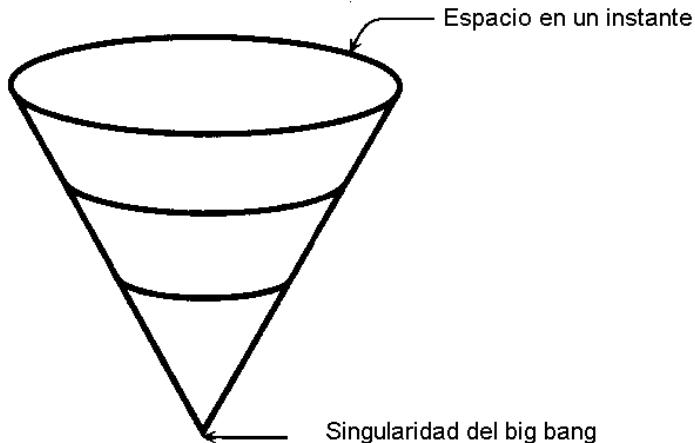


Figura 7. Universo expansivo. El efecto de la expansión cosmológica puede ser representado en nuestro diagrama espacio-tiempo haciendo el cilindro de la figura 6 un cono. El ápex del cono corresponde a la singularidad del big bang. Las secciones horizontales a través del cono son ahora círculos de diámetros sucesivamente de mayor diámetro, denotando que el espacio se vuelve más grande.

La exigencia esencial de la cosmología cuántica es que el principio de incertidumbre de Heisenberg difunda la dureza del ápex, reemplazándolo por algo más suave. Lo que ese algo es depende del modelo teórico, pero en el modelo de Hartle y Hawking una guía aproximada es redondear el ápex de la forma mostrada en la figura 8, donde el punto del cono fue reemplazado por una semiesfera. El radio de esta semiesfera, es la longitud de Planck (10^{-33} cm), muy pequeño para los estándares humanos, pero infinitamente grande comparada con la singularidad del punto.

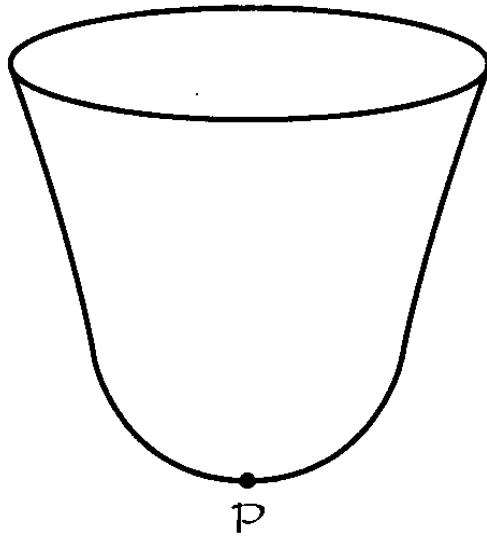


Figura 8 Creación sin creación. En esta versión del origen del universo el ápex del cono de la figura 7 está redondeado. No hay un comienzo abrupto: el tiempo se desvanece gradualmente hacia la base del diagrama. El evento P luce como el primer momento, pero esto es sólo un artificio de la forma en que el diagrama está dibujado. No hay un comienzo bien definido, aunque el tiempo es aún finito en el pasado.

Arriba de esta semiesfera, el cono se abre de forma usual, representando el desarrollo estándar no cuántico del universo expansivo. Aquí – en la porción superior – sobre la unión con la semiesfera – el tiempo corre verticalmente hacia arriba del cono, como es usual, y es físicamente muy distinto del espacio que corre horizontalmente alrededor del cono. Debajo de la unión, no obstante, la situación es

dramáticamente diferente. La dimensión del tiempo comienza a curvarse en la dirección del espacio (por ejemplo la horizontal). Cerca de la base de la semiesfera uno tiene una superficie curva bidimensional casi horizontal. Esto representa un espacio bidimensional más que un espacio y un tiempo de una dimensión. Nótese que la transición del tiempo al espacio es gradual; no debe pensarse que ocurre abruptamente en la unión. Expresándolo de otra manera, uno podría decir que el tiempo emerge gradualmente del espacio en la medida que la semiesfera se curva gradualmente en el cono. Nótese también que en este esquema el tiempo está todavía limitado por debajo – no se estira hacia atrás hasta el pasado infinito – aunque no hay un “primer momento” de tiempo, no hay un comienzo abrupto en un origen singular. La singularidad del big bang ha sido de hecho abolida.

Uno podría todavía estar tentado a pensar en la base de la semiesfera – el “Polo Sur” – como el “origen” del universo, pero, como Hawking enfatiza, esto es un error. Una porción de la superficie esférica está caracterizada por el hecho que, geométricamente, todos los puntos sobre la misma son equivalentes. Esto es que ningún punto es señalado como privilegiado de ninguna manera. La base de la semiesfera nos luce especial debido a la forma que hemos elegido para representar la hoja curvada. Si el cono es inclinado un poco, otro punto se transforma en la “base” de la estructura. Hawking señala que esta situación es un tanto análoga a la forma en que representamos geométricamente la superficie esférica de la tierra. Las líneas de longitud convergen en los polos Norte y Sur, pero la superficie de la tierra en esos lugares es la misma que en cualquier otro lugar. Podríamos igualmente bien haber tomado La Mecca u Hong Kong como los focos de esos círculos. (La elección real ha sido en base al eje de rotación de la tierra, una característica que es irrelevante para esta discusión). No hay indicio que la superficie tenga un fin abrupto en los polos. Sí hay, para estar seguros, una discontinuidad en el sistema de coordenadas de latitud y longitud allí, pero no una singularidad física en la geometría.

Para hacer este punto más claro, imaginémonos haciendo un pequeño hoyo en el “Polo Sur” de la semiesfera de la figura 8, luego abriendo la hoja alrededor del orificio (supongamos que es elástica) para hacer un cilindro, luego desenrollando el cilindro y extendiéndolo en una forma plana. Terminaríamos con una forma igual a la de la figura 5. El punto es que lo que primero habíamos tomado como un origen singular en el tiempo (el borde inferior) es realmente sólo una singularidad en las coordenadas en el Polo Sur, infinitamente estirada. Exactamente lo mismo ocurre con los mapas de la Tierra en la proyección de Mercator. El Polo Sur, que es sólo un punto perfectamente ordinario en la superficie de la tierra, está representado por una línea límite horizontal, como si en la superficie de la tierra allí hubiera un borde. Pero el borde es puramente un artefacto de la forma en que hemos elegido representar la geometría esférica mediante un sistema particular de coordenadas. Somos libres de redibujar un mapa de la Tierra usando un sistema de coordenadas diferente, con otro punto elegido como el foco de los círculos de las latitudes, en cuyo caso el Polo Sur aparecería como realmente es – un punto perfectamente normal.

El resultado de todo esto es que de acuerdo a Hartle y Hawking, no hay origen del universo. No obstante esto no significa que el universo sea infinitamente antiguo. El tiempo está limitado en el pasado, pero no tiene un límite como tal. De este modo siglos de angustia filosófica sobre las paradojas de tiempo finito versus infinito han sido prolijamente resueltas. Hartle y Hawking se las ingenaron para pasar entre los cuernos de este dilema. Como lo expresara Hawking: “La condición de borde del universo es que no hay borde.”²⁶

Las implicancias del universo de Hartle-Hawking para la teología son profundas, como el mismo Hawking señala: “En tanto tenga un comienzo, podemos suponer que tuvo un creador. Pero si el universo está completamente auto-contenido, no teniendo límites ni bordes, podría no tener principio ni fin: podría simplemente ser. ¿Qué lugar queda entonces para un creador?”²⁷ El argumento por lo tanto es que, si el universo no tiene un origen singular en el tiempo, no es necesario apelar a un acto sobrenatural de creación al inicio. El físico británico Chris Isham, él mismo un experto en cosmología cuántica, ha hecho un estudio de las implicancias teológicas de la teoría de Hartle-Hawking. “No hay duda que, psicológicamente hablando, la existencia de este punto inicial singular, propende a generar la idea de un Creador quien inició todo el espectáculo.” Escribe²⁸ Pero esas nuevas ideas cosmológicas remueven la necesidad, él cree, de invocar al Dios-de-los-huecos como la causa del big bang: “Las nuevas teorías aparecerían como completando este hueco bastante prolijamente.”

²⁶ A Brief History of Time by Stephen W. Hawking (Bantam, London and New York, 1988), p 136

²⁷ Ibid., p. 141

²⁸ “Creation a Quantum Process” by Chris Isham, in Physics, Philosophy and Theology: A Common Quest for Understanding (eds. Robert John Russell, William R. Stoeger, and George V. Coyne, Vatican Observatory, Vatican City State, 1988), p 405.

Aunque la propuesta de Hawking sea para un universo sin un origen definido en el tiempo, es también válido decir que en esta teoría que el universo no ha existido siempre. ¿Es por lo tanto correcto decir que el universo se ha “creado a si mismo”? La manera en que prefiero expresarlo es que el universo de espacio-tiempo y materia es internamente consistente y auto-contenido. Su existencia no requiere nada fuera de él; específicamente, no es necesario un iniciador. ¿Entonces, significa esto que la existencia del universo puede ser “explicada” científicamente sin la necesidad de Dios? ¿Podemos pensar en el universo como formando un sistema cerrado, conteniendo la razón de su existencia enteramente dentro suyo? La respuesta depende al significado atribuido a la palabra “explicación.” Dadas las leyes de la física, el universo puede, en una forma de decir, cuidarse a sí mismo, incluyendo su propia creación. ¿Pero, de donde vienen esas leyes? ¿Debemos a su vez buscar una explicación para *ellas*? Este es un tópico que encararé en el próximo capítulo.

¿Podrían estos desarrollos científicos recientes cuadrar con la doctrina cristiana de creación *ex nihilo*? Como he enfatizado repetidamente, la idea de Dios trayendo al universo a su existencia de la nada no puede ser considerado como acto temporal, porque el mismo involucra la creación del tiempo. En el punto de vista cristiano moderno, creación *ex nihilo* significa sustentar al universo en existencia todo el tiempo. En la cosmología científica moderna uno no debería pensar más al espacio-tiempo “deviniendo en existencia” de ninguna forma. Más bien uno debería decir que el espacio-tiempo (o el universo) simplemente es. “Este esquema no tiene un evento inicial con un estatus especial,” remarcó el filósofo Wim Drees. “Por lo tanto todos los momentos tienen una relación similar con el Creador. O bien esos momentos están todos ‘siempre allí’ como un hecho bruto, o bien ellos son todos igualmente creados. Es una bella característica de esta cosmología cuántica que aquella parte del contenido de la creación *ex nihilo* que se suponía más alejada de la ciencia, literalmente la ‘sustentación’, puede ser vista como la parte más natural en el contexto de la teoría.”²⁹ La imagen de Dios que esta teoría hace aparecer, no obstante, está bastante alejada del Dios cristiano del siglo XX. Drees percibe una cercana semejanza con la imagen panteísta de Dios adoptada por el filósofo del siglo XVII Spinoza, donde el universo físico en sí mismo toma aspectos de la existencia de Dios, como el ser “eterno” y “necesario.”

Por supuesto uno todavía puede preguntarse: ¿Por qué existe el universo? ¿Debería la existencia (sin tiempo) del espacio-tiempo ser considerada como una forma (atemporal) de “creación”? en este sentido creación “de la nada” no se referiría a ninguna transición temporal de la nada a algo, sino meramente serviría como un recordatorio que podría haber nada en lugar de algo. La mayoría de los científicos (aunque quizás no todos —ver [Capítulo 5 ¿Es el universo una Computadora?](#)) acordarían que la existencia de un esquema matemático de universo no es la misma cosa que la existencia real de tal universo. El esquema todavía no está implementado. De este modo permanece lo que Drees llama “contingencia ontológica.” La teoría de Hartle-Hawking fija este sentido de creación más abstracto bastante bien, porque es una teoría cuántica. La esencia de la física cuántica, como he remarcado, es la incertidumbre: la predicción en teoría cuántica es predicción de *probabilidades* más que de certidumbres. Los formalismos matemáticos de Hartle-Hawking proveen las *probabilidades* de un universo particular, con una distribución particular de materia exista a cada momento. Al predecir que la probabilidad para algún universo en particular es distinta de cero, uno está diciendo que hay una chance definida de que tome realidad. De este modo a la creación *ex nihilo* se le da acá la interpretación concreta de “realización de posibilidades.”

Universos Madre e Hijo

Antes de abandonar el problema del origen del universo, debería decir algo sobre una teoría cosmológica reciente en la cual la cuestión del origen entra en una forma totalmente diferente. En mi libro *God and the New Physics*³⁰ dejé flotando la idea de que lo que llamamos universo podría haber comenzado como un apéndice de un sistema mayor, el cual una vez desprendido se tornó una entidad independiente. La idea básica está ilustrada en la figura 9. Aquí el espacio está representado por una hoja de dos dimensiones. En concordancia con la teoría general de la relatividad, podemos imaginar esta hoja como curvada. En particular uno puede concebir un chichón localizado formándose en la hoja, y surgiendo como una protuberancia conectada a la hoja principal por una fina garganta. Podría ocurrir que la garganta se volviese cada vez más fina, hasta que se corte totalmente. La protuberancia se ha

²⁹ “Beyond the Limitations of the Big Bang Theory: Cosmology and Theological Reflection” by Wim Drees, *Bulletin of the Center for Theology and the Natural Sciences* (Berkeley) 8, N°. 1 (1988).

³⁰ ISBN: 0671528068 Simon & Schuster; Reprint edition (October 1984)

tornado entonces en una “burbuja” completamente desconectada. La hoja “madre” a dado a luz un “hijo.”

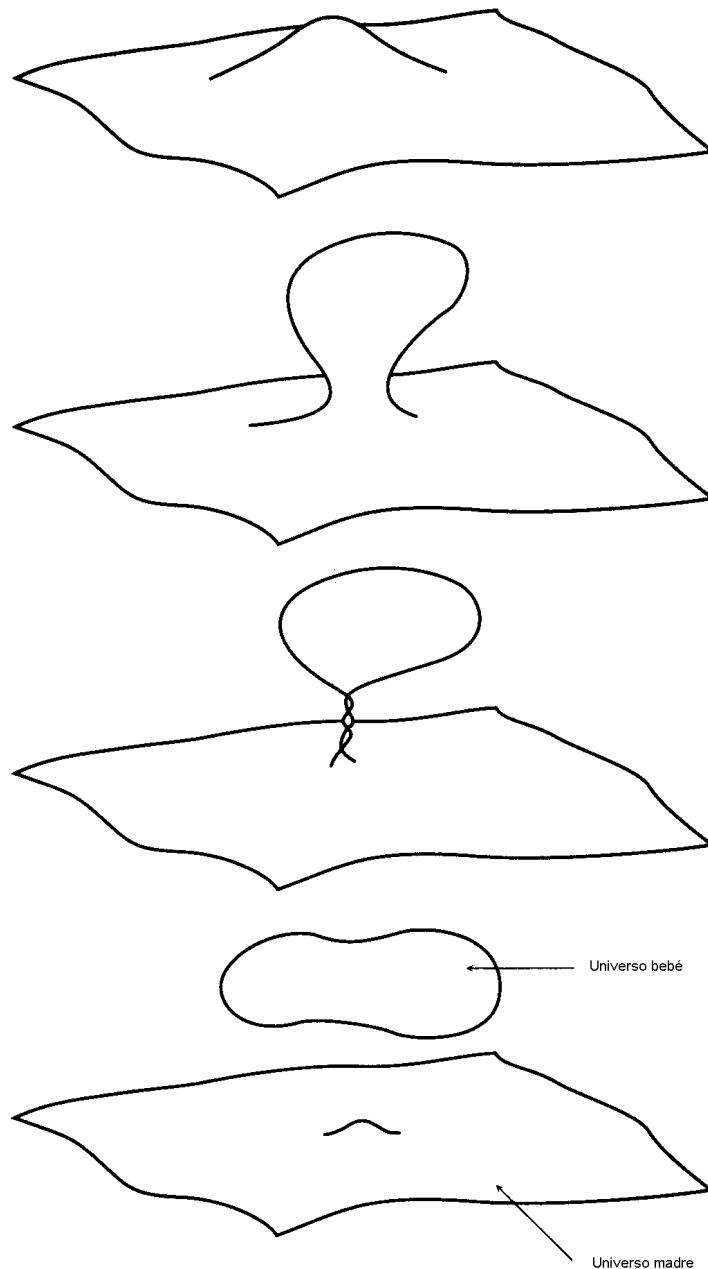


Figura 9. Incubando un universo bebé. El universo madre está representado por una hoja bidimensional. Aparece una curvatura por efecto gravitacional. Si la gravedad es lo suficientemente intensa, la curvatura puede producir una protuberancia que forme un mini universo conectado por un cordón umbilical o garganta conocido como “agujero de gusano³¹. ” Desde el universo madre, la garganta puede aparecer como un agujero negro. Eventualmente el agujero se evapora, cortando el cordón umbilical enviando al universo bebé a una existencia independiente.

Asombrosamente hay buenas razones para esperar que algo así esté ocurriendo en el universo real. Las fluctuaciones aleatorias asociadas con la física cuántica implican que, a una escala ultramicroscópica, toda clase de chichones, agujeros de gusanos, y puentes deberían estar formándose

³¹ wormhole en el original en Inglés N.T.

y colapsando a través del espacio-tiempo. El físico soviético Andrei Linde tiene la idea que nuestro universo comenzó de esta manera, como una pequeña burbuja de espacio-tiempo, la cual luego se “infló” a una velocidad fantástica produciendo el big bang. Otros han desarrollado modelos similares. El universo “madre” que desovó el nuestro está también continuamente inflándose a una velocidad fantástica y arrojando universos bebé. Si este estado de las cosas es correcto, implica que “nuestro” universo es sólo parte de un ensamble infinito de universos, aunque ahora esté auto contenido. El ensamble como un todo no tiene principio ni fin. Hay problemas en todo caso en usar palabras como “principio” y “fin,” porque no hay tiempo supra universal en el cual este proceso de desove tenga lugar, no obstante cada burbuja tiene su propio tiempo interno.

Una cuestión interesante es si nuestro universo es también capaz de ser madre, y producir universos hijos. ¿Podría ser posible para algún científico loco crear su propio universo en el laboratorio? Esta cuestión ha sido investigada por Alan Guth, el creador de la teoría inflacionaria. Resulta ser que, si una gran cantidad de energía es concentrada, una protuberancia de espacio-tiempo podría formarse realmente. A primera vista aparecería el alarmante prospecto de que un nuevo big bang pudiera ser disparado, pero en efecto lo que ocurre es que la formación de la protuberancia luciría desde nuestra región del espacio-tiempo como la creación de un agujero negro. Aunque pudiera haber una inflación explosiva dentro del espacio de la protuberancia, nosotros veríamos sólo un agujero negro que se encoge constantemente. Eventualmente el agujero se evapora completamente, y en ese momento nuestro universo queda desconectado de su hijo.

A pesar de lo atractivo de esta teoría, permanece altamente especulativa. Volveré sobre el punto brevemente en el capítulo 8. Ambas teorías, la de los universos madre-hijo, y la de Hartle-Hawking burlan con destreza el problema del origen del universo apelando a procesos cuánticos. La lección a ser aprendida es que la física cuántica abre la puerta a un universo de edad finita, la existencia del cual no demanda una causa anterior bien definida. No es necesario un acto especial de creación.

Todas las ideas físicas discutidas en este capítulo se han basado en la suposición que el universo como un todo cumple con ciertas leyes bien definidas de la física. Esas leyes de la física, que sostienen la realidad física, están tejidas en una tela de matemática, cimentada la misa en la roca de la lógica. El paso de los fenómenos físicos, a través de las leyes de la física, a la matemática y finalmente a la lógica, nos abre el apasionante prospecto que el mundo puede ser entendido a través del uso del razonamiento lógico solamente. ¿Podría ser que mucho, si no todo, del universo físico pudiera ser el resultado de una necesidad lógica? Algunos Científicos han afirmado categóricamente que así es, que hay sólo un conjunto de leyes consistentes y sólo un universo lógicamente consistente. Para investigar esta dramática afirmación debemos inquirir en la naturaleza de las leyes de la física•

Capítulo 3 - ¿Qué Son las Leyes de la Naturaleza?

EN EL CAPÍTULO 2 argumenté que, dadas las leyes de la física, el universo puede crearse a sí mismo. O, expresado más correctamente, la existencia de un universo sin una primera causa externa no necesita ya ser considerada en conflicto con las leyes de la física. Esta conclusión está basada, en particular, en la aplicación de la física cuántica a la cosmología. Dadas las leyes la existencia del universo ya no es más milagrosa. Esto hace parecer como si las leyes de la física actuaran como “base de existencia” del universo. Ciertamente, en lo que a la mayoría de los científicos concierne, la existencia concreta de la realidad puede ser trazada hacia atrás hasta estas leyes. Ellas son las verdades eternas sobre las cuales el universo está construido.

El concepto de ley está tan bien establecido en la ciencia que hasta recientemente pocos científicos se detenían a pensar sobre la naturaleza y origen de esas leyes; ellos estaban felices de simplemente aceptarlas como “dadas.” Ahora que los físicos y cosmólogos han hecho rápidos progresos hacia lo que ellos llaman las “últimas” leyes del universo, muchas viejas preguntas han resurgido. ¿Por qué tienen las leyes la forma que tienen? ¿Podrían haber sido de otra forma? ¿Existen independientemente del universo físico?

El Origen de las Leyes

El concepto de ley de la naturaleza no fue inventado por ningún filósofo o científico en particular. Aunque la idea fue cristalizada en la era científica moderna, su origen se remonta al alba de la historia, y está íntimamente ligada a la religión. Nuestros ancestros distantes deben haber tenido una noción rudimentaria de causa y efecto. El propósito de hacer herramientas por ejemplo ha sido siempre para facilitar la manipulación del medio ambiente. Golpear una nuez con una piedra causa que se rompa y abra, y una lanza cuidadosamente arrojada puede ser apuntada con confianza de que siga una trayectoria particular. Pero aunque ciertas regularidades del comportamiento fueran evidentes para esa gente temprana, la vasta mayoría de los fenómenos naturales permanecían misteriosos e impredecibles, y se inventaron dioses para explicarlos. Por lo tanto había un dios de la lluvia, un dios sol, dioses de los árboles y dioses de los ríos y así siguiendo. El mundo natural estaba bajo el control de una plétora de seres poderosos e invisibles.

Siempre hay peligro en juzgar culturas muy antiguas en nuestros términos, con todas nuestras suposiciones tácitas y prejuicios .En la edad de la ciencia consideramos perfectamente natural buscar explicaciones mecanicistas a las cosas: la cuerda del arco impulsa la flecha, la gravedad empuja la piedra hacia la tierra. Una causa dada, usualmente en forma de una fuerza produce un efecto posterior. Pero las primeras culturas no consideraban al mundo de esa manera. Algunas percibieron al mundo como un campo de batalla. Dioses o espíritus, cada uno con una personalidad distintiva, podían enfrentarse o aliarse. Otras culturas, especialmente en el este, creían que el mundo físico era un tapiz holístico de influencias interdependientes.

En casi todas las teorías cosmológicas tempranas, el mundo estaba unido no a máquinas, sino a organismos vivientes. Los objetos físicos estaban dotados de propósitos, como los animales parecían comportarse con un fin. Un vestigio de esta forma de pensar sobrevive todavía cuando la gente dice que el agua “busca” su nivel más bajo, o se refiera a la aguja de la brújula diciendo que “busca” el norte. La idea de un sistema físico buscando o dirigiéndose hacia algún objetivo final es llamada “teleología.” El filósofo griego Aristóteles, cuya imagen animista del mundo es descripta brevemente en el capítulo 1, distinguía entre cuatro clases de causas: Causa Material, Causa Formal, Causa Eficiente, y Causa Final. Estas categorías son a menudo ilustradas con el ejemplo de una casa. ¿Qué causa que una casa devenga en existencia? Primero está la Causa Material, que aquí está identificada con los ladrillos y otros materiales con los cuales la casa está construida. Luego está la Causa Formal la cual es forma o figura con la que el material está dispuesto, Tercero viene la Causa Eficiente, el medio mediante el cual el material queda dispuesto de esa manera (en este caso el constructor). Y por último está la Causa Final, le propósito de la cosa. En el caso de una casa este propósito podría involucrar un diseño pre-existente hacia el cual el constructor trabaja.

Aún provisto de una noción bastante elaborada de la causación, Aristóteles no formuló apropiadamente lo que hoy entendemos como leyes de la naturaleza. El discutió el movimiento de los cuerpos materiales, pero sus así llamadas leyes del movimiento fueron realmente sólo descripciones de cómo se

suponía que operaban las Causas Finales. De este modo, por ejemplo, una piedra podría caer porque el “lugar natural” de los objetos pesados era la Tierra, los gases tenues podía elevarse, porque su lugar natural era el reino etéreo sobre el cielo, y así siguiendo.

Mucho de este pensamiento temprano estaba basado en la suposición que las propiedades de las cosas físicas eran cualidades intrínsecas pertenecientes a esas mismas cosas. La gran diversidad de formas y substancias encontradas en el mundo físico, entonces reflejaban la variedad sin límite de propiedades intrínsecas. En contra de esta forma de mirar el mundo estaban las religiones monoteístas. Los judíos concibieron a Dios como el Legislador. Este Dios, siendo independiente y separado de su creación, imponía leyes sobre el universo físico. Se suponía que la naturaleza estaba sujeta a las leyes por decreto divino. Uno todavía podría asignar causas a los fenómenos, pero la conexión entre causa y efecto estaba ahora restringida por las leyes. John Barrow ha estudiado los orígenes históricos del concepto de leyes físicas. Compara el panteón griego con el Dios monárquico del judaísmo: “Cuando miramos la sociedad relativamente sofisticada de dioses griegos, no encontramos muy evidente la noción de un legislador cósmico todo poderoso. Los eventos eran decididos por negociación, decepción o argumentación más que por decreto omnipotente. La creación procedía por comité más que por una orden arbitraria.”³²

La visión que las leyes eran impuestas, en vez de que eran inherentes, a la naturaleza fue adoptada eventualmente por el cristianismo y el islamismo también, aunque no sin pelea. Barrow relata como Santo Tomás de Aquino “vio las tendencias innatas aristotélicas como aspectos del mundo natural los cuales fueron providencialmente empleados por Dios. No obstante, en esta empresa cooperativa su carácter básico fue violado. De acuerdo con este punto de vista, la relación de Dios con la Naturaleza es la de un socio en vez de la de un soberano.”³³ Pero esas ideas aristotélicas fueron condenadas por el obispo de París en 1277, a ser reemplazadas en la doctrina posterior por la noción de Dios el Legislador, tan bien encapsulado en el himno de Kempthorn de 1796:

*¡Alabad al Señor! Porque Él ha hablado
Los mundos su poderosa voz obedecen
Las leyes, que nunca serán violadas
Para su guía Él las ha hecho.*

Es fascinante trazar las influencias culturales y religiosas que trabajaron en la formulación del concepto moderno de leyes de la naturaleza. La Europa medieval, sujeta por un lado a la doctrina cristiana de las leyes de Dios manifiestas en la naturaleza, y por otro a un concepto muy fuerte de leyes civiles, proveyeron un medio propicio para que emergan las ideas científicas de las leyes de la naturaleza. Por lo tanto encontramos que los primeros astrónomos como Tycho Brahe y Johannes Kepler, al deducir las leyes del movimiento planetario, creían que al estudiar el ordenado proceso de la naturaleza estaban descubriendo el diseño racional de Dios. Esta posición fue posteriormente articulada pro el filósofo y científico René Descartes, y adoptada pro Isaac Newton, cuyas leyes del movimiento y gravitación dieron a luz la era de la ciencia.

Newton mismo creía fuertemente en un Diseñador que trabajó a través de leyes matemática fijas. Para Newton y sus contemporáneos el universo fue una vasta y magníficiente construida pro Dios. Las opiniones no obstante diferían respecto sobre la naturaleza del Matemático e Ingeniero Cósmico. ¿Construyó meramente Él la máquina, le dio cuerda y la dejó para que se valiera por si misma? ¿O supervisa Él su funcionamiento a diario? Newton creía que el universo era salvado de la desintegración gravitacional sólo por un milagro perpetuo. Esa intervención divina es un ejemplo clásico del Dios de los huecos. Es un argumento cargado con peligro, y deja como rehén de la fortuna que futuros avances de la ciencia puedan completar satisfactoriamente ese hueco. Y en verdad la estabilidad gravitacional del universo es bien comprendida hoy en día. Aún en los días de Newton, su suposición de un milagro perpetuo fue ridiculizada por sus rivales continentales. De esta forma Leibniz se burlaba:

El Sr. Newton y sus seguidores tienen también una opinión extremadamente extraña sobre el trabajo de Dios. De acuerdo con ellos Dios tiene que darle cuerda al reloj de tiempo en tiempo. De otra forma dejaría de funcionar. Él careció de suficiente previsión para hacerlo un movimiento perpetuo.... De acuerdo con mi visión, la misma fuerza y vigor continúa existiendo en el mundo siempre.³⁴

³² *Theories of Everything: The Quest for Ultimate Explanations* by John Barrow (Oxford University Press, Oxford, 1991), p. 6.

³³ Ibid., p. 58.

³⁴ “Discourse on metaphysics” by G. W. Leibniz, in *Philosophical Writings* (ed. G. H. R. Parkinson, Dent, London, 1984).

Para Descartes y Leibniz, Dios era la fuente y garantía de la total racionalidad que infunde al cosmos. Es esta racionalidad que abre la puerta del entendimiento de la naturaleza por la aplicación de la razón humana, siendo la misma un don de Dios. En la Europa del Renacimiento, la justificación para lo que hoy llamamos la aproximación científica a la investigación, fue la creencia en un Dios racional cuyo orden creado podía ser discernido a través de un cuidadoso estudio de la naturaleza. Y parte de la creencia de Newton, sin embargo, vienen a ser que las leyes de Dios eran inmutables. "La cultura científica que floreció en Europa occidental," escribe Barrow, "de la cual somos herederos, estaba dominada por la adherencia a la absoluta invariabilidad de las leyes de la Naturaleza, la cual de este modo aseguró el significado de la empresa científica y su éxito."³⁵

Para el científico moderno, es suficiente sólo que la naturaleza simplemente tenga las regularidades observadas que todavía llamamos leyes. La cuestión de su origen usualmente no aparece. Aunque es interesante meditar si la ciencia hubiera florecido en la Europa medieval y del renacimiento si no fuera por la teología occidental. China, por ejemplo, tenía una cultura compleja y altamente desarrollada en ese tiempo, la cual produjo algunas innovaciones tecnológicas que estaban avanzadas respecto de las de Europa. Al erudito japonés Kowa Seki, quien vivió en el tiempo de Newton, se le acredita la invención independiente del cálculo diferencial y un procedimiento para computar π (pi), pero él eligió mantener estas formulaciones en secreto. En su estudio del antiguo pensamiento chino, Joseph Needham escribió: "No había confianza en que el código de las leyes de la naturaleza pudiera alguna vez ser revelado y leído, porque no había seguridad de que un ser divino, aún más racional que nosotros mismos, hubiera alguna vez formulado un código capaz de ser leído."³⁶ Barrow argumenta que, en ausencia de "concepto de un ser divino, que actuó para legislar lo que ocurrió en el mundo natural, cuyos decretos formaron leyes inviolables de la Naturaleza y que asegurara la empresa científica." La ciencia china estaba condenada a un "curioso nacimiento muerto."³⁷

Aunque haya indudablemente alguna verdad en la aseveración que la diferencia en el progreso científico entre Oriente y Occidente pueda ser trazada hasta sus diferencias telógicas, otros factores son también responsables. La mayor parte de la ciencia occidental ha sido fundada sobre el método del reduccionismo, mediante el cual las propiedades de un sistema complicado se entienden estudiando el comportamiento de sus partes componentes. Para dar un simple ejemplo, probablemente nadie entienda todos los sistemas de un avión Boeing 747, pero cada parte es entendida por alguien. Nos sentimos bien al decir que el comportamiento del avión es entendido como un todo porque creemos que un avión es exactamente la suma de sus partes.

Nuestra habilidad de disecar los sistemas naturales de esta forma ha sido crucial para el progreso de la ciencia. La palabra "análisis", a menudo se usa como sinónimo de "ciencia," expresando la suposición que podemos desarmar las cosas y estudiar los pedazos aisladamente para entender el todo. Aún un sistema tan complejo como el cuerpo humano, alguno afirma, puede ser comprendido conociendo el comportamiento de los genes individuales, o las reglas que gobiernan a las moléculas para formar las células. Si no pudiéramos entender partes limitadas del universo sin entender el todo, la ciencia sería una empresa inesperanza. Así y todo esta cualidad analizable de los sistemas físicos no es tan universal como alguna vez se pensó. En los años recientes los científicos han encontrado más y más sistemas que deben ser entendidos en forma holística o no pueden ser entendidos en absoluto. Estos sistemas son descriptos matemáticamente por ecuaciones conocidas como "no lineales." (Se pueden encontrar más detalles en mis libros *The Cosmic Blueprint*³⁸ y *The Matter Myth*³⁹.) Puede ser simplemente un accidente de la historia que el primer científico estuviese preocupado por los sistemas lineales, como el sistema solar, los cuales son espacialmente sensibles a las técnicas analíticas y enfoque reduccionista.

³⁵ *Theories of Everything: The Quest for Ultimate Explanations* by John Barrow (Oxford University Press, Oxford, 1991), p. 295

³⁶ *The Grand Titration: Science and Society in East and West* by Joseph Needham (Allen & Unwin, London, 1969).

³⁷ *Theories of Everything: The Quest for Ultimate Explanations* by John Barrow (Oxford University Press, Oxford, 1991), p. 35

³⁸ *The Cosmic Blueprint: New Discoveries in the Nature's Creative Ability to Order the Universe* by Paul Davies (Touchstone Books May 1989) ISBN 0-671-60233-0

³⁹ *The Matter Myth: Dramatic Discoveries That Challenge Our Understanding of Physical Reality* by Paul Davies, John Gribbin (Preface) (Touchstone Books; January 1992) ISBN: 0-671-72841-5

La popularidad de la "ciencia holística" en los últimos años ha impulsado la publicación de una serie de libros, entre ellos el muy notable *The Tao of Physics*⁴⁰ de Fritjof Capra⁴¹ que remarca las similitudes

⁴⁰ *The Tao of Physics: An Exploration of the Parallels Between Modern Physics and Eastern Mysticism* by Fritjof Capra (Shambhala; 4th edition January 2000) ISBN: 1-570-62519-0

⁴¹ Conversación con Fritjof Capra

Por Satish Kumar

No ha hablado de las estructuras de poder.

F. Capra: Pienso que el asunto del poder y las actuales estructuras de poder es relevante sobremanera. El poder es esencialmente una exageración de la propia afirmación. Por supuesto que la propia afirmación es necesaria y saludable, pero cuando se va de las manos desemboca en esas extremas estructuras de poder. Pienso que es muy necesario ver claramente de dónde viene el poder.

Un presidente norteamericano difícilmente tiene poder, el poder reside en el Congreso y el Congreso está dirigido por las corporaciones, los grupos de presión, las camarillas y demás, así que el presidente no puede hacer demasiado. La única vez que Jimmy Carter pudo estar realmente activo fue cuando se hallaba fuera del país. Cuando estaba en el Medio Oriente o hablando con Brezhnev y cosas por el estilo. Pero en la Casa Blanca tema escaso poder. En los Estados Unidos, la gente cree que el presidente es un mal presidente porque no puede hacer un comino, y entonces viene alguno de afuera, de Georgia o California, o cualquier otro sitio y les dice: "Bueno, cuando yo llegue a la Casa Blanca será todo muy diferente porque yo vengo de afuera". Entonces, llega a la Casa Blanca y sucede exactamente la misma cosa otra vez. Pienso que es muy crucial reconocer, no solamente en Norteamérica, sino en todas partes, que el poder político reside en el poder económico.

¿Cuál es la relación entre materia y conciencia?

F. Capra: Las pautas que observamos en la materia parecen ser reflejos de las pautas de la mente. Cuando se observa cierta partícula o cierta estructura en el mundo de las partículas, resulta muy difícil decir en verdad si está fuera o si está dentro. Me parece que las pautas de la mente y las pautas de la materia son reflejos una de la otra. Cuando estudiamos la materia, entonces desembocamos en interconexiones y correlaciones, y vemos que las estructuras materiales vienen a ser una red de correlaciones. Cuando nos ocupamos de la mente, la psique, en el dominio del pensamiento, de la conciencia, nos manejamos con interconexiones y correlaciones. Así que tenemos dos lotes de correlaciones y hay correlaciones entre ambos. Pienso que ése es el modo en que podemos realmente hacer contacto entre la materia y la conciencia. Mientras considerábamos a la materia como objetos sólidos, no había un modo en que pudieramos relacionarla muy bien con la conciencia; pero ahora que vemos una malla o red en el campo psicológico y en el campo material, existe la esperanza de hacer alguna conexión.

¿Qué efecto tienen estas teorías en la conciencia de los físicos como personas?

F. Capra: Una de las diferencias entre la física y el misticismo es que el conocimiento místico no puede ser obtenido meramente mediante la observación sino sólo cambiando por completo el propio estilo de vida. Mediante un compromiso íntimo e integral con la integridad del propio ser. Casi podría decirse que esta transformación existencial es en sí misma el conocimiento. El conocimiento es la transformación. Ahora bien, en la ciencia esto no es verdad. Muchos científicos son capaces de desarrollar estas teorías con implicancias filosóficas profundas y hermosas, y después irse a su casa para vivir allí una vida muy newtoniana. Esto sucede porque el intelecto puede desvincularse de la realidad. Sin embargo, ello no se aplica a todos los científicos por cualquier medio y típicamente, los realmente grandes muestran la influencia de esas teorías en sus propias vidas, como Einstein. Los físicos más intuitivos muestran tal mezcla de su vida y su obra. Pero hay un ejército entero de físicos que pueden elaborar las teorías sin que ellas tengan mayor impacto en sus vidas.

¿Cómo aprecia Ud. la visión cristiana de Dios?

F. Capra: La imagen de un dios creador que impone su ley divina al universo es muy acorde con la clásica visión del mundo con leyes naturales fijas y el universo funcionando como una máquina según leyes naturales estrictamente deterministas. Esta especie de rígida visión cristiana no era la visión que tenían del mundo los místicos, ya que los numerosos místicos de la tradición cristiana poseían una visión muy diferente de Dios. Por esa mismísima razón no fueron realmente reconocidos por la jerarquía de la iglesia. Las tradiciones místicas son suprimidas en Occidente.

¿Algo que decir sobre los científicos médicos y los doctores?

F. Capra: Mi próximo libro va a tratar sobre la salud en un contexto muy amplio. Me exploraré sobre estas tres dimensiones de la salud: la individual, la social y la ecológica. Individuo, sociedad y ecosistema. Y sugeriré cómo se puede ampliar el encuadre mecanicista que estoy de acuerdo en considerar como muy fuerte en la medicina. Lo que observo en los Estados Unidos es que hay un fuerte movimiento popular, un poderoso movimiento de base hacia el cuidado de la salud, y pienso que, como en la economía y la política, el cambio emanará de la gente y no de las autoridades. Esto va a suceder, particularmente en la medicina, porque tenemos un montón de poder para influenciar el campo médico. Cuando me da un dolor de garganta no tengo que tomar una pastilla para la garganta, sabiendo que matará a las bacterias pero que al mismo tiempo debilitará al organismo; puedo recurrir a otros medios. Al no comprar la droga, no solamente se hace algo que es saludable para uno mismo, sino que es algo saludable social, económica y ecológicamente. En otras palabras, si a uno le duele la cabeza y no toma una aspirina, considero eso como un acto político.

¿Por qué lo llama Nueva Física?

entre la filosofía antigua oriental con su interconexión holística de las cosas y la física moderna no lineal. ¿Podríamos concluir que la filosofía oriental y la teología, después de todo, fueron superiores a

F. Capra: La cuestión básica es que estamos viendo el universo como un proceso cósmico unificado, y estamos viendo a todos los objetos, la gente y los acontecimientos como pautas del proceso. No se puede separar alguna de las pautas del resto sin destruirlo. Esto resulta bastante obvio cuando se habla de organismos vivos, como un pájaro o un gato; separan ese organismo del entorno, el aire y todo lo demás, y se mata al animal allí mismo. La Nueva Física nos ha evidenciado que esto también es cierto para la materia inorgánica: uno puede también destruir átomos, partículas y moléculas, si logra sacarlas completamente de su ambiente. Lo que puede hacerse es separar las pautas del resto: conceptualmente. Hemos tenido mucho éxito haciéndolo. Puedo decir que esta taza de agua es un objeto separado y que el micrófono es un objeto separado y que Satish Kumar es diferente a mí, estamos separados, él no es yo, y yo no soy él, todo eso. Pero la Nueva Física nos ha mostrado que se torna muy difícil separar las cosas de esta manera, especialmente cuando vamos a dimensiones más y más pequeñas. Entonces se vuelve crecientemente difícil separar cualquier pauta del todo. Todavía puede llegar a hacerse aproximadamente, pero se vuelve más y más difícil. Se puede comenzar de una comprensión del universo como un todo y luego especializarse en pautas individuales. Pero si se comienza con las pautas y se dice que son objetos separados, ladrillos separados, entonces jamás se comprenderá el todo. Creo que ese es el carozo de la Nueva Física. Así que no se trata de cómo juntar las cosas sino que es cuestión de cómo empezar a partir del todo ya mismo y luego especializarse en pautas individuales.

¿Qué forma tomarán la nueva biología, la ingeniería genética y la investigación genética; cuáles serán sus roles?

F. Capra: Bueno, los biólogos tienen bastante éxito en la biología molecular, quebrando las cosas en pedazos y estudiando esos mecanismos moleculares. En verdad ese método no les permite comprender algún proceso biológico, hasta el proceso más sencillo, de una manera relativamente completa. Entienden fragmentos y pedacitos, pero los fragmentos y los pedacitos les fascinan en demasía y la estrategia integral de la investigación en biología está organizada siguiendo esos lineamientos reduccionistas. Así que si uno es un biólogo no obtendrá una subvención si no escribe su requerimiento de subvención en esos términos, en ese lenguaje. Ese es un campo donde no veo cómo pueden producirse los cambios, excepto tal vez a través de la medicina. Porque ahora, resulta bastante claro en la medicina que estamos llegando al final del paraíso producciónista y que tenemos que abandonarlo o modificarlo. Piensó que esto causar un efecto en la biología.

¿No es la división de las cosas una manera conveniente para aprenderlas?

F. Capra: Es cierto que dividimos las cosas por conveniencia pero carecemos en nuestra cultura de una visión más profunda del mundo que nos lo diga. Cuando uno crece y va a la escuela lo que le enseñan es que las cosas están hechas de átomos; que los átomos están hechos de partículas. Ellos no dicen que todo es conciencia cósmica, que ésta tiene pautas materiales, que ellas se hallan interconectadas, que todo es una danza y que convenientemente uno puede separar la danza en movimientos distintos.

¿Cómo estudia uno los organismos de manera realista, seriamente?

F. Capra: Pienso que el Dr. de Bono lo expresó muy bien cuando dijo que el 95% de nuestros pensadores puede ser racional pero que 5% tiene que ser lateral. Considero que uno puede decirlo similarmente: es posible estudiar la pauta detallada pero nunca dejar el todo fuera de la vista, y eso va a producir la diferencia. Lo que se diga acerca de estas pautas u organismos individuales o funciones va a ser aproximado. La noción de modelos es extremadamente importante. El mapa no es el territorio. Es solamente una representación aproximada de la realidad. Hay un muy hondo cambio de actitud, una revolución real.

¿En la enseñanza de ciencia, cómo puede comenzarse desde una perspectiva realística y no mecanística?

F. Capra: Yo dicto cursos sobre física moderna para no físicos. Sería muy interesante hacerlo hasta con niños pequeños. Comenzar de un modo poético. Desde las primeras dos clases hablarles de la danza cósmica y de todo y todas las cosas de un modo bien in-científico, una manera poética, para luego decirles: "bueno, ahora vamos a mirar los detalles, pero cuando lo hagan tendrán que desaprender algunas cosas a medida que avanzan, así que no crean en ello muy firmemente. No es 100% verdad, se trata apenas de un modelo". No se cómo podrías traducir esto a un lenguaje que pudieran entender los chicos del colegio secundario, pero pienso que vale la pena hacerlo. Es realmente algo que tendría que ser las escuelas Stelner, donde comienzan con el mito y con un montón de pintura, y luego siguen hacia algo más intelectual. Cuando se enseña física o ciencia, tienes este mito del científico sentado ante un escritorio (digo "científico" porque siempre es un hombre), elaborándolo todo a partir de ecuaciones básicas de una manera muy racional. Ahora bien, cuando se hace ciencia éste no es en absoluto el modo en que la ciencia se hace, hay un montón de trabajo conjectural, muchísima intuición, mucha sincronicidad, pero eso no es reconocido. Se podría agregar o incorporar en la enseñanza de la ciencia el desarrollo de la intuición. Hay variados ejercicios que uno puede aprender a fin de ayudarse para desarrollar su intuición, y esto no está reconocido todavía aunque comienza a reconocerse. Has visto que siempre hemos dicho que las mujeres son muy intuitivas y que eso está bien para ellas, como significando que eso que hacen no es demasiado importante. Ahora se está dando un cambio muy profundo. Esta es una modalidad femenina del darse cuenta.

¿Qué es la mente?

F. Capra: No lo sé. Me impresionó mucho el libro de Gregory Bateson, *Mente y Naturaleza* (*Mind and Nature*). El ve a la mente como una propiedad de sistemas en los organismos vivientes y enumera cinco condiciones que deben darse para que uno pueda hablar de algo, un sistema, como poseyendo mente o pensamiento, y esto va muchísimo más allá del desarrollo del sistema nervioso por las suyas. Comienza muy tempranamente en los organismos vivos y consiste en cierto modo de procesar la información, de usar la información para sobrevivir. Tengo la sensación de que a partir de ello se deduce que existe cierta complejidad de interconectividad que permite hablar sobre la mente y de nuevo puede hacerse la conexión con la materia cuando se constata que la materia también posee su interconectividad, y tal vez existan similitudes o imágenes, y así en adelante. Pienso que lo mejor que puedo sugerir es la lectura de ese libro de Bateson.

su contraparte occidental? Seguramente no. Ahora sabemos apreciar que el progreso científico requiere tanto el enfoque reduccionista como el holístico. No es cuestión que uno sea correcto y el otro no, como alguna gente le gusta afirmar, sino que existe la necesidad de dos formas complementarias de estudiar los fenómenos físicos. Lo que es interesante es que el reduccionismo funciona. ¿Por qué está el mundo estructurado de tal forma que [podemos conocer algo sin conocerlo todo](#)? Este es un tópico que desarrollaré en el capítulo 6.

El Código Cómico

El surgimiento de la ciencia y la Edad de la Razón trajeron con ellas la idea de un orden oculto en la naturaleza, el cual era matemático en su forma y podía ser descubierto por una investigación ingeniosa. Mientras que en las consideraciones primitivas de causa y efecto, las conexiones directas son inmediatamente aparentes para los sentidos, las leyes de la naturaleza descubiertas por la ciencia son mucho más sutiles. Cualquiera puede ver, por ejemplo, que las manzanas caen, pero la ley de Newton de gravedad inversa del cuadrado demanda mediciones especiales y sistemáticas antes de que quede manifestada. Más importante, requiere de alguna clase de estructura de trabajo abstracta, evidentemente de una naturaleza matemática, como contexto de esas mediciones. Los datos crudos colectados por nuestros sentidos no son directamente inteligibles tal como están. Para unirlos, para entrelazarlos en una estructura de conocimiento, requiere un paso intermedio, un paso que llamamos teoría.

El hecho que esa teoría sea sutil y matemática puede ser sugestivamente expresado diciendo que las leyes de la naturaleza están codificadas. El trabajo de los científicos es “romper” el código cósmico y por lo tanto revelar los secretos del universo. Heinz Pagels, en su libro *The Cosmic Code* lo expresa así:

Aunque la idea de que el universo tiene un orden que es gobernado por las leyes naturales que no son inmediatamente aparentes a los sentidos es muy antigua, fue sólo en los últimos trescientos años que hemos descubierto un método para descubrir el orden oculto – el método científico experimental. Tan poderoso es este método que virtualmente todo lo que los científicos conocen sobre el mundo natural proviene de él. Lo que ellos encontraron es que la arquitectura del universo está verdaderamente construida de acuerdo a reglas universales que yo llamo el código cósmico – el código de construcción del Demiurgo.⁴²

Como explicara en el capítulo 1, Platón imaginó un artesano benevolente – un Demiurgo – quien construyó el universo usando principios matemáticos basados en formas geométricas simétricas. Este reino abstracto de Formas Platónicas estaba conectado con el mundo del día a día de experiencias sensoriales por una sutil entidad que Platón llamó el Alma del Mundo. El filósofo Walter Mayerstein asemeja el Alma del Mundo de Platón al moderno concepto de teoría matemática, siendo la cosa que conecta nuestras experiencias sensoriales con los principios sobre los cuales el universo está construido, y nos provee con lo que hemos llamado entendimiento.⁴³ En la era moderna, Einstein también insistió que nuestras observaciones directas de los eventos en el mundo no eran generalmente inteligibles, pero debían estar relacionados con un estrato de teoría subyacente. En una carta a M. Solovine fechada el 7 de mayo de 1952, Einstein escribió “las siempre problemáticas conexiones entre el mundo de las ideas y aquel que puede ser experimentado.” Einstein enfatizó que “no hay un camino lógico” entre los conceptos teóricos y nuestras observaciones. Uno es puesto en concordancia con el otro mediante un procedimiento “extra lógico” (intuitivo).⁴⁴

Usando una metáfora de computación, podríamos decir que las leyes de la naturaleza encierran un mensaje codificado. Somos los receptores de ese mensaje, comunicado a nosotros mediante ese canal que llamamos teoría científica. Para Platón, y muchos otros después de él, el emisor de ese mensaje es el Demiurgo, el Constructor cósmico. Como veremos en capítulos venideros, toda la información sobre el mundo puede en principio ser representada en forma de aritmética binaria (unos y ceros), esto es la forma más conveniente para procesarla por computadora. “El universo,” afirma Mayerstein, “puede ser simulado con una secuencia enorme de ceros y unos; el propósito del esfuerzo científico es entonces nada más que intentar decodificar y descifrar esta secuencia con el objetivo de tratar de entender, de

⁴² *The Cosmic Code: Quantum Physics As the Language of Nature* by Heinz R. Pagels; (Bantam, New York, 1983) p. 156 ASIN: 0671248022

⁴³ “Plato’s Timeaus and Contemporary Cosmology: A Critical Analysis” by F. Walter Mayerstein, University of Barcelona report, 1989.

⁴⁴ Reprinted in *Einstein: A Centenary Volume* (ed. A. P. French, Heinemann, London, 1979), p. 271

encontrarle el sentido a ese ‘mensaje’” ¿Qué puede ser dicho sobre la naturaleza de ese “mensaje”? “Es bastante obvio que si el mensaje está codificado, presupone la existencia de algún patrón o estructura en la disposición de los ceros y unos en la secuencia; una secuencia totalmente aleatoria o caótica debe ser considerada indescifrable.”⁴⁵ Entonces el hecho es que en lugar del caos bullen las propiedades ordenadas de esta secuencia de dígitos. En el capítulo 6 avanzaré más en la exacta naturaleza de estas propiedades.

El Estado de las Leyes Hoy

Mucha gente, algunos científicos incluidos, gusta creer que el código cósmico contiene un mensaje real para nosotros proveniente de un Codificador. Mantienen que la misma existencia del código es evidencia para la existencia de Codificador, y que el contenido del mensaje nos dice algo sobre Él. Otros, como Pagels, no encuentran en absoluto evidencia de un Codificador: “Una de las características extrañas del código cósmico es que, hasta donde podemos decir, el Demiurgo lo ha escrito fuera del código – un mensaje alienígena sin evidencia de un alienígena.” Por lo tanto las leyes de la naturaleza se han vuelto un mensaje sin remitente. Pagels no está demasiado perturbado por esto. “Sea que Dios es el mensaje, escribió el mensaje, sea que se escribió a sí mismo no es importante para nuestras vidas. Podemos con seguridad desechar la idea de un Demiurgo, porque no hay evidencia científica de un Creador del mundo natural, ni evidencia de una voluntad o propósito en la naturaleza que vaya más allá del conocimiento de sus leyes.”⁴⁶

En tanto las leyes de la naturaleza tengan sus raíces en Dios, su existencia no es más remarcable que la de la materia, la cual Dios también creó. Pero si el sostenimiento divino de las leyes fuera removido, su existencia se tornaría un profundo misterio. ¿De donde vienen? ¿Quién “envió el mensaje”? ¿Quién diseñó el código? ¿Están las leyes simplemente *allí* – flotando libremente, digamos – o deberíamos abandonar la misma noción de leyes de la naturaleza como una innecesaria resaca de un pasado religioso?

Para llevar adelante estos profundos temas, primero echemos un vistazo a lo que realmente entiende un científico por ley. Todo el mundo concuerda que los trabajos de la naturaleza exhiben sorprendentes regularidades. Las órbitas de los planetas, por ejemplo, son descriptas por simples formas geométricas, y su movimiento muestra distintos ritmos matemáticos. Los patrones y ritmos son también encontrados dentro de los átomos y sus constituyentes. Aún las estructuras cotidianas, como los puentes y las máquinas, generalmente se comportan de una forma ordenada y predecible. Sobre la base de esas experiencias, los científicos usan el razonamiento inductivo para argumentar que esas regularidades se ajustan a leyes. Como expliqué en el capítulo 1, el razonamiento inductivo no tiene seguridad absoluta. Sólo porque el sol haya salido cada día de nuestra vida, no es garantía que por lo tanto amanezca mañana. La creencia de que lo hará – que hay verdaderamente leyes naturales confiables – es un hecho de fe, pero uno que es indispensable para el progreso de la ciencia.

Es importante entender que las regularidades de la naturaleza son reales. A veces se argumenta que las leyes de la naturaleza, las cuales son intentos de capturar esas regularidades sistemáticamente, están impuestas al mundo por nuestras mentes para darle sentido. Es ciertamente verdadero que la mente humana tiene tendencia a concentrarse en los patrones, y aún a imaginarlos donde no existen. Nuestros ancestros vieron animales y dioses entre las estrellas, e inventaron las constelaciones. Y todos nosotros hemos encontrado caras en las nubes, rocas y llamas. No obstante, creo que cualquier sugerencia de que las leyes de la naturaleza son proyecciones similares es absurda. La existencia de regularidades en la naturaleza es un hecho objetivo y matemático. Por otro lado las afirmaciones llamadas leyes que se encuentran en los libros de texto claramente son invenciones humanas, pero invenciones diseñadas para reflejar, aunque imperfectamente, propiedades de la naturaleza realmente existentes. Sin la suposición de que las regularidades son reales, la ciencia se reduce a una charada sin sentido.

Otra razón por la que no creo que las leyes de la naturaleza sean simplemente creaciones nuestras es que ellas nos ayudan a descubrir nuevas cosas acerca del mundo, a veces cosas nunca sospechadas. La marca de una ley poderosa es que va más allá de una descripción creíble del fenómeno original para el que fue invocada a explicar, y se conecta con otros fenómenos también. Por ejemplo la ley de

⁴⁵ “Rationality and Irrationality in Science: From Plato to Chitin” by F. Walter Mayerstein, University of Barcelona report, 1989.

⁴⁶ *The Cosmic Code: Quantum Physics As the Language of Nature* by Heinz R. Pagels; (Bantam, New York, 1983) p. 157 ASIN: 0671248022

gravedad de Newton, nos da una descripción precisa del movimiento planetario, pero también explica las mareas, la forma de la Tierra, el movimiento de una nave espacial y mucho más. La teoría del electromagnetismo de Maxwell fue mucho más allá de la descripción de la electricidad y el magnetismo, explicando la naturaleza de las ondas de luz y prediciendo la existencia de las ondas de radio. Por lo tanto, las leyes realmente básicas de la naturaleza, establecen profundas conexiones entre diferentes procesos físicos. La historia de la ciencia muestra que, una vez que una nueva ley es aceptada, sus consecuencias son rápidamente exploradas, y la ley es probada en muchos contextos nuevos, a menudo conduciendo al descubrimiento de nuevos, inesperados e importantes fenómenos. Esto me lleva a creer que al conducir la ciencia estamos descubriendo regularidades reales y conexiones, que estamos leyendo esas regularidades en la naturaleza, no escribiéndolas en ella.

Aún no sepamos que son las leyes de la naturaleza, o de donde provienen, todavía podemos listar sus propiedades. Curiosamente, las leyes han sido investidas con muchas de las propiedades que fueron formalmente atribuidas al Dios del cual fue una vez supuesto que habían provenido.

Primer y ante todo, las leyes son universales. Una ley que solo trabaja a veces, o en un lugar pero no en otro, no es buena. Las leyes son tomadas para aplicarlas infaliblemente en cualquier lugar del universo y en todas las épocas de la historia cósmica. No se permiten excepciones. En este sentido son también perfectas.

Segundo, las leyes son absolutas. No dependen de nada más. En particular no dependen de quien esté observando la naturaleza, o del estado actual del mundo. Los estados físicos son afectados por las leyes, pero no viceversa. En verdad, un elemento clave en la visión del mundo científico es la separación de las leyes que gobiernan un sistema físico de los estados de ese sistema. Cuando un científico habla del "estado" de un sistema, se refiere a las condiciones físicas reales en las que el sistema se encuentra en un momento dado. Para describir un estado, hay que dar los valores de todas las cantidades físicas que caracterizan el sistema. El estado de un gas, por ejemplo, puede ser especificado dando su temperatura, presión, composición química, y así siguiendo, si se está interesado en sus características más gruesas. Una especificación completa del estado del gas implicaría dar detalles de la posición y movimiento de todas sus moléculas constituyentes. El estado no es algo fijo y dado por Dios; generalmente cambia con el tiempo. Por contraste, las leyes, que proveen la correlación entre los estados en los momentos subsecuentes, no cambian con el tiempo.

Entonces arribamos a la **tercera** y más importante **propiedad de las leyes de la naturaleza: son eternas.** El carácter eterno y atemporal de las leyes está reflejado en la estructura matemática empleada para modelar el mundo físico. En mecánica clásica, por ejemplo, las leyes de la dinámica están embebidas con un objeto matemático llamado el "Hamiltoniano" el cual actúa en algo llamado el "espacio de fase." Estas son construcciones matemáticas técnicas, cuya definición no es importante. Lo que cuenta es que ambos, el Hamiltoniano y el espacio de fase, son fijos. Por otro lado el estado de un sistema está representado por un punto en el espacio de fase, y ese punto se mueve con el tiempo, representando los cambios de estado que ocurren a medida que el sistema evoluciona. El hecho esencial es que el Hamiltoniano y el espacio de fase en sí son independientes del moviendo de punto representativo.

Cuarto, las leyes son omnipotentes. Con esto significa que nada escapa a ellas: son todo poderosas. También son, en un sentido figurado, omniscientes, porque si seguimos adelante con la metáfora de las leyes "comandando" los sistemas físicos, entonces los sistemas no tiene que "informarle" a las leyes de sus estados para que ellas "legislen las instrucciones correctas" para tal estado.

Sobre esto hay generalmente acuerdo. No obstante cuando consideramos el estado de las leyes aparece un cisma. ¿Deben ser las leyes consideradas un descubrimiento sobre la realidad, o meramente una invención de los científicos? ¿Es la ley de gravedad de la inversa del cuadrado de Newton un descubrimiento hecho por Newton sobre el mundo real, o es una invención suya hecha en un intento de describir las regularidades observadas? Pongámolo de otra forma, ¿descubrió Newton algo objetivamente real sobre el mundo, o meramente inventó un modelo matemático de una parte del mundo que resultó útil para describirlo?

El lenguaje usado para discutir la operación de las leyes de Newton refleja un fuerte prejuicio por la primera posición. Los científicos hablan de planetas "obedeciendo" las leyes de Newton, como si los planetas fueran inherentemente una entidad rebelde que se desbocarían si no estuvieran "sujetos" a las leyes. Esto da una impresión de que las leyes están de alguna manera "allí afuera," yaciendo en espera, listas a intervenir en el movimiento de los planetas cuando quiera y donde quiera este ocurra. Cayendo en el hábito de esta descripción, es fácil atribuir un estatus independiente a las leyes. Si se considera

que tengan ese estatus, entonces se dice que las leyes son trascendentes, porque trascienden el mismo mundo físico real. ¿Pero está esto realmente justificado?

¿Cómo puede establecerse la existencia trascendente y separada de las leyes? Si las leyes se manifiestan sólo a través de los sistemas físicos – en la manera que éstos se comportan – nunca podremos alcanzar el interior de la sustancia del cosmos con leyes como esas. Las leyes están en el comportamiento de las cosas físicas. Nosotros observamos las cosas no las leyes. Pero si nunca vamos a poder echar mano a las leyes excepto a través de su manifestación en los fenómenos físicos, ¿qué derecho tenemos de atribuirles una existencia independiente?

Una analogía útil aquí es con los conceptos de hardware y software en computación. Las leyes de la física corresponden al software, los estados físicos al hardware. (Concedemos que esto restringe un poco el uso de la palabra “hard”, ya que incluido en la definición de universo físico están los nebulosos campos cuánticos y aún el mismo espacio-tiempo.) El siguiente tema puede ser enunciado así: ¿Hay un “software cósmico” independiente – un programa de computadora para el universo – encapsulando todas las leyes necesarias? ¿Puede este software existir sin el hardware?

Ya he indicado mi creencia que las leyes de la naturaleza son reales, verdades objetivas sobre el universo, y que nosotros descubrimos en vez de inventarlas. Pero todas las leyes fundamentales conocidas han sido encontradas matemáticas en su forma, El porqué debería ser así es un tópico sutil e importante que requiere una investigación de la naturaleza de la matemática. Esto lo encararé en los próximos capítulos.

¿Qué Significa que Algo “Existe”?

Si la realidad física es algo construido sobre las leyes de la naturaleza, entonces esas leyes deben tener una existencia independiente en algún sentido. ¿Qué forma de existencia podemos atribuirle a algo tan abstracto y nebuloso como las leyes de la física?

Permítaseme comenzar con algo concreto – como el concreto, por ejemplo. Nosotros sabemos que existe, porque (en las famosas palabras del Dr. Jonson) lo podemos patear. También lo podemos ver y posiblemente oler: el concreto directamente afecta nuestros sentidos. Pero hay más para la existencia de un montón de concreto que sentirlo, verlo y olerlo. También hacemos el supuesto que la existencia del concreto es algo que es independiente de nuestros sentidos. Está realmente “ahí afuera,” y seguirá existiendo aún cuando no lo toquemos, veamos u olfateemos. Esta es, por supuesto, una hipótesis, pero una razonable. Lo que realmente ocurre es que, en repetidas inspecciones recibimos datos sensoriales similares. La correlación entre los datos sensoriales recibidos en ocasiones sucesivas nos habilita a reconocer el montón de concreto e identificarlo. Es entonces más simple construir nuestro modelo de la realidad sobre la base que el concreto tiene una existencia independiente, que suponer que este se desvanece cuando miramos a otro lado y servicialmente reaparece cada vez que lo volvemos a mirar.

Todo esto parece inofensivo. Pero no todas las cosas que se dice que existen son tan concretas como el concreto. ¿Qué acerca de los átomos por ejemplo? Son demasiado pequeños para verlos, tocarlos, o sentirlos directamente de alguna manera. Nuestro conocimiento de ellos viene indirectamente, vía equipamiento intermedio, los datos del cual deben ser procesados e interpretados. La mecánica cuántica pone peor las cosas. No es posible, por ejemplo, atribuir una posición definida como tampoco un movimiento definido a un átomo al mismo tiempo. Los átomos y partículas subatómicas habitan un mundo de sombras de semi-existencia.

Luego hay entidades más abstractas aún como los campos. El campo gravitatorio de un cuerpo ciertamente existe, pero no puede ser pateado, visto u oido. Los campos cuánticos son aún más nebulosos, consistiendo en patrones temblorosos de energía invisible.

Pero la existencia menos que concreta no es coto exclusivo de la física. Aún en la vida cotidiana usamos conceptos como ciudadanía, o bancarrota, las cuales tampoco pueden ser tocadas o vista y sin embargo son muy reales. Otro ejemplo es la información. El hecho que la información como tal no pueda ser sentida directamente no disminuye su real importancia en nuestras vidas de “tecnología de la información,” en la cual la información es almacenada y procesada. Similares comentarios se aplican al concepto de software e ingeniería de software en la ciencia de la computación. Por supuesto, seríamos capaces de ver y tocar el medio de almacenamiento de la información, como el disco de la computadora o un microchip, pero no podemos percibir la información que hay en ellos como tal.

Luego hay un reino entero de fenómenos subjetivos, como los sueños. Los objetos soñados innegablemente tienen alguna clase de existencia (al menos para el soñador), pero todos juntos tienen una naturaleza menos substancial que un montón de concreto. Similarmente los pensamientos, emociones, memorias y sensaciones no pueden ser desecharados como no existentes, aunque la naturaleza de su existencia es diferente de aquella del mundo "objetivo." Como el software de las computadoras, la mente o el alma pueden depender para su *manifestación* de algo concreto – en este caso el cerebro – pero eso no las hace concretas.

Hay también una categoría de cosas que son ampliamente descriptas como culturales – la música, por ejemplo, o la literatura. La existencia de las sinfonías de Beethoven o los trabajos de Dickens no pueden simplemente ser equiparados con la existencia de los manuscritos sobre los cuales fueron escritos. Ni puede la religión o la política estar identificada meramente con la gente que la practica. Todas estas cosas existen en un sentido menos que concreto, pero no obstante importante.

Finalmente está el reino de la matemática y la lógica, de importancia central para la ciencia. ¿Cuál es la naturaleza de su existencia? Cuando decimos que existe cierto teorema, digamos, sobre números primos, no estamos diciendo que el problema puede ser pateado como el montón de concreto. A pesar de todo, la matemática tiene innegablemente una existencia de alguna clase, aunque abstracta.

La cuestión que confrontamos es si las leyes de la física gozan de alguna existencia trascendente. Muchos físicos creen que esto es así. Hablan del "descubrimiento" de las leyes de la física como si estuvieran realmente "allí afuera" en algún lugar. Por supuesto se concede que lo que hoy llamamos las leyes de la física son sólo aproximaciones tentativas a un conjunto de leyes "verdaderas," pero la creencia es que la ciencia progresará hacia esas aproximaciones mejor y mejor, con la esperanza de que un día tengamos el conjunto "correcto" de leyes. Cuando esto ocurra, teóricamente la física estará completa. Fue la esperanza de que tal culminación estaba en un futuro no lejano lo que impulsó a Stephen Hawking a titular su lectura inaugural al Lucasian Chair en Cambridge "¿Está a la vista el Fin de la Física Teórica?"

No todos los físicos teóricos se sienten confortables con la idea de leyes trascendentales, no obstante James Hartle, observando que "los científicos como los matemáticos, proceden como si la verdad de sus sujetos tuvieran una existencia independiente... como si hubiera un solo conjunto de reglas por las cuales el universo es conducido que están realmente aparte del este mundo que ellas gobiernan," argumenta que la historia de la ciencia está repleta con ejemplos de cómo aquello que una vez creímos verdades fundamentales indispensables resultaron ser accesorias y especiales.⁴⁷ Que la Tierra era el centro del universo permaneció incuestionable por siglos hasta que encontramos que el universo nos daba sólo un lugar en su superficie. Que las líneas y los ángulos en el espacio tridimensional obedecían las leyes de la geometría Euclidiana fue también asumido como una verdad fundamental e indispensable, pero resultó ser que debido a que nosotros vivimos en una región del espacio y del tiempo en el cual la gravedad es relativamente débil, la curvatura del espacio pasó inadvertida por un largo tiempo. ¿Cuántas otras características del mundo, pregunta Hartle, podrían ser similarmente debido a nuestra perspectiva particular del mundo, y no el resultado de una verdad profunda y trascendente? La separación de la naturaleza en "el mundo" y "las leyes" podría ser una de esas características accesorias.

De acuerdo con este punto de vista, no hay un conjunto único de leyes hacia las cuales la ciencia converge. Nuestras teorías y las leyes contenidas en ellas no pueden ser separadas, dice Hartle, de las circunstancias en las cuales nos encontramos. Esas circunstancias incluyen nuestra cultura e historia evolutiva, y los datos específicos que hemos hallado sobre el mundo. Una civilización alienígena con una historia evolutiva diferente, cultura, y ciencia podría construir leyes muy diferentes. Hartle señala que muchas leyes diferentes pueden ser ajustadas para dar un conjunto de datos y nunca podremos estar seguros que hemos obtenido el conjunto correcto.

En el Principio

S importante darse cuenta que las leyes por sí mismas no describen completamente el mundo. Verdaderamente, todo nuestro propósito al formular leyes es conectar diferentes eventos físicos. Una ley simple, por ejemplo, es que una pelota arrojada en el aire describirá una trayectoria parabólica. No obstante hay muchas parábolas diferentes. Algunas son altas y delgadas, otras bajas y planas. La

⁴⁷ "Excess Baggage" by James Hartle, in *Elementary Particles and the Universe: Essays in Honour of Gell-Mann* (ed. John H. Schwarz, Cambridge University Press, Cambridge, 1991), ISBN: 0521412536

parábola particular seguida por una pelota particular dependerá de la velocidad y el ángulo de proyección. Estos son referidos como "condiciones iniciales." La ley de la parábola, más las condiciones iniciales, determinan la trayectoria de la pelota unívocamente.

Las leyes, entonces, son declaraciones sobre clases de fenómenos. Las condiciones iniciales son declaraciones sobre sistemas particulares. Al ejercer su ciencia, los físicos experimentales a menudo eligen o idean ciertas condiciones iniciales. Por ejemplo, en su famoso experimento de la caída de los cuerpos, Galileo soltó masas distintas simultáneamente, para demostrar que llegarían a la tierra en el mismo momento. Por contraste el científico no puede elegir las leyes; ellas son "provistas por Dios." Este hecho imbuye a las leyes con un estatus mucho más alto que las condiciones iniciales. Estas últimas son consideradas como un detalle maleable e incidental, mientras que las primeras son fundamentales, eternas y absolutas.

En el mundo natural, fuera del control del experimentador, las condiciones iniciales nos son provistas por la naturaleza. La piedra de granizo que golpea la tierra no fue dejada caer por Galileo de una manera predeterminada, sino que fue producida por un proceso físico en la atmósfera superior. Similarmente, cuando un cometa ingresa en el sistema solar por una trayectoria particular, esa trayectoria depende del proceso físico del origen del cometa. En otras palabras, las condiciones iniciales pertenecientes a un sistema de interés pueden ser extendidas a un entorno más amplio. Uno podría entonces preguntarse por las condiciones iniciales de ese entorno más amplio. ¿Por qué el granizo se formó en un punto particular de la atmósfera? ¿Por qué las nubes se formaron allí, en vez de en otro lugar? Y así siguiendo.

Es fácil ver que la red de interconexiones causales crece muy rápidamente hasta abarcar todo el cosmos. ¿Entonces qué? La cuestión de las condiciones iniciales cósmicas nos conduce nuevamente al big bang y al origen del universo físico. Aquí las reglas del juego cambian dramáticamente. Mientras que para un sistema particular las condiciones iniciales son sólo una característica incidental que siempre puede ser explicada apelando a un entorno más amplio en un momento anterior, cuando llegamos a las condiciones cósmicas iniciales no *hay* un entorno más amplio ni un momento anterior. Las condiciones iniciales cósmicas son "dadas," tal como las leyes de la física.

La mayoría de los científicos consideran a las condiciones iniciales cósmicas como yaciendo fuera del alcance de la ciencia. Como las leyes, éstas deben ser aceptadas como un hecho bruto. Aquellos con una estructura mental religiosa apelan a Dios para explicarlas. Los ateístas tienden a referirse a ellas como aleatorias o arbitrarias. Es el trabajo de los científicos explicar el mundo tanto como sea posible sin apelar a condiciones iniciales especiales. Si alguna característica del mundo puede ser explicada sólo suponiendo que el universo comenzó de un amanera en particular, no se ha provisto ninguna explicación real en absoluto. Uno está meramente diciendo que el mundo es como es porque fue de la forma que fue. Por lo tanto la tentación ha sido construir teorías del universo que no dependan muy sensitivamente de las condiciones iniciales.

Una pista de cómo esto puede ser hecho es provista por la termodinámica. Si se me da una taza de agua caliente, yo sé que estará fría al día siguiente. Por otro lado, si se me da una taza de agua fría, yo no decir si estuvo caliente o no el día anterior, o el día anterior a ese, o cuán caliente estuvo, si estuvo alguna vez caliente. Uno podría decir que los detalles de la historia térmica del agua, incluyendo sus condiciones iniciales, son borrados por los procesos termodinámicos que la llevan al equilibrio térmico con su medio ambiente. Los cosmólogos han argumentado que procesos similares podrían haber borrado los detalles de las condiciones iniciales cósmicas. Sería imposible, entonces, inferir salvo en los términos más amplios, como comenzó el universo simplemente a partir del conocimiento de cómo es hoy.

Permítaseme dar un ejemplo. El universo hoy está expandiéndose a la misma velocidad en todas las direcciones. ¿Significa esto que el big bang fue isotrópico? No necesariamente. Podría haberse dado el caso que el universo hubiera comenzado expandiéndose de una manera caótica, con diferentes velocidades en distintas direcciones y que ese desorden hubiese sido uniformado por procesos físicos. Por ejemplo por efectos de fricción que obrasen como frenos del movimiento en la dirección de más rápida expansión. Alternativamente, de acuerdo con el escenario de moda del universo inflacionario⁴⁸ discutido brevemente en el capítulo 2, el universo temprano sufrió una fase de expansión acelerada en la cual las irregularidades iniciales desaparecieron. El resultado final fue un universo con un alto grado de uniformidad espacial y un patrón constante de expansión.

⁴⁸ Para una explicación detallada de esta teoría ver Superforce, The Search for a Grand Unified Theory of Nature by Paul Davies (Simon & Shuster, New York, 1984)

Muchos científicos son atraídos por la idea de que el estado del universo que observamos hoy es relativamente insensible a la forma en que comenzó en el big bang. No hay dudas de que parte de esto se debe a la reacción contra las teorías religiosas de una creación especial, pero es también porque la idea remueve la necesidad de preocuparse por el estado del universo en sus etapas muy tempranas, cuando las condiciones físicas eran probablemente extremas. Por otro lado, está claro que las condiciones iniciales no pueden ser completamente ignoradas. Podemos imaginar un universo de la misma edad del nuestro pero de forma muy diferente, y luego imaginarlo involucionando hacia atrás en el tiempo en concordancia con las leyes de la física hacia su big bang de origen. Algun estado inicial sería descubierto el cual daría como resultado ese universo tan diferente.

Cualquiera sean las condiciones iniciales que hayan dado comienzo a nuestro universo uno siempre podría preguntarse: ¿Por qué esas? Dada la infinita variedad de formas en las cuales el universo pudo haber comenzado, ¿por qué comenzó de la forma que lo hizo? Es tentador suponer que las condiciones iniciales no fueron arbitrarias, sino conformes a algún principio profundo. Después de todo, es usualmente aceptado que las leyes de las físicas no son arbitrarias, sino que pueden ser encapsuladas en una prolífica relación matemática. ¿No podría existir una "ley de condiciones iniciales" matemática y prolífica también?

Tal propuesta ha sido explorada por un número de teóricos. Roger Penrose, por ejemplo, argumentó que, si las condiciones iniciales fuesen elegidas aleatoriamente, el universo resultante sería sorprendentemente irregular, conteniendo agujeros negros monstruosos en lugar de materia distribuida relativamente en forma uniforme. Un universo tan uniforme como el nuestro requiere una sintonía delicadamente fina en su comienzo, de modo que todas las regiones del universo se expandan de una manera cuidadosamente orquestada. Usando la metáfora del Creador con un "lista de compras" sin límite de posibles condiciones iniciales, Penrose señala que el Creador necesitó recorrer la lista muy cuidadosamente antes de encontrar un candidato que pudiera conducir a un universo como el nuestro. Elegirlas al azar hubiera sido una estrategia que hubiera fallado casi con certeza. "Sin deseos de denigrar las habilidades del Creador a este respecto," remarcó Penrose, "insisto que es una de las obligaciones de la ciencia buscar leyes físicas las cuales expliquen, o al menos describan de una manera coherente, la naturaleza de la fenomenal precisión que tan a menudo observamos en el trabajo del mundo natural. ... Por lo tanto necesitamos una ley de la física que explique lo especial del estado inicial."⁴⁹ La ley propuesta por Penrose es que el estado inicial del universo fue restringido para poseer un tipo especial de uniformidad desde el mismo comienzo, sin necesidad de inflación o ningún otro proceso de ajuste. Los detalles matemáticos no nos conciernen.

Otra propuesta fue discutida por Hartle y Hawking en el contexto de su teoría cuántica cosmológica. En el capítulo 2 mencioné que no hubo un "primer momento" particular en esta teoría, no hubo un evento de creación. El problema de las condiciones iniciales cósmicas está por lo tanto abolido, al abolir el evento inicial. No obstante para llegar a este fin, el estado cuántico debe ser severamente restringido, no sólo al principio, sino en todo momento. Hartle-Hawking dieron una formulación matemática a tal restricción la cual en efecto juega el rol de una "ley de condiciones iniciales."

Es importante darse cuenta que no puede probarse que una ley de condiciones iniciales sea correcta o incorrecta, o derivada de las leyes de la física existentes. El valor de una ley descansa, como todas las propuestas científicas, en su habilidad de predecir consecuencias observables. Es verdad que los teóricos pueden estar atraídos por una propuesta particular en aras de la elegancia matemática o de la "naturalidad," pero tales argumentos filosóficos son difíciles de justificar. La propuesta de Hartle-Hawking, por ejemplo, está bien adaptada al formalismo de la gravedad cuántica, y parece muy verosímil y natural dentro de ese contexto. Pero si nuestra ciencia se hubiese desarrollado diferentemente la ley de Hartle-Hawking hubiese parecido arbitraria o traída de los pelos. Desafortunadamente, perseguir las consecuencias observables de la teoría de Hartle-Hawking no es fácil. Los autores afirman que ésta predice una fase inflacionaria para el universo, lo cual concuerda con la última moda cosmológica, y podría un día tener algo que decir sobre la estructura a gran escala del diverso – la forma en que las galaxias tienden a formar racimos, por ejemplo. Pero hay poca esperanza de alguna vez seleccionar alguna ley en base a fundamentos observables. En verdad Hartle ha argumentado que tal ley única no existe. (Ver [¿Una única teoría para todo?](#)) En todo caso, una propuesta dada para seleccionar un estado cuántico para el universo entero, no habría mucho que decir sobre el fino nivel de detalle, como la existencia de un planeta particular, menos aún de una persona

⁴⁹ "Singularities and Time Asymmetry" by Roger Penrose, in *General Relativity: An Einstein Centenary Survey* (eds. S. W. Hawking and W. Israel, Cambridge University Press, Cambridge, 1979), p. 631

determinada. La misma naturaleza cuántica de la naturaleza asegura (debido al principio de incertidumbre de Heisenberg) que tales detalles permanezcan indeterminados.

La separación en leyes y condiciones iniciales que ha caracterizado todos los intentos pasados de analizar los sistemas dinámicos puede deberse más a la historia de la ciencia que a alguna propiedad profunda del mundo natural. Los libros de texto nos dicen que en un experimento típico el experimentador crea un estado físico particular y luego observa qué pasa — por ejemplo, cómo evoluciona el estado. El éxito del método científico descansa en la reproducibilidad de los resultados. Si el experimento se repite, se aplican las mismas leyes de la física, pero las condiciones iniciales están bajo el control del experimentador. Hay por lo tanto una clara separación funcional entre las leyes y las condiciones iniciales. Cuando vamos a la cosmología, no obstante, la situación es diferente. Hay sólo un universo, por lo tanto la noción de experimentación repetida es inaplicable. Más aún, no tenemos más control sobre las condiciones cósmicas iniciales que la que tenemos sobre las leyes de la física. La clara distinción entre las leyes de la física y las condiciones iniciales desaparece. “¿No es posible,” conjectura Hartle, “que haya algún principio más general en un marco más amplio, que determine ambos, las condiciones iniciales y la dinámica?”⁵⁰

Creo que estas propuestas a cerca de leyes de condiciones iniciales sustentan fuertemente la idea platónica de que las leyes están “ahí afuera,” transcendiendo el universo físico. Se ha argumentado que las leyes de la física devinieron en existencia con el universo. Si así fuera, entonces esas leyes no pueden explicar el origen del universo, porque, las leyes no hubieran existido hasta que el universo existió. Esto se hace forzosamente más obvio cuando se llega a una ley de las condiciones iniciales, porque tal ley tiende a explicar que el universo devino en existencia precisamente de la forma que es. En el esquema de Hartle-Hawking no hay un momento real de creación en el cual las leyes se apliquen. No obstante, se propone todavía como una explicación de por qué el universo es de la forma que es. Si las leyes no son trascendentales, uno está obligado a aceptar como un hecho bruto que el universo está simplemente *ahí*, como un paquete, con todas sus características descriptas por las leyes que contiene. Pero con leyes trascendentales uno tiene el comienzo de una explicación de por qué el universo es como es.

La idea de leyes trascendentales de la física es la contraparte moderna del reino de las Formas perfectas ideado por Platón, el cual sirvió como bosquejo para la construcción del mundo cambiante de las sombras de nuestra percepción. En la práctica, las leyes de la física están estructuradas como relaciones matemáticas, por lo tanto en nuestra búsqueda del basamento de la realidad debemos volver a la naturaleza de la matemática, y al antiguo problema de si la matemática existe como un reino platónico independiente•

⁵⁰ “Excess Baggage” by James Hartle, in *Elementary Particles and the Universe: Essays in Honour of Gell-Mann* (ed. John H. Schwarz, Cambridge University Press, Cambridge, 1991), ISBN: 0521412536

Capítulo 4- Matemática y Realidad

NINGUNA MATERIA ILUSTRA MEJOR la diferencia entre las dos culturas – el arte y la ciencia- que la matemática. Para el observador externo la matemática es un mundo extraño y abstracto de horribles tecnicismos, lleno de símbolos raros y procedimientos complicados, un complicado lenguaje y un arte negro. Para el científico la matemática es el garante de la precisión y la objetividad. Es también sorprendentemente el lenguaje de la naturaleza misma. Nadie cerrado a la matemática podrá alcanzar el total significado del orden natural que está tejido tan profundamente en la tela de la realidad física.

A causa de su rol indispensable en la ciencia, muchos científicos – especialmente los físicos – depositan la realidad última del mundo físico en la matemática. Un colega mío una vez remarcó que en su opinión el mundo no era nada sino pedazos y piezas de matemática. Para la persona ordinaria, cuya imagen de la realidad está atada firmemente a la percepción de los objetos físicos, y cuya visión de la matemática es de una recreación esotérica, esto debe ser asombroso. Sin embargo el argumento que la matemática es una llave que permite al iniciado develar los secretos cósmicos es tan viejo como la materia misma.

Números Mágicos

Mencione la antigua Grecia y la mayoría de la gente pensará en geometría. Hoy en día los alumnos aprenden el teorema de Pitágoras y los otros elementos de la geometría Euclidiana como ejercicios de entrenamiento para el pensamiento matemático y lógico. Pero para los filósofos griegos su geometría representaba mucho más que un ejercicio intelectual. El concepto de número y forma los fascinaba tan profundamente que construyeron una teoría entera del universo basada en ello. En las palabras de Pitágoras: "El número es la medida de todas las cosas."

Pitágoras vivió en el siglo sexto A. C. y fundó una escuela de filósofos conocidos como los Pitagóricos. Estaban convencidos que el orden cósmico estaba basado en relaciones numéricas, e imbuían a ciertos números y formas con significado místico. Tenían una especial reverencia, por ejemplo, por los números "perfectos" como el 6 y el 28, los cuales eran las sumas de sus divisores (por ejemplo $6 = 1 + 2 + 3$). El mayor respeto estaba reservado para el número 10, el así llamado tetraktis divino, siendo éste la suma de los primeros cuatro números enteros. Disponiendo puntos en distintas formas construían números triangulares (como el 3, 6 y 10), números cuadrados (4, 9, 16, etc.) y así siguiendo. El número cuadrado 4 fue hecho el símbolo de la justicia y reciprocidad.⁵¹ La representación triangular de 10 fue referido como un símbolo sagrado, sobre el que se juraba durante ceremonias de iniciación.

La creencia del poder de la numerología por parte de los Pitagóricos fue reforzada por el descubrimiento de Pitágoras del rol de los números en la música. Él descubrió que las longitudes de las cuerdas que producían tonos armónicamente relacionados tenían una relación numérica simple entre sí. La octava, por ejemplo, correspondía a la relación 2:1. Nuestra palabra "racional" ("ratio-nal") deriva del gran significado heurístico que los Pitagóricos atribuían a los números obtenidos como el ratio de números enteros, como $\frac{3}{4}$ o $\frac{2}{3}$. En verdad, los matemáticos aún se refieren a esos números como racionales. Fue por lo tanto profundamente inquietante para los griegos cuando descubrieron que la raíz cuadrada de 2 no puede ser expresada como el ratio de números enteros. ¿Qué significa esto? Imaginen un cuadrado cuyos lados miden un metro cada uno. Luego, de acuerdo al teorema del mismo Pitágoras, la longitud de la diagonal en metros es la raíz cuadrada de 2. Esta longitud es aproximadamente $\frac{1}{5}$ metros; una mejor aproximación es $\frac{707}{500}$ metros. Pero de hecho ninguna fracción exacta puede expresar esto, no importa cuán grande el numerador y el denominador sean. Los números de esta clase son llamados "irracionales."

Los Pitagóricos aplicaron su numerología a la astronomía. Ellos diseñaron un sistema de 9 capas esféricas concéntricas para transportar los cuerpos celestes conocidos, e inventaron una "contra-tierra" mítica para alcanzar el tetraktis, número 10. Esta conexión entre la música y la armonía celestial fue resumida por la aserción que las esferas astronómicas habían producido la música – la música de las esferas. Las ideas pitagóricas fueron aprobadas por Platón, quien en su *Timaeus* desarrolló aún más el

⁵¹ Un significado que tiene un vago eco en las expresiones "a square deal" y "being all square" (en Inglés en el original).

modelo musical y numérico del cosmos. El continuó aplicando la numerología a los elementos griegos – tierra, aire, fuego y agua – y explorando el significado cósmico de varias formas geométricas regulares.

Los esquemas Pitagóricos y Platónicos hoy pueden parecernos primitivos y excéntricos, no obstante, de tiempo en tiempo recibo manuscritos por correo contenido intentos de explicar las propiedades del núcleo atómico, o partículas subnucleares, sobre la base de la numerología de la temprana Grecia. Evidentemente ésta retiene cierto atractivo místico. El mayor valor de estos sistemas numerológicos y geométricos no es, sin embargo, su verosimilitud, sino el hecho de que ellos tratan el mundo físico como una manifestación de relaciones matemáticas concordantes. Esta idea esencial sobrevivió directamente hasta la era científica. Kepler, por ejemplo, describe a Dios como un geómetra, y en su análisis del sistema solar estuvo profundamente influido por lo que él percibió ser el significado místico de los números involucrados. Y los físicos matemáticos modernos, aunque desprovistos de sobretones místicos, no obstante retienen la suposición de los antiguos griegos que el universo está ordenado racionalmente de acuerdo a principios matemáticos.

Muchas otras culturas han desarrollado esquemas numerológicos que han penetrado en la ciencia y el arte. En el Cercano Oriente antiguo el número 1 – la Unidad – fue a menudo identificado con Dios el Primer Motor. Los Asirios y Babilónicos asignaron números deificados a objetos astronómicos: Venus, por ejemplo, fue identificado con el número 15, y la Luna con 30. Los Hebreos dieron especial significado al 40, que aparece frecuentemente en la Biblia. El diablo es asociado con el 666, un número que retiene todavía cierta fuerza si, como un periodista una vez reportó, el presidente Ronald Reagan cambió su dirección en California para evitarlo. En efecto, la Biblia tiene una trama numerológica tejida profundamente en su texto. Algunas sectas religiosas como los Gnósticos y los Cabalistas, posteriormente construyeron una tradición numerológica elaborada alrededor de la Biblia. Tampoco fue la Iglesia inmune a tal teorización. Agustín en particular alentó el estudio numerológico de la Biblia como parte de una educación cristiana, y esta práctica persistió hasta fines de la Edad Media. En nuestro propio tiempo muchas culturas continúan atribuyéndole poderes sobrenaturales a ciertos números o figuras geométricas, y las rutinas de cuenta especiales forman una parte importante de ritual y de magia en muchas partes del mundo. Aún en nuestra escéptica sociedad occidental mucha gente se aferra a la noción de números afortunados o desafortunados como el 7 o el 13.

Estas connotaciones mágicas obscurecen los muy prácticos orígenes de la aritmética y de la geometría. La construcción de los teoremas geométricos formales en la antigua Grecia siguió al desarrollo de la regla y el compás, y varias técnicas de relevamiento de líneas de mira, las cuales fueron usadas para propósitos arquitectónicos y constructivos. De estos simples comienzos tecnológicos se construyó un gran sistema de pensamiento. El poder del número y de la geometría probó ser tan convincente que se volvió la base de una visión completa del mundo., con el mismo Dios representando el papel del Gran

Geómetra – la imagen tan vividamente capturada en la famosa aguafuerte de William Blake *The Ancient of Days*, mostrando a Dios inclinándose en los cielos para medir el universo con un compás.⁵²

La historia sugiere que cada edad apela a su tecnología más avanzada como una metáfora del cosmos, o aún de Dios. Por lo tanto fue por eso que en el siglo XVII el universo ya no fue referido en términos de armonía musical y geométrica presidida por un Geómetra Cósmico, sino de una forma muy diferente. Un desafío tecnológico excepcional en esa época era la provisión de dispositivos de navegación precisos, especialmente para ayudar en la colonización europea de América. La determinación de la latitud no representa un problema para los navegantes, porque ésta puede medirse directamente por la altitud, digamos, de la estrella Polar sobre el horizonte. La longitud, no obstante, es un tema diferente, porque en la medida que la Tierra rota, los cuerpos celestes se mueven a lo largo del firmamento. La medida de la posición debe ser combinada con la medida del tiempo. Para la navegación este-oeste, necesaria para las singladuras transatlánticas, los relojes precisos son esenciales. Entonces, con la poderosa motivación de recompensas políticas y económicas, se dedicó mucho esfuerzo a diseñar piezas de relojerías de precisión para el uso en el mar.

Este enfoque en la conservación precisa de la hora tuvo su contrapartida teórica en los trabajos de Galileo y Newton. Galileo usó el tiempo como un parámetro para establecer su ley de la caída de los cuerpos. También se le atribuye el descubrimiento que el período de un péndulo es independiente de la amplitud de su oscilación, un hecho que se dice estableció en una iglesia midiendo el tiempo de oscilación de un incensario con su pulso. Newton reconoció el rol central que el tiempo desempeña en la física, estableciendo en su *Principia* que “el tiempo verdadero y matemático, absoluto de si mismo, fluye uniformemente sin ninguna relación con algo externo.”⁵³ Por lo tanto el tiempo como la distancia fue reconocido como una característica del universo físico a ser medido, en principio con una precisión arbitraria.

La posterior observación del papel del flujo del tiempo en física condujo a Newton a desarrollar su teoría matemática de los “flujos,” hoy conocida como el cálculo. La característica central de este formalismo es la noción del cambio continuo. Newton hizo de esto la base de su teoría de la mecánica, en la cual las leyes del movimiento de los cuerpos materiales fueron establecidas. La aplicación más impactante y exitosa de la mecánica de Newton, fue al movimiento de los planetas en el sistema solar. Entonces la

⁵²William Blake, *The Ancient of Days*



⁵³ *The Mathematical Principles of Natural Philosophy*, A. Motte's translation, revised by Florian Cajori (University of California Press, Berkeley and Los Angeles, 1962), vol. 1, p. 6.

música de las esferas fue reemplazada por la imagen de un universo de relojería. Esta imagen alcanzó su forma más desarrollada con el trabajo de Pierre Laplace a fines del siglo XVIII, quien vislumbró a cada átomo del universo como un componente de un mecanismo de relojería infaliblemente preciso. Dios el Geómetra se convirtió en Dios el Relojero.

Mecanizando la Matemática

Nuestra propia era ha disfrutado una revolución tecnológica que está cambiando enteramente nuestra visión del mundo. Me refiero a la aparición de la computadora que ha causado un desplazamiento en la forma de pensar el mundo tanto para los científicos como para los no científicos. Como en épocas anteriores, así hoy hay sugerencias que la última tecnología se usa como una metáfora para la operación del cosmos mismo. Por lo tanto algunos científicos han propuesto que veamos a la naturaleza básicamente como un *proceso computacional*. La música de las esferas, y el universo de relojería han sido desplazados en favor de "la computadora cósmica," con el universo entero siendo considerado como un gigantesco sistema de procesamiento de la información. De acuerdo con este punto de vista, las leyes de la naturaleza pueden ser identificadas con el programa de esa computadora, y los eventos del mundo serían el resultado de ese programa cósmico. Las condiciones iniciales en el origen del universo son los datos de entrada.

Los historiadores ahora reconocen que el concepto moderno de la computadora puede retrotraerse al trabajo del pionero inventor inglés Charles Babbage. Nacido cerca de Londres en 1791, Babbage fue el hijo de un acaudalado banquero cuya familia provenía de Tontes en Devonshire. Aún siendo un niño, el joven Babbage ya estaba interesado en dispositivos mecánicos. Se auto formó en matemática aprovechando todo libro que cayó en sus manos, e ingresó a la Universidad de Cambridge como estudiante en 1810 con su enfoque individual a los temas establecidos, y lleno de planes para desafiar la ortodoxia de la enseñanza matemática británica. Junto con su amigo de toda la vida John Herschel, hijo del famoso astrónomo William Herschel (quien descubrió el planeta Urano en 1781), Babbage fundó la Sociedad Analítica. Los Analíticos estaban enamorados del poder de la ciencia e ingeniería francesas y vieron a la introducción del estilo Continental de la matemática en Cambridge como el primer paso de una revolución tecnológica e industrial. La Sociedad entró en colisión con la clase dirigente que consideraba a Babbage y compañía como militantes radicales.

Luego de abandonar Cambridge, Babbage se casó y estableció en Londres, viviendo por sus propios medios. Continuó admirando el pensamiento científico y matemático francés, posiblemente como resultado de ser allegado a la familia Bonaparte, y estableció muchos contactos en el continente. En esta etapa se interesó en la experimentación con máquinas de calcular, y tuvo éxito en obtener financiación gubernamental para construir lo que él llamó Máquina Diferencial, un tipo de máquina sumadora. El propósito era producir tablas matemáticas, astronómicas y de navegación, libres del error humano y con menos esfuerzo. Babbage mostró un modelo a pequeña escala de la Máquina diferencial, pero el gobierno británico suspendió los fondos en 1833, y una máquina a escala completa nunca fue terminada. Este debe haber sido uno de los ejemplos más tempranos de la incapacidad de un gobierno de reconocer la necesidad de un apoyo a largo plazo para la investigación. (Y estoy inclinado a decir que, en Gran Bretaña al menos, poco parece haber cambiado desde 1830.) En el ínterin una Máquina Diferencial fue producida en Suecia, basada en el diseño de Babbage, y posteriormente comprada por el gobierno británico.

Sin desalentarse por esta falta de apoyo, Babbage imaginó un dispositivo computacional mucho más poderoso el cual llamó Máquina Analítica, y la cual es reconocida como la antecesora de la moderna computadora en su organización esencial y arquitectura. Babbage gastó mucha de su fortuna personal tratando de construir diferentes versiones de esta máquina, pero ninguna fue terminada.

Babbage era una figura discutidora y energética y muchos de sus contemporáneos lo menospreciaban como a un chiflado. No obstante esto se le acredita la invención de, entre otras cosas, el velocímetro, el oftalmoscopio, el guardagánado para los trenes, la caja registradora y los destellos codificados para los faros. Sus intereses abarcaron la política, economía, filosofía y astronomía. La introspección de Babbage en la naturaleza de la computación lo condujo a especular que el universo podría ser considerado como un tipo de computadora, con las leyes de la naturaleza desempeñando el papel de programas – una especulación remarcablemente premonitoria, como veremos luego.

A pesar de su excentricidad, los talentos de Babbage fueron debidamente reconocidos cuando fue elegido para el Lucasian Chair of Mathematics en Cambridge, un puesto que una vez ejerciera Newton. Como nota final histórica, dos hijos de Babbage emigraron a Adelaida al sur de Australia, llevando piezas de las máquinas con ellos. Mientras tanto, de nuevo en Londres, una reconstrucción de la

Máquina Diferencial fue montada en el Museo de Ciencias. Fue ensamblada de acuerdo al original de Babbage y probó que realmente podía computar como se esperaba. Y en 1991, el bicentenario del nacimiento de Babbage (compartido, incidentalmente, con el nacimiento de Faraday y la muerte de Mozart) fue conmemorado por el gobierno de Su Majestad con una edición especial de estampillas.⁵⁴

Luego de la muerte de Babbage, en 1871, su trabajo fue olvidado por mucho tiempo, y no fue sino hasta la década de 1930, que la imaginación de otro inglés inusual, Alan Turing, que la historia continuó. Turing y el matemático norteamericano John von Neumann son reconocidos como los fundadores de la lógica de las computadoras modernas. Como pieza central de su trabajo estaba la noción de una “computadora universal,” una máquina capaz de ejecutar cualquier función matemática computable. Para explicar el significado de computación universal, uno tiene que retroceder hasta 1900, a una famosa cita hecha por el matemático David Hilbert en la cual él señala lo que él consideraba como los veintitrés problemas matemáticos más sobresalientes a ser encarados. Uno de ellos correspondía a la pregunta si podría ser encontrado un procedimiento general para probar teoremas.

Hilbert era consciente de que el siglo XIX había sido testigo de algunos descubrimientos matemáticos profundamente molestos, algunos de los cuales parecía amenazar la entera consistencia de la matemática. Estos incluían problemas asociados con el concepto de infinito, y varias paradojas lógicas de auto referencia que discutiré en breve. En respuesta a estas dudas Hilbert desafió a los matemáticos a encontrar un procedimiento sistemático para decidir, en un número finito de pasos, si dada una sentencia matemática, ésta era verdadera o falsa. Nadie por aquel tiempo parecía dudar que tal procedimiento debiera existir, no obstante construirlo era otra cosa muy diferente. Sin embargo uno podría imaginar la posibilidad de una persona, o un comité probando cada conjetura matemática simplemente siguiendo en forma ciega una secuencia prescripta de operaciones a hasta el final. En realidad la gente sería irrelevante, porque el procedimiento podría ser mecanizado, y tal maquina seguiría automáticamente la secuencia de operaciones deteniéndose eventualmente e imprimiendo el resultado – “verdadero” o “falso” como el caso pudiera ser.

Vista de esta forma la matemática se torna una disciplina enteramente formal, aún un juego, que se ocupa sólo de la manipulación de símbolos de acuerdo a ciertas reglas especificadas y estableciendo relaciones tautológicas. No necesariamente teniendo relevancia para el mundo físico. Veamos como es esto. Cuando llevamos a cabo un procedimiento aritmético como $(5 \times 8) - 6 = 34$ seguimos un conjunto simple de reglas para obtener la respuesta 34. Para obtener la respuesta correcta, no necesitamos entender las reglas, o de donde vienen. De hecho no necesitamos siquiera entender que significan realmente los símbolos tales como 5 y X. En tanto reconozcamos correctamente los símbolos y nos atengamos a las reglas, obtendremos el resultado correcto. El hecho de que podamos usar una calculadora de bolsillo para hacer el trabajo nos prueba que el procedimiento puede ser implementado ciegamente.

Cuando los niños aprenden aritmética al principio necesitan relacionar los símbolos a objetos concretos en el mundo real, por lo tanto comienzan asociando los números con sus dedos o cuentas de un ábaco. Años después, no obstante, la mayoría de los niños están felices de efectuar operaciones matemáticas en forma enteramente abstracta, hasta el extremo de usar **x** e **y** en lugar de números específicos. Aquellos que continúan con matemática avanzada aprenden sobre otros tipos de números (por ejemplo complejos) y operaciones (por ejemplo multiplicación de matrices), los cuales obedecen a reglas extrañas y no corresponden tan obviamente a algo familiar en el mundo real. Aún el estudiante puede aprender como manipular símbolos abstractos que denotan esos objetos extraños y operaciones, sin

54



preocuparse en su significado, si es que realmente significan algo. Por lo tanto se vuelve más y más una cuestión de manipulación formal de los símbolos. Empieza a parecer que la matemática *no es otra cosa que manipulación de símbolos*, un punto de vista llamado “formalismo.”

A pesar de esta verosimilitud superficial, la interpretación formalista de la matemática recibió un duro golpe en 1931. En ese año el matemático y lógico de Princeton, Kurt Gödel probó un teorema majestuoso que asegura la existencia de sentencias matemáticas para las cuales *ningún* procedimiento matemático puede determinar si son verdaderas o falsas. Este fue con creces un teorema *inaplicable*, porque provee una demostración irrefutable que algo en matemática es realmente imposible, aún en principio. El hecho que existan *proposiciones indecidibles* en la matemática fue un gran golpe, porque parecía socavar los mismos cimientos lógicos de la matemática.

El teorema de Gödel surge a partir de una constelación de paradojas que rodean el tema de al auto referencia. Considere como una simple introducción a este tema complicado la siguiente declaración desconcertante: “Esta afirmación es una mentira.” Si la afirmación es verdadera, entonces es falsa; y si es falsa, entonces es verdadera. Estas paradojas auto referenciales son fácilmente creables y profundamente intrigantes; han dejado a la gente perpleja por centurias. Una formulación medieval del mismo enigma es así:

SÓCRATES: “Lo que Platón está por decir es falso.”

PLATÓN: “Lo que Sócrates acaba de decir es cierto”

(Hay muchas versiones: algunas referencias están dadas en la bibliografía.) El gran matemático y filósofo Bertrand Russell demostró que la existencia de tales paradojas golpea al mismo corazón de la lógica, y socava cualquier intento sencillo de construir la matemática rigurosamente sobre un cimiento lógico. Gödel continuó adaptando esas dificultades de auto referencia a la matemática de una manera brillante e inusual. Considero la relación entre la *descripción* de la matemática y la matemática misma. Esto es bastante simple de decir, pero realmente requiere una argumentación larga y muy intrincada. Para tener una idea de lo que está involucrado en ello, uno puede imaginar un listado numerado de las proposiciones matemáticas etiquetadas 1, 2, 3.... Combinar una secuencia de proposiciones en un teorema corresponde a combinar los números naturales de sus etiquetas. De esta manera, las operaciones lógicas sobre la matemática pueden hacerse corresponder ellas mismas a operaciones matemáticas. Y esta es la esencia auto referencial de la prueba de Gödel. Identificando el sujeto con el objeto – relacionando la descripción de la matemática sobre la matemática misma – él develó el lazo paradójico de Russell que conduce inevitablemente a las proposiciones indecidibles. John Barrow remarcó irónicamente que **si se define una religión como al sistema de pensamiento el cual requiere creer en una verdad no comprobable, entonces la matemática es la única religión que puede probar que es una religión!**

La idea clave que yace en el corazón del teorema de Gödel puede ser explicada con la ayuda de una pequeña historia. En un lejano país un grupo de matemáticos que nunca han oído hablar de Gödel se convencen que sí existe un procedimiento sistemático para determinar infaliblemente la verdad o falsedad de cualquier proposición significativa, y se ponen a demostrarlo. Su sistema puede ser operado por una persona, o un grupo de personas, o una máquina, o una combinación de todo ello. Nadie está realmente seguro que es lo que los matemáticos eligieron, porque estaba ubicado en un gran edificio universitario bastante parecido a un templo, y la entrada estaba prohibida al público en general. De todas formas el sistema fue llamado Tom. Para probar las habilidades de Tom, toda clase de complicadas afirmaciones lógicas y matemáticas le fueron presentadas, y luego de un tiempo de procesamiento, aparecían las respuestas: verdadero, verdadero, falso, verdadero, falso.... No pasó mucho tiempo antes que la fama de Tom se extendiera por toda la comarca. Mucha gente fue a visitar el laboratorio, y ejercitaban su ingenio en formular problemas cada vez más difíciles en un intento de lograr que Tom no supiera que contestar. Nadie pudo. Tanta fue la confianza que adquirieron los matemáticos en la infalibilidad de Tom que persuadieron a su rey de ofrecer un premio para aquel que pudiera vencer los increíbles poderes analíticos de Tom. Un día un viajero de otro país llegó a la universidad con un sobre y pidió desafiar a Tom por el premio. Dentro del sobre había un trozo de papel con una aseveración destinada para Tom. La declaración en el papel, que podríamos darle el nombre de “D” (“D” de “declaración” o “D” de “duda”) simplemente rezaba: “Tom no puede probar que esta afirmación es cierta.”

D fue debidamente entregada a Tom. Apenas habían pasado unos pocos segundos cuando Tom comenzó con una clase de convulsión. Después de medio minuto un técnico vino corriendo desde el edificio con la noticia que Tom se había apagado debido a problemas técnicos. ¿Qué había pasado? Supongamos que Tom hubiera arribado a la conclusión que D era verdad. Esto significa que la

afirmación “Tom no puede probar que esta afirmación es cierta” habría sido falsada, porque Tom habría hecho exactamente eso. Pero si D es falsada, D no puede ser verdad. Entonces si Tom respondiera “verdadero” a D, Tom habría arribado a una conclusión falsa, contradiciendo su alardeada infalibilidad. Por lo tanto Tom no puede responder “verdadero”. Habríamos entonces arribado a la conclusión que D es, en efecto, verdad. Pero arribando a esta conclusión hemos demostrado que Tom no puede arribar a esa conclusión. Esto significa que nosotros sabemos algo que es verdadero y Tom no puede demostrar que lo es. Esta es en esencia la prueba de Gödel: **existirán siempre ciertas afirmaciones verdaderas que no pueden ser probadas**. El viajero, por supuesto, conocía esto, y no tuvo dificultad en construir la aseveración D y reclamar el premio.

Es importante darse cuenta, no obstante, que la limitación expuesta por el teorema de Gödel concierne al método axiomático de prueba lógica en sí mismo, y no es una propiedad de las proposiciones que uno está tratando de probar (o desaprobar). Uno puede hacer verdad una proposición que no se puede probar convirtiéndola en un axioma en un sistema de axiomas extendido. Pero entonces, habrá otras proposiciones que no se puedan probar en este sistema extendido, y así siguiendo.

El teorema de Gödel fue un revés devastador para el programa formalista, pero la idea de un procedimiento puramente mecánico para investigar las proposiciones matemáticas no fue abandonada del todo. ¿Son quizás las proposiciones indecidibles raras peculiaridades que puedan ser tamizadas de la lógica y la matemática? Si se pudiera hallar una forma de separar las proposiciones entre decidibles e indecidibles, todavía sería factible determinar par las primeras si son verdaderas o falsas. Pero ¿Puede hallarse un procedimiento sistemático para reconocer infaliblemente unas de otras y descartar las indecidibles? El desafío de esta tarea fue encarado a mediados de la década de 1930 por Alonzo Church, un colaborador de von Neumann en Princeton, quien pronto demostró que aún este objetivo más modesto era inalcanzable, al menos en un número finito de pasos. Esto es decir, se pueden construir expresiones matemáticas potencialmente verdaderas o falsas, y embarcarse en un procedimiento sistemático para determinar su verdad o falsedad, pero este procedimiento podría no terminar nunca: el resultado podría nunca ser conocido.

Lo No Computable

El problema fue también encarado, bastante independientemente y con un sesgo totalmente distinto, por Alan Turing, mientras era aún un joven estudiante en Cambridge. Los matemáticos a menudo hablan de un procedimiento “a manivela” o “mecánico” para resolver problemas matemáticos. Lo que le fascinaba a Turing era si podría diseñarse una máquina real que cumpla tal función. Tal máquina entonces debería ser capaz de decidir automáticamente la verdad de proposiciones matemáticas, sin participación humana, siguiendo ciegamente una secuencia determinística de instrucciones. ¿Pero cuál debería ser la estructura de esa máquina? ¿Cómo trabajaría? Turing vislumbró algo como una máquina de escribir, capaz de imprimir símbolos en una página, pero teniendo la cualidad adicional de ser capaz de leer o explorar otros símbolos dados y borrarlos si fuera necesario. Comenzó con la idea de una cinta de longitud indefinida dividida en cuadrados, transportando en cada cuadrado sólo un símbolo. La máquina movería la cinta un cuadrado por vez, leería el símbolo, y luego se mantendría en el mismo estado, o se movería a uno nuevo, dependiendo de lo que haya leído. En cada caso su respuesta sería puramente automática, y determinada por la construcción de la máquina. La máquina dejaría el símbolo, o lo borraría, o lo reemplazaría por otro, luego movería la cinta un cuadrado y continuaría.

En esencia, la máquina de Turing es simplemente un dispositivo para transformar una secuencia de símbolos en otra de acuerdo a determinado conjunto de reglas. Esas reglas podrían, si fuera necesario, ser tabuladas, y el comportamiento de la máquina en cada paso leídas de la tabla. No hubo necesidad de construir realmente una máquina con una cinta de papel y metal o cualquier otra cosa para aclarar sus capacidades. Es fácil, por ejemplo, elaborar una tabla que corresponda a una máquina sumadora. Pero Turing estaba interesado en objetivos más ambiciosos. ¿Podría su máquina abordar el programa de Hilbert para la mecanización de la matemática?

Como ya remarcara, resolver problemas matemáticos siguiendo un procedimiento mecánico es bien inculcado en los escolares. Convertir una fracción en decimal y obtener la raíz cuadrada son los favoritos. Cualquier conjunto finito de manipulaciones conducentes a una respuesta – digamos, en la forma de un número (no necesariamente un número entero) – podría claramente ser manejado por una máquina de Turing. Pero ¿qué acerca de procedimientos infinitamente largos? La expansión decimal de π (Pi), por ejemplo, es sin fin y aparentemente aleatoria. No obstante π (Pi) puede ser computado con cualquier cantidad deseada de decimales siguiendo una regla simple y finita. Turing llamó a un número

"computable" si, usando un conjunto finito de instrucciones, el número puede ser generado de esa forma con precisión ilimitada, aún si la respuesta completa fuera infinitamente larga.

Turing imaginó una lista de todos los números computables. La lista por supuesto podría ser ella misma infinitamente larga y a primera vista parecería que todos los números concebibles deberían estar incluidos en algún lugar de la lista. No obstante no es así. Turing fue capaz de demostrar que tal lista podría ser usada para descubrir la existencia de otros números los cuales podrían no estar presentes en algún lugar de la lista. Como la lista incluye todos los números computables se deduce que esos nuevos números deben ser no computables. ¿Qué significa un número no computable? De su definición, es un número que no puede ser generado por un procedimiento mecánico definido en forma finita, aún generado en un número infinito de pasos. Turing ha mostrado que una lista de números computables podría ser usada para generar números no computables.

Aquí está lo esencial de este argumento. Imagine que en lugar de números estuviéramos tratando con nombres. Considere listar los nombres de seis letras: Sayers, Atkins, Piquet, Mather, Belamy, Panoff digamos. Ahora lleve a cabo el siguiente procedimiento simple. Tome la primera letra del primer nombre y aváncela alfabéticamente un lugar. Esto da "T." Luego haga lo mismo para la segunda letra del segundo nombre, y la tercera del tercero, y así siguiendo. El resultado es "Turing." Podemos estar absolutamente seguros que el nombre Turing no podía haber estado presente en la lista original, porque ese debe diferir de cada nombre en la lista al menos en una letra. Aún si nosotros no hubiéramos visto la lista original, hubiéramos sabido que Turing no podría estar en ella. Volviendo al caso de los números computables, Turing usó el mismo argumento de un cambio en cada número para mostrar la existencia de números no computables. Por supuesto la lista de Turing contenía un número infinito de números infinitamente largos, en vez de nombres de seis letras, pro la esencia del argumento es la misma.

La existencia de números no computables ya sugiere la existencia de proposiciones matemáticas indecidibles. Imagine la lista infinita de números computables. Cada número puede ser generado por una máquina de Turing. Se podría construir una máquina para calcular una raíz cuadrada, otra un logaritmo, y así siguiendo. Tal como dijimos, esto podría no producir todos los números jamás, aún con una infinidad de dichas máquinas, debido a la existencia de números no computables, los cuales no pueden ser generados mecánicamente. Turing observó que no era en efecto necesario tener una infinidad de máquinas de Turing para generar esa lista. Sólo una era necesaria. Él demostró que era posible construir una maquina de Turing *universal*, la cual fuera capaz de simular todas las otras máquinas de Turing. La razón por la cual una máquina universal puede existir es simple. Cualquier máquina puede ser especificada dando una descripción sistemática para su construcción: máquina de lavar, de coser, de sumar, de Turing. El hecho de que una máquina de Turing es en sí una máquina que puede llevar a cabo un procedimiento es el punto clave. Ya que una máquina universal de Turing puede ser instruida para leer primero las especificaciones de una máquina de Turing dada, luego reconstruir su lógica interna, y finalmente ejecutar su función. Claramente, entonces, existe la posibilidad de una máquina capaz de realizar todas las tareas matemáticas. Uno ya no necesita una máquina de sumar para sumar, una máquina de multiplicar para multiplicar y así siguiendo. Una sola máquina puede hacer todo eso. Esto estaba implícito en la propuesta de Charles Babbage para su Máquina Analítica, pero hizo falta casi un siglo, el genio de Alan Turing, y las demandas de la segunda guerra mundial para que el concepto de la computadora moderna madurara.

Puede parecer asombroso que una máquina que pueda simplemente leer, escribir, borrar, mover y detenerse sea capaz de explorar todos los procedimientos matemáticos concebibles, no importa cuan abstractos o complicados estos sean. No obstante, esta reivindicación, llamada la hipótesis de Church-Turing lleva implícito la importante consecuencia que realmente no importan los detalles constructivos de una computadora. En la medida que ésta tenga la misma estructura lógica de una máquina de Turing universal, el resultado será el mismo. En otras palabras, las computadoras pueden simularse unas a otras. Hoy, una computadora electrónica real es probable que tenga facilidades de editar en una pantalla, una impresora, un trazador gráfico, almacenamiento en disco, y otros dispositivos sofisticados, pero su estructura básica es aquella de la máquina universal de Turing.

Cuando Turing estaba llevando a cabo este análisis a mediados de los años treinta, todas estas importantes aplicaciones prácticas de sus ideas yacían en el futuro. Su preocupación inmediata era el programa de Hilbert para la mecanización de la matemática. El problema de los números computables y no computables lleva directamente a esto. Considere la lista (infinita) de números computables, cada uno generada por una máquina de Turing. Imagine la máquina de Turing universal con la tarea asignada de compilar esta lista mediante la simulación simultánea de todas las máquinas de Turing. El primer paso es leer los detalles constructivos de cada máquina. Aparece inmediatamente una pregunta: ¿Puede la máquina universal de Turing decir a partir de todos esos detalles, antes de ejecutar la

computación, si un número puede de hecho ser computado, o si la computación podría quedar trabada en algún punto? Quedar trabada significa quedar atrapada en algún lazo computacional, no pudiendo imprimir ningún dígito. Esto es conocido como el “problema de la detención” – si es posible decir con anticipación, mediante la inspección de los detalles de un procedimiento computacional, si un procedimiento computará cada dígito de un número y luego se detendrá, o si quedará atrapado en un lazo y nunca se detendrá.

Turing demostró que la respuesta al problema de la detención es un **no** decisivo. Lo hizo mediante un argumento inteligente. Suponga, él preguntó, que la máquina universal podría resolver el problema de la detención. ¿Qué ocurriría entonces si la máquina universal fuera a intentar simularse a si misma? Estamos nuevamente en el problema de la auto referencia. El resultado, como podría ser esperado es un colapso computacional. La máquina entra en un lazo sin fin, persiguiéndose a si misma en ningún lado. Por lo tanto Turing arribó a una contradicción estafalaria: ¡la máquina que se propone probar con anticipación si un procedimiento quedará o no atrapado en un lazo queda ella misma atrapada en un lazo! Turing había expresado una variante del teorema de Gödel sobre las proposiciones indecidibles. En este caso la indecidibilidad concierne a las mismas proposiciones indecidibles: no hay forma sistemática de decidir si dada una proposición esta es decidable o no. Aquí hay un claro contraejemplo de la conjectura de Hilbert sobre la mecanización de la matemática: un teorema que no puede ser probado o falsado por un procedimiento general sistemático. La profunda naturaleza del resultado de Turing fue graficado sumariamente por Douglas Hofstadter: “Las proposiciones indecidibles corren a través de la matemática como hebras de cartílago que entrecruzan un bife de una manera tan densa que no pueden cortadas sin que el bife entero sea destruido.”⁵⁵

¿Por qué Funciona la Aritmética?

Estos resultados de Turing, son interpretados como diciéndonos algo acerca de la matemática y de la lógica, pero también nos dicen algo acerca del mundo real. El concepto de una máquina de Turing, después de todo, está basada sobre nuestro entendimiento intuitivo de lo que es una máquina. Y las máquinas reales hacen lo que hacen sólo porque las leyes de la física se lo permiten. Recientemente el matemático físico de Oxford David Deutsch ha reivindicado que la computabilidad es realmente una propiedad *empírica*, lo cual es decir que depende más de la forma que el mundo es, que de alguna verdad lógica necesaria. “La razón por la cual encontramos posible,” escribe Deutsch, “construir, digamos, calculadoras electrónicas, y en realidad por la que podemos hacer cálculos aritméticos mentales, no puede ser encontrada en la matemática ni en la lógica. *La razón es que las leyes de la física son tales que permiten la existencia de modelos físicos para la operación de la aritmética* como la suma, la resta y la multiplicación. Si así no fuera, esas operaciones familiares serían funciones no computables.”⁵⁶

La conjectura de Deutsch es ciertamente llamativa. Las operaciones aritméticas como contar parecen tan básicas a la naturaleza de las cosas que es difícil de concebir un mundo en el cual éstas no puedan ser llevadas a cabo. ¿A qué se debe esto? Pienso que la respuesta tiene algo que ver con la historia y la naturaleza de la matemática. La aritmética comenzó con prácticas muy mundanas, como mantener la cuenta de las ovejas y contabilidades básicas. Pero las operaciones elementales de adición, substracción y multiplicación dispararon un crecimiento explosivo en las ideas matemáticas que eventualmente se volvieron tan complejas que la gente perdió de vista los humildes orígenes prácticos de la materia. En otras palabras, la matemática cobró vida y existencia por si misma. Ya en tiempos de Platón algunos filósofos aseveraban que la matemática poseía una existencia por si misma. Y nosotros estamos tan acostumbrados a hacer aritmética simple que es fácil creer que esta *debe* ser factible. Pero de hecho su factibilidad depende fundamentalmente de la naturaleza del mundo físico. Por ejemplo, ¿contar tendría sentido para nosotros si no existieran objetos discretos como las monedas y las ovejas?

El matemático R. W. Hamming se niega a tomar la factibilidad de la aritmética por sentada, hallándola extraña e inexplicable. “He tratado con poco éxito,” escribe, “hacer entender a algunos de mis amigos mi asombro de que la abstracción de los enteros para contar sea posible y útil. ¿No es notable que 6 ovejas más 7 ovejas hagan 13 ovejas; que 6 piedras más 7 piedras hagan 13 piedras? ¿No es un

⁵⁵ “Review of Alan Turing: *The Enigma*,” reprinted in *Metamagical Themes* by Douglas Hofstadter (Basic Books, New York, 1985), p. 485.

⁵⁶ “Quantum Theory, the Church–Turing Principle and the Universal Quantum Computer” by David Deutsch, *Proceeding of the Royal Society London A* 400 (1985), p. 97.

milagro que el universo esté construido de modo tal que una abstracción como un número sea posible?"⁵⁷

El hecho de que el mundo físico refleje las propiedades computacionales de la aritmética tiene una implicación profunda. Significa que, en algún sentido, el mundo físico es una computadora, como conjeturara Babbage. O, yendo más al punto, las computadoras no solo pueden simularse unas a otras, ellas también pueden simular el mundo físico. Por supuesto, nosotros estamos perfectamente familiarizados con la forma que las computadoras son usadas para modelar los sistemas físicos; en verdad son de una gran utilidad. Pero esta capacidad depende de una propiedad profunda y sutil del mundo. Hay evidentemente una *concordancia* crucial entre, por un lado, las leyes de la física, y por el otro, la computabilidad de las funciones matemáticas que describen *esas mismas leyes*. Esto no es de ninguna manera una verdad auto evidente. La naturaleza de las leyes de la física permiten ciertas operaciones matemáticas sean computables— como la adición y la multiplicación. Encontramos que entre esas operaciones computables hay algunas que describen (al menos con cierta precisión) las leyes de la física. He simbolizado este lazo de auto consistencia en al figura 10

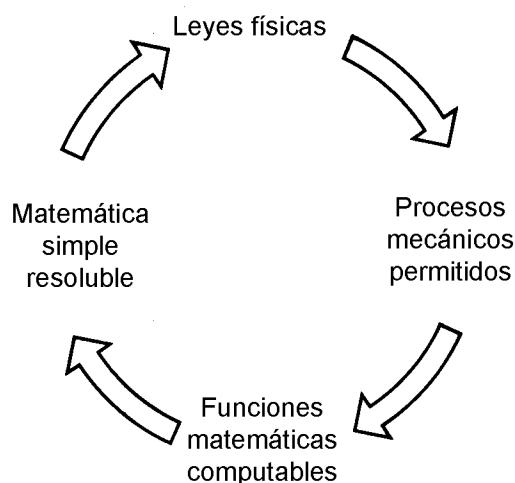


Figura 10. Las leyes de la física y la matemática computable pueden formar un único ciclo cerrado de existencia.

¿Es esta auto consistencia cerrada sólo una coincidencia, o hace al caso? ¿Apunta a alguna resonancia más profunda entre la matemática y la realidad? Imagine un mundo en el cual las leyes de la física fueran muy diferentes, posiblemente tan diferentes que los objetos discretos no existieran. Algunas de las operaciones matemáticas que son computables en nuestro mundo no lo serían en ese mundo y viceversa. El equivalente de la máquina de Turing podría existir en ese mundo, pero su estructura y operación serían tan completamente distintas que sería imposible para ella realizar, digamos, aritmética básica. Aunque podría ser capaz de realizar computaciones en ese mundo tales que las computadoras en el nuestro jamás podrían realizar (¿como probar el último teorema de Fermat?⁵⁸).

Aparecen ahora algunas preguntas adicionales interesantes: ¿Serían las leyes de la física en ese mundo alternativo expresables en términos de operaciones computables del mismo? ¿O podría ser el caso que tal auto consistencia es posible en una clase restringida de mundos? ¿Podría ser en nuestro mundo solamente? Más aún, ¿podríamos estar seguros que todos los aspectos de nuestro mundo son expresables en términos de operaciones computables? ¿Podría haber procesos físicos que no puedan ser simulados por una máquina de Turing? Estas preguntas intrigantes, las cuales prueban el link entre la matemática y la realidad física, serán examinadas en el capítulo siguiente.

⁵⁷ "The Unreasonable Effectiveness of Mathematics" by R. W. Hamming, *American Mathematics Monthly* 87 (1980), p. 81.

⁵⁸ Al momento de esta traducción el último teorema de Fermat fue probado mediante el uso de matemática muy avanzada y computadoras. N. T.

Muñecas Rusas y Vida Artificial

El hecho que las computadoras universales puedan simularse unas a otras tiene algunas implicaciones importantes. En el sentido práctico significa que adecuadamente programada y provista con suficiente espacio de memoria una modesta PC podría imitar perfectamente, digamos, una poderosa computadora Cray, en tanto a lo que salida se refiere (no velocidad). Cualquier cosa que la Cray pueda hacer la PC podrá. De hecho una computadora universal no necesita ser nada tan complicado como una PC. ¡Podría consistir de nada más que de un tablero de damas y una provisión de fichas! Tal sistema fue estudiado por primera vez por los matemáticos Stanislaw Ulam y John von Neumann en los años de la década de 1950 como un ejemplo de la “teoría de juegos.”

Ulam y von Neumann estaban trabajando en el Laboratorio Nacional Los Alamos, donde se estaba desarrollando el proyecto Manhattan de la bomba atómica. A Ulam le gustaba jugar con la computadora, lo que era todavía una novedad por aquellos tiempos. Uno de tales juegos incluía patrones que cambiaban su forma de acuerdo a ciertas reglas. Imaginen, por ejemplo, un tablero de damas con fichas dispuestas de alguna forma. Uno puede entonces considerar reglas definidas de cómo los patrones podrían ser modificados. He aquí un ejemplo: Cada cuadro en el tablero tiene ocho cuadros adyacentes (incluyendo los vecinos diagonales). El estado de un cuadrado dado permanece sin cambios (por ejemplo con o sin ficha) si precisamente dos de los cuadrados vecinos están ocupados por fichas. Si un cuadrado tiene tres vecinos ocupados, este permanece ocupado, o se ocupará si hubiera estado vacío. En todos los otros casos el cuadrado se desocupa o permanece desocupado. Se eligen algunas configuraciones iniciales y las reglas se aplican a todos los cuadrados en el tablero. Se obtiene un patrón levemente diferente del anterior. Las reglas se aplican nuevamente, y ocurren nuevos cambios. Las reglas entonces se repiten y se repiten, y se observa la evolución del patrón.

Las reglas particulares dadas más arriba fueron inventadas por John Conway en 1970 quien fue instantáneamente sorprendido por la riqueza de las estructuras que resultaron. Aparecieron y desaparecieron patrones, evolucionaron, se movieron, se fragmentaron y combinaron. Conway estaba impactado por la semejanza de estas formas con formas vivientes. Por tanto él llamó al juego “Life”.⁵⁹ Los entusiastas de las computadoras de todo el mundo pronto se volvieron adictos a él. No tenían que usar tableros reales para seguir el progreso de los patrones. Un procedimiento menos laborioso es hacer desplegar a una computadora los patrones directamente en una pantalla, con cada píxel (punto de luz) representando una ficha. Una deliciosa lectura sobre el tema está en el libro *El Universo Recursivo* de William Poundstone.⁶⁰ Un apéndice ofrece un programa para cualquiera que desee jugar Life en su computadora personal. Los propietarios de Amstrad PCW 8256, la máquina en la cual este libro está siendo escrito⁶¹ pueden estar interesados en saber que Life ya está programado en la máquina y puede ser accedido con pocos comando simples.⁶²

Uno podría considerar le espacio ocupado por el patrón de puntos como un modelo de universo, con las reglas de Conway sustituyendo las leyes de la física, y el tiempo avanzando en escalones discretos. Cada cosa que ocurre en el universo Life es estrictamente determinístico: el patrón en cada paso está determinado por el patrón en el paso precedente. El patrón inicial por lo tanto establece todo lo que vendrá, *ad infinitum*. A este respecto el universo Life recuerda al universo de relojería de Newton. Verdaderamente el carácter mecanicista de tales juegos les ha valido el nombre de “autómata celular,” siendo las células los cuadrados o píxeles.

Entre la infinita variedad de las formas de Life hay algunas que retienen su identidad en su desplazamiento. Estas incluyen los así llamados gliders⁶³ consistentes de cinco puntos varias naves espaciales más grandes. Las colisiones entre estos objetos pueden producir toda clase de estructuras y

⁵⁹ Life en el original en inglés que significa vida. Preferí mantener la nomenclatura en inglés para conservar el nivel de abstracción. N. T.

⁶⁰ *The Recursive Universe* by William Poundstone (Oxford University Press, Oxford, 1985).

⁶¹ Se refiere al original en inglés de 1992, no a esta traducción. N. T.

⁶² Los lectores interesados podrán hallar ejemplos de Life en los siguientes sitios de Internet:

<http://delta.cs.cinvestav.mx/~mcintosh/comun/working/year2001/24may2001/node6.html>
<http://www.math.com/students/wonders/life/life.html>
http://ddi.cs.uni-potsdam.de/HyFISCH/Produzieren/lis_projekt/proj_gamelife/ConwayScientificAmerican.htm
<http://hensel.lifepatterns.net/>
<http://www.bitstorm.org/gameoflife/>

⁶³ Glider en el original en inglés, que significa planeador por su propiedad de desplazarse linealmente como “volando” por el tablero del espacio del juego. Preferí mantener la nomenclatura en inglés para conservar el nivel de abstracción. N. T.

escombros, dependiendo de los detalles. Los gliders pueden ser producidos por un “glider gun”⁶⁴, el cual los emite a intervalos regulares en una corriente. Es interesante que un glider gun puede ser producido por una colisión de trece gliders, de modo tal que los gliders producen gliders. Otros objetos comunes son los “blocks,”⁶⁵ cuadrados estacionarios de cuatro puntos que tienden a destruir los objetos que colisionan con ellos. Están los más destructivos “eaters”⁶⁶, los cuales quiebran y aniquilan los objetos que pasan, y luego se reparan a sí mismos el daño ocasionado por el encuentro. Conway y sus colegas han descubierto patrones de Life de inmensa riqueza y complejidad, a veces por casualidad, otras usando una gran habilidad y perspicacia. Algunos de los comportamientos más interesantes demandan una coreografía cuidadosa de un gran número de objetos componentes, y se muestran sólo después de miles de escalones de tiempo. Para explorar el repertorio más avanzado de la actividad de Life son necesarias computadoras muy poderosas.

El universo Life es obviamente sólo una sombra pálida de la realidad, la naturaleza semejante a la vida de sus habitantes constituye meramente una caricatura de los seres vivientes reales. Aún encerrado en su estructura lógica Life tiene la capacidad de generar ilimitada complejidad, en principio tan compleja como los organismos vivientes genuinos. En verdad el interés original de von Neumann en celulares autómatas estaba estrechamente conectado con el misterio de los organismos vivos. Él estaba fascinado en conocer si en principio podría construirse una máquina que fuera capaz de reproducirse a sí misma, y si así fuera cuáles deberían ser su estructura y organización. Si tal máquina de von Neumann fuera posible, entonces deberíamos ser capaces de entender los principios que permiten a los organismos biológicos reproducirse a sí mismos.

La base del análisis de von Neumann fue la de un “constructor universal” análogo a la computadora universal. Esta debería ser una máquina que podría ser programada para producir algo, muy parecido a una máquina de Turing que pueda ser programada para ejecutar cualquier operación matemática computable. Von Neumann consideró que ocurriría si el constructor universal fuera programado para hacerse a sí mismo. Por supuesto para calificar como un auto reproductor genuino una máquina tiene que producir no sólo una copia de sí misma, sino también una copia del programa de cómo copiarse a sí misma; de otra forma su máquina hija sería “estéril.” Aquí hay claramente peligro de un retorno al infinito, pero una evasión inteligente fue propuesta por von Neumann. El constructor universal debe ser complementado con un mecanismo de control. Cuando el constructor ha producido una copia de sí mismo (más un duplicado del mecanismo de control, por supuesto), el mecanismo de control apaga el programa y lo trata exactamente como a otra pieza de “hardware.” La máquina de von Neumann a su debido tiempo hace una copia del programa, y la inserta en la nueva máquina, la cual es luego una réplica fidedigna de la madre lista para comenzar a ejecutar su propio programa de auto reproducción.

Originalmente von Neumann tenía en mente una máquina real con “tuercas y tornillos,” pero Ulam lo persuadió de investigar la posibilidad mecánica de un autómata celular y buscar la existencia de patrones auto reproductivos. La “máquina” de von Neumann bien podría ser entonces puntos de luz en un pantalla, o fichas en un tablero. No importa: es la estructura lógica y organizacional lo que es importante, no el medio real. Luego de mucho trabajo, von Neumann y sus colegas fueron capaces de mostrar que la auto reproducción es verdaderamente posible para sistemas que excedan cierto umbral de complejidad. Para hacer esto encararon la investigación de un autómata celular con reglas considerablemente más complicadas que aquellas del juego Life. En vez de permitir que cada celda tenga sólo dos estados posibles – vacía u ocupada – el autómata de von Neumann permitía no menos de veintinueve estados alternativos. Nunca hubo una esperanza de construir un patrón autómata auto reproductivo – el constructor universal, mecanismo de control y la memoria hubieran ocupado al menos doscientas mil celdas – pero el punto importante es que en principio un sistema puramente mecánico puede reproducirse a sí mismo. Poco después de que esta investigación matemática fuera completada sobrevino el florecimiento de la biología molecular con el descubrimiento de la estructura doblemente helicoidal del ADN, la elucidación del código genético y de la organización básica de la replicación molecular. Pronto de puso de manifiesto que la naturaleza emplea los mismos principios lógicos descubiertos por von Neumann. En verdad los biólogos han identificado las moléculas reales dentro de las células que corresponden a los componentes de una máquina de von Neumann.

⁶⁴ Glider gun en el original en inglés que significa cañón de planeadores por su propiedad de emitir los mismos en una corriente. Preferí mantener la nomenclatura en inglés para conservar el nivel de abstracción. N. T.

⁶⁵ Block en el original en inglés que significa bloque. Preferí mantener la nomenclatura en inglés para conservar el nivel de abstracción. N. T.

⁶⁶ Eaters en el original en inglés que significa comedores por su propiedad de destruir los otros objetos que colisionan con ellos. Preferí mantener la nomenclatura en inglés para conservar el nivel de abstracción. N. T.

Conway ha sido capaz de demostrar que su juego Life es también capaz de permitir patrones auto reproductivos. El proceso relativamente simple de los gliders haciendo gliders no califica, porque todos los programas importantes para su auto reproducción no son copiados en el proceso. Uno necesita algo mucho más complicado para ello. Al principio Conway planteó una pregunta relacionada: ¿Puede una máquina de Turing (por ejemplo una computadora universal) ser construida en el universo Life? La operación básica de cualquier computadora universal consiste en las operaciones lógicas **Y**, **O** y **NO**. En una computadora electrónica convencional éstas están implementadas por elementos simples de conmutación, o compuertas lógicas. Por ejemplo, una compuerta **Y** tiene dos cables de entrada y uno de salida. (ver figura 11). Si se recibe un pulso eléctrico en ambos cables de entrada a la vez, se envía un pulso al cable de salida. No hay salida si sólo se recibe en un cable de entrada, tampoco hay salida si no se recibe en ninguno de entrada. Una computadora consiste en una red muy extensa de tales elementos lógicos. La matemática es ejecutada representando los números en una forma binaria, como secuencias de ceros y unos. Trasladado a su forma física, un uno es codificado como un pulso eléctrico, un cero es la ausencia de tal. No obstante no hay necesidad de que esas operaciones sean realizadas por conmutación eléctrica. Cualquier dispositivo que ejecute las mismas operaciones lógicas es suficiente. Podría usar engranajes mecánicos (como en el caso de la Máquina Analítica original de Charles Babbage), haces de láser, o puntos en una pantalla de computadora.

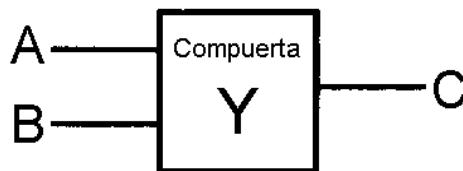


Figura 11. Representación simbólica de una compuerta **Y** usada en computadoras. Hay dos cables de entrada, A y B, y sólo uno de salida, C. Si se recibe una señal en ambos cables A y B, entonces se envía una señal de salida a C.

Tras mucha experimentación y pensamiento, Conway fue capaz de mostrar que tales circuitos lógicos podían de hecho ser construidos en el universo Life. La idea esencial es usar una procesión de gliders para codificar números binarios. Por ejemplo el número 1011010010 puede ser representado ubicando un glider en la procesión en la posición de cada 1, mientras que se dejarían espacios para los ceros. Las compuertas lógicas pueden entonces ser construidas acomodando las corrientes de gliders para que se intercepten en ángulos rectos de una forma controlada. Debido a que una compuerta **Y** emitirá un glider sólo si simultáneamente recibe gliders en ambas corrientes de entrada (de este modo codificando la operación $1 + 1 \rightarrow 1$). Para lograr esto, y construir la unidad de memoria para almacenar información, Conway necesita sólo cuatro especies de Life: gliders, glider guns, eaters, y blocks.

Se necesitan muchos trucos inteligentes para posicionar los elementos correctamente y orquestar la dinámica. No obstante, los circuitos lógicos necesarios pueden ser organizados y las formas luminosas en el universo Life pueden funcionar de una forma perfectamente apropiada, aunque un tanto lenta, como una computadora universal. Este es un resultado con implicancias fascinantes. Hay dos niveles de computación involucrados. Primero está la computadora electrónica subyacente usada para producir el juego Life en la pantalla; luego los patrones Life mismos funcionando como una computadora universal en un nivel superior. En principio esta jerarquía puede continuar indefinidamente: la computadora Life puede ser programada para crear su propio universo Life abstracto, el cual a su vez puede ser programado para producir su universo Life.... Recientemente asistí a un taller sobre el estudio de la complejidad en el cual dos científicos de la computación del MIT, Tom Toffoli y Norman Margolus, demostraron la operación de una compuerta **Y** en un monitor de computadora. También estaba presenciando la muestra Charles Bennet de IBM, un experto en los fundamentos matemáticos de la computación y complejidad. Le señalé a Bennet que lo que estábamos viendo era una computadora electrónica simulando un autómata celular simulando una computadora. Bennet respondió que esas inclusiones sucesivas de lógica computacional le recordaban las muñecas rusas.

El hecho de que Life pueda simular computadoras universales significa que todas las consecuencias del análisis de Turing pueden ser aplicadas al universo Life. Por ejemplo, la existencia de operaciones no computables se aplica a la computadora Life también. Recordemos que no hay forma sistemática de decidir con anticipación si un problema matemático dado es decidible o indecidible mediante la operación de una máquina de Turing: el destino de la máquina no puede ser conocido de antemano.

Por lo tanto, el destino de los patrones Life asociados no puede ser sistemáticamente conocido con antelación, aún siendo todos esos patrones estrictamente determinísticos. Pienso que esta es una conclusión muy profunda que tiene implicancias con alcance en el mundo real. Parece que hay una clase de aleatoriedad o incertidumbre (¿osaré llamarla "libre albedrío"?) fundada dentro del universo Life como lo hay en el universo real, debida a las propias restricciones propias de la lógica, tan pronto como el sistema se vuelve lo suficientemente complejo como para alcanzar la auto referencia.

La auto referencia y la auto reproducción están íntimamente relacionadas, y una vez que la existencia de las computadoras universales Life ha sido establecida, estuvo abierto el camino para Conway para probar la existencia de constructores universales y por lo tanto patrones Life que son genuinos auto productores. Una vez más tales patrones no han sido realmente construidos por ser ellos realmente complejos. Pero Conway razona que en un universo Life infinito aleatoriamente poblado por puntos, los patrones auto reproductivos se formarían inevitablemente en *algún lugar* sólo por azar. Aunque la rareza de la formación espontánea de tales patrones altamente orquestados y complejos sea astronómica, en un universo realmente infinito todo lo que puede pasar pasará. Uno podría aún imaginar una evolución Darwiniana conduciendo hacia la aparición de patrones auto reproductivos cada vez más complejos.

Algunos entusiastas de Life aseguran que tales patrones auto reproductivos de Life realmente estarían vivos, porque poseerían todos los atributos que definen a los organismos vivientes en nuestro universo. Si la esencia de la vida es considerada simplemente como energía organizada por arriba de cierto umbral de complejidad, entonces están lo cierto. De hecho hay una nueva rama de la ciencia llamada "vida artificial" la cual está dedicada a estudiar patrones generados por computadora auto organizativos y adaptativos. Su objetivo es captar la esencia de qué significa estar vivo apartando los detalles posiblemente irrelevantes de la materia de los organismos vivientes reales. En un taller reciente sobre vida artificial, el científico de la computación Chris Langton explicó: "Nuestra creencia es que podemos poner en las computadoras universos suficientemente complejos que puedan soportar procesos los cuales, respecto a tales universos, deban ser considerados vivos. Pero ellos no estarían hechos del mismo material.... Esto presenta la asombrosa posibilidad que fuésemos a crear las siguientes cosas vivientes en el universo."⁶⁷ Poundstone concuerda: "Si la auto reproducción no trivial es usada como el criterio de la vida, entonces los patrones auto reproductivos Life estaría vivos. Esto no quiere decir que simularían la vida como podría ser una imagen de televisión, sino que estarían literalmente vivos por virtud de codificar y manipular información acerca de su propia construcción. El más simple de los patrones auto reproductivos de Life estaría vivo en un sentido en que un virus no lo está."⁶⁸

John Conway va aún más lejos al sugerir que formas Life avanzadas podrían ser conscientes: "Es probable, dado un espacio Life suficientemente grande, inicialmente en un estado aleatorio, que después de un largo tiempo animales auto replicantes inteligentes aparezcan y pueblen algunas partes del espacio."⁶⁹

Hay no obstante una resistencia natural a tales ideas. El universo Life es después de todo sólo un universo simulado. No es real ¿No es así? Las formas que se mueven en la pantalla solo imitan formas de la vida real. Su comportamiento no es espontáneo, está programado en una computadora que juega el juego Life. Pero, responden los entusiastas de Life, el comportamiento de las estructuras físicas en nuestro universo está también "programado" por las leyes de la física y el estado inicial. La distribución aleatoria de puntos a partir de la cual los patrones auto reproductivos de Life podrían aparecer es directamente análoga a la sopa aleatoria prebiótica de la cual la primera cosa viviente se supone ha emergido en la Tierra.

Por lo tanto ¿podemos distinguir un universo real de uno simulado? Ese es el tema del siguiente capítulo.●

⁶⁷ "Artificial Life: A Conversation with Chris Langton and Doyne Farmer," *Edge* (ed. John Brockman, New York), September 1990. p. 5.

⁶⁸ *Recursive Universe* by Poundstone, p. 226

⁶⁹ Citado en *Recursive Universe* by Poundstone

Capítulo 5 - Mundos Reales y Mundos Virtuales

A TODOS NOS FASCINAN los sueños. Aquella gente que, como yo mismo, sueña muy vividamente a menudo tiene la experiencia de estar “atrapado” en un sueño que cree real. La inmensa sensación de alivio que acompaña el despertar es intensamente genuina. A pesar de todo me pregunto frecuentemente por qué, dado que al momento del sueño este es la realidad, hacemos tal fuerte distinción entre nuestras experiencias cuando estamos despiertos y cuando dormimos. ¿Podemos estar absolutamente seguros que el “mundo del sueño” es ilusorio que “el mundo de vigilia” es real? ¿Podría ser lo opuesto, o que ambos fueran reales, o ninguno? ¿Qué criterio de realidad podemos emplear para decidir sobre esto?

La respuesta usual es que los sueños son experiencias privadas, mientras que el mundo que percibimos cuando despiertos es consistente con la experiencia de otra gente. Pero esto no ayuda. Frecuentemente encuentro personajes en los sueños que me aseguran que son reales y que están compartiendo mis propias experiencias oníricas. Durante la vigilia tengo que creer en la palabra de la gente que dice percibir un mundo similar al mío, ya que no puedo realmente compartir sus experiencias. ¿Cómo puedo ser capaz de distinguir una aseveración genuina de aquella hecha por un personaje ilusorio, o por un autómata suficientemente complejo aunque inconsciente? No aporta nada señalar que los sueños son a menudo incoherentes, fragmentarios y absurdos. El mundo así llamado real puede usualmente parecer así después de algunos vasos de vino, o volviendo en sí después de una anestesia.

Realidad Simulada

Los comentarios anteriores sobre los sueños intentan preparar al lector para una discusión sobre la simulación computarizada de la realidad. En los capítulos previos argumenté que una computadora puede simular procesos físicos del mundo real, en principio aún aquellos tan complejos como los que ocurren en biología. Por otro lado vimos que una computadora es en esencia simplemente un procedimiento para convertir un conjunto de símbolos en otro, acorde a alguna regla. Usualmente pensamos los símbolos como números; más específicamente como secuencias de unos y ceros, que son los más apropiados para usar con las máquinas. Cada uno o cero representa un bit de información, por lo tanto una computadora es un dispositivo que toma una secuencia de unos y ceros de entrada y la convierte en otra de salida. ¿Cómo este conjunto aparentemente trivial de operaciones abstractas puede capturar la esencia de la realidad *física*?

Comparemos la actividad de la computadora con un sistema físico natural – por ejemplo, un planeta orbitando el Sol. El estado del sistema a cada instante puede ser especificado dando la posición y la velocidad del planeta. Estos son los datos de entrada. Los números relevantes pueden ser dados en aritmética binaria, como una secuencia de ceros y unos. En un momento posterior el planeta tendría una nueva posición y velocidad, la cuales pueden ser descriptas por otra secuencia de bits: estos son los datos de salida. El planeta ha tenido éxito en convertir una secuencia de bits en otra, y es por lo tanto en un sentido una computadora. El “programa” que ha usado para su conversión es un conjunto de leyes físicas (las leyes de Newton del movimiento y la gravitación).

Los científicos están tomando cada vez más conciencia de la unión entre los procesos físicos y la computación, y están encontrando conveniente pensar al mundo en términos computacionales. “Las leyes científicas están ahora siendo vistas como algoritmos,” de acuerdo con Stephen Wolfram del Instituto de Estudios Avanzados de Princeton⁷⁰. “Los sistemas físicos son vistos como sistemas computacionales, procesando información de la misma manera que las computadoras lo hacen.”⁷¹ Consideremos un gas por ejemplo. El estado del gas está especificado al dar las posiciones y velocidades de todas las moléculas en un instante (con alguna precisión). Esto sería una secuencia de bits enormemente larga. En un instante posterior el estado se definiría con otra secuencia de bits enormemente larga. El efecto del la evolución dinámica del gas ha sido por lo tanto convertir un dato de entrada en un dato de salida.

⁷⁰ Institute for Advanced Studio in Princeton en el original NT

⁷¹ “Computer Software in Science and Mathematics” by Stephen Wolfram, *Scientific American* 251 (September 1984), p. 151.

La conexión entre el proceso natural y las operaciones computacionales es aún reforzada por la teoría cuántica, la cual revela que muchas cantidades físicas normalmente consideradas como continuas son de hecho discretas. Ya que los átomos poseen distintos niveles de energía, cuando un átomo cambia su energía, éste da un salto entre niveles. Si cada nivel es asignado a un número, entonces dicho salto puede ser considerado una transición entre un número y otro.

Aquí hemos arribado a la esencia de la eficiencia de la computadora en la ciencia moderna. A causa de la habilidad de las computadoras para simular otra, una computadora electrónica es capaz de simular cualquier sistema que actúe como una computadora. Esta es la base para la modelación por computadora del mundo real: los planetas y las cajas con gas y mucho más actúan como computadoras y por lo tanto pueden ser modelados. ¿Pero puede cada sistema físico ser simulado de esta manera? Wolfram así lo piensa: "Uno espera el hecho que las computadoras sean tan poderosas en sus capacidades computacionales como cualquier sistema físico realizable pueda ser, por lo tanto ellas pueden simular cualquier sistema físico."⁷² Si es verdad esto implica que cualquier sistema suficientemente complejo para computar puede en principio simular el *universo físico entero*.

En el capítulo anterior expliqué como un autómata celular como "[Life](#)" puede generar universos de juguete en los cuales la computación es posible. "Autómatas celulares que sean capaces de computación universal pueden imitar el comportamiento de cualquier computador posible," explica Wolfram. Por lo tanto, "ya que cualquier proceso físico puede ser representado como un proceso computacional, ellos pueden imitar la acción de cualquier sistema físico posible también."⁷³ ¿Entones, podría un universo celular autómata de juguete, como el universo "Life", en principio ser construido tan parecido a la vida que pudiera servir como una réplica perfecta del universo real? Aparentemente podría. Pero esto plantea otra pregunta más inquietante aún. Si todos los sistemas físicos son computadoras, y si las computadoras pueden imitar perfectamente todos los sistemas físicos, entonces ¿qué distingue el mundo real de una simulación?

Uno está tentado a responder que las simulaciones son sólo aproximaciones imperfectas a la realidad. Cuando el movimiento de un planeta es calculado, por ejemplo, la precisión de los datos de entrada está limitada por la observación. Más aún, los programas de computación reales sobre simplifican la simulación física ignorando los disturbios efectuados por cuerpos menores etc. pero uno puede ciertamente *imaginar* programas cada vez más refinados, y también una recolección de datos cada vez más elaborada, hasta que la simulación sea para todos los fines prácticos, indistinguible de la realidad.

¿Pero no tendría la simulación necesariamente que fallar a algún nivel de detalle? Por un largo tiempo se creyó que la respuesta debía ser si, teniendo en cuenta que se asumió que habría una diferencia fundamental entre la física real y cualquier simulación digital. Esta diferencia tiene que ver con la cuestión de la reversibilidad del tiempo. Como expliqué en el capítulo 1, las leyes de la física son reversibles en el sentido que permaneces sin cambio si el pasado y el futuro se intercambian – por ejemplo, no tienen imbuida ninguna preferencia en la dirección del tiempo. Ahora, toda computadora digital gasta energía para operar. Esta energía desperdiciada aparece como calor dentro de la máquina, calor del cual hay que deshacerse. La acumulación de calor impone limitaciones muy prácticas en el desempeño de las computadoras, y se emplea mucha investigación en tratar de disminuirla. La dificultad puede ser trazada hasta los elementos lógicos esenciales en la computadora. Cada vez que se produce un cambio de estado se produce calor. Esto es familiar en la vida diaria. El chasquido que se oye al accionar una llave de luz es parte de la energía que Ud. usa para accionar la llave disipada como sonido; el resto aparece como calor dentro de la llave. Este costo energético está deliberadamente incorporado en el diseño de la llave para asegurar que se mantenga en uno u otro de sus dos estados posibles – encendido o apagado. Si no hubiera costo energético involucrado en el cambio de estado, habría riesgo de que la llave se revirtiera espontáneamente.

La energía disipada en el cambio es irreversible. El calor fluye hacia el medio ambiente y se pierde. No se puede recoger el calor perdido y canalizarlo hacia algo útil sin incurrir en otro gasto de energía al menos tan grande como el recuperado en el proceso. Este es un ejemplo de la segunda ley de la termodinámica, la cual prohíbe cualquier reciclado gratis de energía para un trabajo útil. No obstante algunos científicos de la computación se han percatado que la segunda ley de la termodinámica es una ley estadística que se aplica a sistemas con muchos grados de libertad. En verdad la misma noción de calor y entropía involucran la agitación caótica de las moléculas y son significativas para grandes conjuntos de ellas solamente. Si las computadoras pudieran ser miniaturizadas al punto que las

⁷² "Undecidability and Intractability in Theoretical Physics" by Stephen Wolfram, *Physical Review Letters* 54 (1985), p. 151

⁷³ "Computer Software" by Wolfram, p. 140.

conexiones básicas pudieran ser hechas a nivel molecular, ¿podría la generación de calor ser evitada completamente?

No obstante, parecería haber un principio básico que contradice la existencia de esta idealización. Considere una compuerta "Y" (AND)⁷⁴, por ejemplo, descripta en el capítulo previo. La entrada tiene dos canales (cables), la salida sólo uno. Todo el propósito de una operación "Y" es mezclar en dos señales entrantes en una sola saliente. Obviamente esto no es reversible. Ud. no puede decir si la ausencia de un pulso en la salida se debe a la ausencia de una u otra entrada o de ambas. Esta limitación elemental refleja el hecho obvio que en aritmética ordinaria se pueden deducir respuestas a preguntas, pero no a la inversa: generalmente no se puede deducir la pregunta a partir de la respuesta. Si se le dice que la respuesta a una suma es 4, ésta pudo haber sido $2 + 2$ o $3 + 1$ o $4 + 0$. Parecería a partir de esto que ninguna computadora podría funcionar hacia atrás por razones de lógica básica.

De hecho este argumento tiene una falla que fue recientemente descubierta por Rolf Landauer y Charles Bennett de IBM. Ellos hallaron que la irreversibilidad que es aparentemente inherente a la computación es consecuencia de descartar información. De modo que realizando la suma $1 + 2 + 2$, uno podría primero sumar 2 y 2 para obtener 4 , y luego sumar 4 a 1 para obtener la respuesta 5 . En esta secuencia de operaciones hay un paso intermedio en el cual sólo el número 4 es retenido: el $2 + 2$ original es descartado como no relevante para la parte remanente del cálculo. Pero no tenemos necesariamente que descartar la información. Podríamos elegir mantener toda ella. Por supuesto esto significaría agrandar la memoria para acomodar la información extra, pero esto nos permitiría "deshacer" cualquier cálculo en cualquier etapa yendo hacia atrás desde la respuesta hacia la pregunta.

¿Pero, se pueden diseñar compuertas aptas para implementar lógicas reversibles? Verdaderamente sí se puede como ha descubierto Ed Fredkin del MIT. La compuerta Fredkin tiene dos canales de entrada y dos canales de salida, más un tercer "canal de control." La conmutación se obtiene como es usual, pero de modo tal que retiene la información de entrada en los canales de salida. Una computación reversible puede ser obtenida aún en una máquina disipativa – por ejemplo, en una que disipa energía irreversiblemente. (Cualquier computación reversible practicable no puede evitar la disipación irreversible de calor.) Pero a nivel teórico uno puede imaginar un sistema idealizado en el cual ambas, la computación y la física sean reversibles. Fredkin ha imaginado una disposición de bolas rígidas rebotando de una forma cuidadosamente supervisada en superficies inamovibles. Este dispositivo puede en realidad implementar operaciones lógicas reversibles. Otras computadoras reversibles imaginarias han sido confeccionadas.

Una cuestión interesante concerniente al estatus de autómatas celulares como las computadoras es que los juegos computarizados de la vida no son reversibles (la secuencia de patrones no pueden ser trazadas en forma inversa.) No obstante un tipo diferente de autómata celular el cual puede modelar el sistema de bolas y superficies de Fredkin ha sido construido por Norman Margolus. Visto a nivel del universo del autómata, este es una computadora genuinamente reversible, computacional y "físicamente" (aunque aún hay disipación irreversible a nivel de la computadora electrónica que implementa el autómata celular).

El hecho que la computación pueda ser llevada a cabo reversiblemente, remueve una distinción crucial entre una simulación, y el mundo físico real que ésta simula. En realidad uno puede invertir el razonamiento y preguntarse hasta qué grado los procesos físicos del mundo real *son* procesos computacionales. Si las conmutaciones irreversibles son innecesarias, ¿puede el movimiento de cuerpos ordinarios ser considerado como parte de una computación digital? Algunos años atrás se probó que ciertos sistemas irreversibles, como las máquinas de Turing y autómatas celulares con reglas irreversibles como "Life", pueden ser programados para realizar cualquier computación digital mediante la selección adecuada de sus condiciones iniciales. Esa propiedad es llamada "universalidad computacional." En el caso de Life esto implica que se puede elegir un patrón inicial el cual colocará un punto en un lugar si, digamos, cierto número es primo. Otro patrón lo hará si cierta ecuación tiene solución y así siguiendo. De esta manera el juego Life puede ser usado para investigar problemas matemáticos no resueltos como el último teorema de Fermat.⁷⁵

Más recientemente se ha demostrado que ciertos sistemas determinísticos reversibles como la computadora de bolas y superficies de Fredkin son también computacionalmente universales, y que aún

⁷⁴ Una compuerta Y (AND en Inglés) es un operador lógico tal que tiene dos entradas y una salida. El valor de la salida es verdadero sólo si los valores de las dos entradas son simultáneamente verdaderos, caso contrario será falso. N. T.

⁷⁵ El cual al momento de esta traducción ya ha sido resuelto. N. T.

algunos sistemas no determinísticos comparten esta propiedad. Parece entonces que la universalidad computacional es una propiedad bastante común entre los sistemas físicos. Si un sistema tiene esta propiedad, es por definición capaz de comportamientos tan complejos como cualquiera de los que pueden ser digitalmente simulados. Hay evidencia que aún un sistema como tres cuerpos moviéndose bajo atracción mutua, (por ejemplo dos planetas orbitando una estrella) poseen la propiedad de universalidad computacional. Si así es, entonces eligiendo apropiadamente las posiciones y velocidades de los planetas en un instante, podría hacerse computar al sistema, digamos los dígitos de π (Pi) o el trillónésimo primo, o el producto de la colisión de un billón de "gliders" en el universo "Life". Verdaderamente, esta trinidad aparentemente trivial podría aún ser usada para simular el universo entero si, como algunos entusiastas afirman, el universo es digitalmente simulable.

Estamos acostumbrados a pensar en computadoras como sistema muy especiales que requieren un diseño muy ingenioso. Ciertamente las computadoras electrónicas son complicadas, pero esto es porque son muy versátiles. Gran parte del trabajo de programación ya está tenido en cuenta en el diseño de la máquina: no tenemos que rehacerlo cada vez a partir de las condiciones iniciales. Pero la habilidad de computar es algo que muchos sistemas físicos, incluso algunos muy simples, parecen poseer. Esto plantea la pregunta de si las actividades de los átomos o aún de las partículas subatómicas pueden computar. Un estudio de este punto fue hecho por el físico Richard Feynman, quien mostró que una computadora reversible operando a nivel subatómico en concordancia con las leyes la mecánica cuántica es una posibilidad real. ¿Podemos entonces considerar los innumerables procesos atómicos ocurriendo naturalmente todo el tiempo – procesos dentro suyo y mío, dentro de las estrellas, del gas interestelar, galaxias distantes – como parte de una computación cósmica gigante? Si es así, entonces la física y la computación se vuelven idénticas y podríamos arribar a una asombrosa conclusión: el universo sería su propia simulación.

¿Es el Universo una Computadora?

Una persona que responde enfáticamente si a esta pregunta es Ed Fredkin. Él cree que el mundo físico es un autómata celular gigante, y reivindica que el estudio de los autómatas celulares está revelando que el comportamiento físico real, incluyendo refinamientos tales como la relatividad, pueden ser simulados. El colega de Fredkin, Tom Toffoli comparte esta creencia. Una vez satirizó diciendo que por supuesto el universo es una computadora, el único problema es que otro la está usando. ¡Y nosotros, bueno, nosotros somos sólo "bugs"⁷⁶ en la gran máquina cósmica! "Todo lo que tenemos que hacer," asevera, "es hacer dedo en esta inmensa computación continua, y tratar de descubrir que parte de ella va cerca de donde deseamos ir."⁷⁷

Fredkin y Toffoli no están solos en este sorprendente - uno podría aún decir bizarro - punto de vista. El físico Frank Tipler ha también argumentado fuertemente la idea de equiparar al universo con su propia simulación. Más aún, la simulación no necesita ser corrida en una computadora real, sostiene Tipler. Un programa de computadora es después de todo sólo una conversión (o mapeo) de un conjunto de símbolos abstractos en otro de acuerdo a alguna regla: entrada → salida. Una computadora provee una representación concreta de dicho mapeo, tal como el número Romano III es una representación abstracta del número tres. La mera existencia de dicho mapeo – aún abstractamente, en el reino de las matemáticas – es suficiente para Tipler.

Es necesario señalar que nuestras teorías físicas actuales no están generalmente formuladas de la misma forma que los algoritmos de computadora, porque ellas hacen uso de cantidades que varían en forma continua. En particular el espacio y el tiempo son considerados continuos. "La posibilidad que haya una simulación exacta, que la computadora haga exactamente lo mismo que la naturaleza," explica Richard Feynmann, demanda "que todo lo que ocurra en un volumen finito de espacio y tiempo pueda ser exactamente analizable con una cantidad finita de operaciones lógicas. La presente teoría de la física no es aparentemente de esa manera. Permite al espacio reducirse a distancias infinitesimales."⁷⁸ Por otro lado, la continuidad del espacio y del tiempo son sólo suposiciones sobre el mundo. No pueden ser probadas, porque nunca podremos estar seguros que a una escala pequeña de tamaño, bien por debajo de lo que puede ser observado, el espacio y el tiempo no podrían ser discretos. ¿Qué significa esto? Una consecuencia es que el tiempo podría avanzar de a pequeños saltos, como

⁷⁶ "bugs" en el original inglés. Puede ser interpretado como errores en el programa o bien como pequeños bichos o microbios N.T.

⁷⁷ "Physics and Computation" by Tommaso Toffoli, *International Journal of Theoretical Physics* 21 (1982), p.165

⁷⁸ "Simulating Physics with Computers" by Richard Feynman, *International Journal of Theoretical Physics* 21 (1982), p.469

en un autómata celular, en vez de hacerlo suavemente. La situación podría parecerse a la de una película la cual avanza de un cuadro a la vez. La misma nos parecería continua, porque no podemos resolver los cortos intervalos de tiempo entre los cuadros. Similamente, en la física, nuestros experimentos actuales pueden medir intervalos de tiempo tan cortos como 10^{-26} segundos; no hay ningún signo de saltos a ese nivel. Pero quizás al volverse más fina nuestra resolución, exista aún la posibilidad que los saltos sean evidentes. Comentarios similares son aplicables a la asumida continuidad del espacio. Por lo tanto esta objeción a una simulación exacta de la realidad no es fatal.

No obstante uno está todavía tentado a objetar que el mapa es distinto al territorio. ¿Aún si pudiera existir una computadora cósmica tan impensablemente poderosa que fuera capaz de simular exactamente la actividad de cada átomo en el universo, seguramente la computadora no tendría un planeta Tierra moviéndose en el espacio, tanto como la Biblia contiene a Adán y Eva? Una simulación de computadora es usualmente referida como sólo una representación, o una imagen, de la realidad. ¿Cómo podría alguien reivindicar que la actividad que ocurre dentro de una computadora electrónica pueda alguna vez crear un mundo real?

Tipler responde que esta objeción es válida sólo desde una perspectiva externa a la computadora. Si la computadora fuera suficientemente poderosa como para simular la conciencia – y por extensión una comunidad completa de seres conscientes – desde un punto de vista de los seres *dentro* de la computadora el mundo simulado sería *real*:

La cuestión clave es esta: ¿Existe la gente simulada? En tanto a lo que la gente simulada pueda decir, existen. Por suposición, cualquier acción que la gente real pueda hacer y lleve a cabo para determinar si existe – reflexionando sobre el hecho que ellos piensan, interaccionan con el ambiente – la gente simulada también lo puede hacer y de hecho lo hace. Simplemente no hay forma para la gente simulada de darse cuenta que están “realmente” dentro de la computadora, que son meramente simulados y no reales. Ellos no pueden acceder a la substancia real, a la computadora física, desde donde ellos están, dentro del programa. ... No hay forma para la gente dentro de este universo simulado que ellos están meramente simulados, que son sólo una secuencia de números arrojados al aire dentro de una computadora, y que de hecho no son reales.⁷⁹

Por supuesto, toda la discusión de Tipler depende de la posibilidad que una computadora pueda simular conciencia. ¿Es esto razonable? Imaginen una computadora simulando un ser humano. Si la simulación fuera realmente precisa, un observador humano externo que no conozca las circunstancias sería incapaz de decir mediante la conversación con la simulación si está ubicado en la computadora o es un ser humano en nuestro mundo. El observador podría interrogar a la simulación y obtener respuestas perfectamente sensibles del tipo humano. Como resultado el observador podría estar tentado de concluir que la simulación es genuinamente consciente. De hecho el mismo Alan Turing trató este tema en un famoso artículo titulado “Pueden las Máquinas Pensar” en el cual él propone esa prueba de interrogación. Aunque la mayoría de la gente toma la idea de las máquinas procesando conciencia como estrastralaria, o aún absurda, muchos científicos y filósofos distinguidos de la así llamada escuela IA⁸⁰ fuerte han argumentado que sobre esta base una mente simulada sería consciente.

Para aquellos preparados para continuar adelante con la idea que una computadora suficientemente poderosa podría ser consciente, es un pequeño paso aceptar que una computadora podría, en principio, generar una sociedad entera de seres conscientes. ¡Estos individuos podrían presumiblemente pensar, sentir, vivir, y morir en sus mundos simulados completamente inconscientes del hecho de que existen por cortesía de algún operador de computadora que pudiera presumiblemente desenchufarla en cualquier momento! Esta sería la posición de los animales inteligentes de Conway en el universo Life.

Pero sobre toda esta discusión gravita la pregunta obvia: ¿Cómo sabemos que nosotros mismos somos “reales,” y no meramente una simulación dentro de una computadora gigantesca? “Obviamente, no lo podemos saber,” dice Tipler. Pero ¿tiene importancia? Tipler argumenta que la existencia real de la computadora, siendo inverificable para los seres conscientes dentro de ella, es irrelevante. Todo lo que importa es la existencia de un programa abstracto (aún una tabla de búsqueda abstracta bastaría) capaz de simular el universo. Por la misma razón, la existencia real del universo físico es irrelevante: “Tal universo físico real sería equivalente a algo Kantiano en sí mismo. Como empíricos, estamos

⁷⁹ “The Omega Point as *Eschaton*: Answers to Pannenberg’s Questions for Scientists” by Frank Tipler, *Zygon* 24 (1989), pp 241-42

⁸⁰ IA Inteligencia Artificial “strong AI school” en el original inglés. N.T.

forzados a prescindir de un objeto inherentemente incognoscible: el universo debe ser un programa abstracto.⁸¹

El inconveniente con esta posición (bastante alejada de su aire de *reductio ad absurdum*) es que el número de programas abstractos posibles es infinito. ¿Por qué experimentamos este universo particular? Tipler cree que todos los universos posibles que pueden sustentar conciencia son realmente experimentados. El nuestro no es el único. Obviamente nosotros vemos éste, por definición. Pero existen otros universos, muchos de ellos similares al nuestro, con sus propios habitantes, para los cuales su universo es tan real como para nosotros el nuestro. (Esta es una variante de la interpretación de múltiples universos de la mecánica cuántica, popular entre muchos físicos distinguidos, descripta en detalle en mi libro *Other Worlds*⁸². Volveré sobre esto en el capítulo 8.) Aquellos programas que codifican universos incapaces de sustentar seres conscientes pasan inobservados, y quizás puedan por lo tanto ser considerados como menos que reales. El conjunto de programas capaces de generar universos cognoscibles sería un pequeño subconjunto del conjunto de todos los programas posibles. El nuestro podrías ser considerado como típico.

Lo inalcanzable

Si el universo es la “salida” de algún proceso computacional, entonces éste debe ser, por definición, computable. Más precisamente, debe existir un programa o un algoritmo del cual pueda obtenerse una descripción correcta del mundo en un número finito de pasos. Si conociéramos ese algoritmo, tendríamos una teoría completa del universo, incluyendo los valores numéricos de todas las cantidades físicas mensurables. ¿Qué podría uno decir sobre todos esos números? Si fueran aemerger de una computación tendrían que ser números *computables*. Se ha asumido generalmente que los valores de todas las cantidades físicas predichas por la teoría física serían números computables. Pero recientemente esta suposición ha sido desafiada por los físicos Robert Geroch y James Hartle. Ellos señalan que las teorías existentes de la física podrían producir predicciones de cantidades mensurables que sean números no computables. Si bien esas teorías tienen que ver más bien con materias técnicas de propiedades cuánticas del espacio tiempo, ellas plantean un importante punto en principio.

Supongamos que una teoría dada prediga un número no computable x para alguna cantidad - por ejemplo, el ratio entre las masas de dos partículas subatómicas. ¿Podría la teoría ser comprobada? Comprobar una predicción implica comparar el valor teórico con el experimental. Obviamente esto puede ser hecho dentro sólo dentro de algún nivel de precisión. Supongamos que el valor experimental es determinado dentro de un error esperado del 10 por ciento. Luego sería necesario conocer x dentro del 10 por ciento. Ahora, aunque x pudiera existir, ningún algoritmo finito, ningún procedimiento sistemático podría hallarlo, esto es lo que significa ser no computable. Por otro lado necesitamos conocer x sólo dentro del 10 por ciento. Es ciertamente posible encontrar un algoritmo que produzca una secuencia sucesiva de mejores aproximaciones a x , eventualmente dentro del 10 por ciento. El problema es que como no conocemos x no podemos saber cuando hemos alcanzado el nivel del 10 por ciento.

A pesar de esas dificultades, sería posible encontrar una aproximación dentro del 10 por ciento por medio no algorítmicos. El punto de una construcción algorítmica es que uno puede dejar asentado un conjunto de instrucciones estándar al principio, entonces es una cuestión puramente mecánica trabajar a través de esas instrucciones para obtener el resultado deseado. En el caso de un número computable como π , uno puede imaginar una computadora trabajando sola generando una secuencia de números aproximándose cada vez más, e incluyendo en cada paso precisamente cuán buena esa aproximación en particular es. Pero como hemos visto, esta estrategia no trabaja para números no computables. En cambio lo teóricos tienen que aproximarse a cada nivel de precisión como un nuevo problema a ser enfrentado de una forma diferente. Mediante algún truco inteligente podría ser posible alcanzar una aproximación de x del 10 por ciento. Pero el mismo truco no necesariamente trabajaría para alcanzar el nivel del 1 por ciento. Los teóricos serían obligados a tratar otra estrategia totalmente diferente. Con cada mejora en la precisión experimental los pobres teóricos tendrían que trabajar más y más duro para encontrar una aproximación que se aparee con el valor predicho.

Tal como Geroch y Hartle señalan, encontrar una teoría es normalmente la parte difícil, implementarla es usualmente un procedimiento puramente mecánico. Fue necesario el genio de Newton para hallar

⁸¹ *The Anthropic Cosmological Principle* by John D. Barrow and Frank J. Tipler (Oxford University Press, Oxford, 1986), p. 155.

⁸² *Other Worlds: Space, Superspace, and the Quantum Universe* by P. C. W. Davies (Penguin Books ISBN: 0-14-013877-3)

las leyes del movimiento y de la gravedad, pero una computadora puede ser programada para implementar la teoría “ciegamente” y predecir la fecha del próximo eclipse solar. En el caso de una teoría que prediga números no computables, implementar la teoría sería tan difícil como hallarla en primer lugar. Verdaderamente no puede trazarse una distinción clara entre esas dos actividades.

Sería obviamente mejor para los teóricos si nuestras teorías físicas nunca fueran así. No obstante, no podemos asegurar que serán siempre de otra manera. Habría fuertes razones, de acuerdo a Geroch y Hartle, para pensar que la teoría cuántica que describe el espacio tiempo podría arrojar predicciones no computables. ¿Debería la teoría ser desechada por ello? ¿Tiene que haber alguna razón para que el universo tenga que ser “algorítmicamente implementable”? No lo sabemos, pero una cosa es segura, si no lo es, la analogía entre la naturaleza y la computadora se quiebra.

Siguiendo el dicho de Einstein que Dios es sutil pero no malicioso, asumamos que verdaderamente vivimos en un universo “computable”. ¿Qué podemos entonces aprender sobre la naturaleza del programa que Fredkin y Tipler creerían es la fuente de nuestra realidad?

Lo incognoscible

Considere por un momento el caso de un programa usado en una computadora electrónica – por ejemplo, para multiplicar una secuencia de números. La esencia de este concepto es que el programa debería ser en algún sentido más fácil de construir que la operación para la cual está destinada. Si no fuera así, uno no se molestaría con la computadora, sino que podría simplemente llevar a cabo la operación aritmética directamente. Una forma de decir esto es que un programa útil de computadora puede generar más información (en el ejemplo el resultado de muchas multiplicaciones) que la que contiene. Esto no es más que una forma imaginativa de decir que en matemática se buscan reglas simples que puedan ser usadas una y otra vez, aún en cálculos muy complicados. No obstante no todas las operaciones matemáticas pueden ser llevadas a cabo por un programa significativamente menos complicado que la operación en sí misma. En verdad la existencia de número no computables implica que para algunas operaciones no existe programa. Por lo tanto algunos procesos matemáticos son intrínsecamente tan complicados que no pueden ser encapsulados en un programa compacto en absoluto.

En el mundo natural también enfrentamos una enorme complejidad, y la pregunta que emerge es si al descripción de esa complejidad puede ser capturada en una descripción compacta. Puesto de otro modo, ¿es el “programa para el universo” es significativamente más simple que el universo mismo? Esta es una pregunta muy profunda sobre la naturaleza del mundo físico. Si un programa de computadora o un algoritmo es más simple que el sistema que describe, se dice que el sistema es “algorítmicamente compresible.” Entonces se nos plantea la pregunta si el universo es o no algorítmicamente compresible.

Antes de volver a esta cuestión, sería útil considerar la idea la compresión algorítmica en mayor detalle. El tema de la teoría de la información algorítmica fue creado en los años 60 en la Unión Soviética por Andrei Kolmogorov y en los Estados Unidos por Gregory Chaitin⁸³ de IBM. La esencia de la idea se basa en una cuestión muy simple: ¿cuál es el mensaje más corto que puede describir un sistema a un cierto nivel de detalle? Obviamente un sistema simple puede ser descrito fácilmente, pero un sistema complejo no. (Trate de describir la estructura de un arrecife de coral con la misma cantidad de palabras necesarias para describir un cubo de hielo.) Chaitin y Kolmogorov sugirieron que la complejidad de algo queda definida por la longitud de la descripción más corta posible de esa cosa.

⁸³ <http://www.dc.uba.ar/people/materias/azar/>
<http://www.cs.umaine.edu/~chaitin/gmartin.html>
<http://ftp.fi.muni.cz/pub/muni.cz/EMIS/journals/BAMV/conten/vol9/chaitin.pdf>
<http://www.cs.auckland.ac.nz/CDMTCS/chaitin/uba.html>
<http://guillermomartinez.8m.net/ArticulosyEnsayos/chaitinoriginal.htm>
<http://guillermomartinez.8m.net/ArticulosyEnsayos/chaitin.htm>
<http://www.umcs.maine.edu/~chaitin/lacion.pdf>
<http://www.cs.auckland.ac.nz/CDMTCS/chaitin/unknowable/>
<http://www.umcs.maine.edu/~chaitin/unknowable/>
<http://serbal.pntic.mec.es/%7Ecmunoz11/logica.html#anueve>
<http://www.cs.umaine.edu/~chaitin/cmu.html>
<http://www.umcs.maine.edu/~chaitin/>
<http://www.cs.auckland.ac.nz/CDMTCS/chaitin/unm2.html>
<http://www.cs.auckland.ac.nz/CDMTCS/chaitin/georgia.html>

Veamos como trabaja para los números. Hay números simples como 2 o π (pi), y complicados como la secuencias de unos y ceros generados arrojando una moneda al aire (cara = 0, ceca = 1). ¿Que clase de descripción podemos dar que defina tales números únicamente? Una estrategia es simplemente escribirlos en formato binario o decimal (π [pi] puede ser dado sólo a una precisión dada porque tiene infinitos decimales). Pero esta no es obviamente la descripción más económica. El número π (pi), por ejemplo, sería mejor descrito por una fórmula que pudiera ser utilizada para calcular π (pi) con el grado de aproximación que se deseé. Si los números en cuestión son considerados como la salida de una computadora, entonces la descripción más corta de un número será el programa más corto que permita a la computadora producir ese número. Los números simples serán generados por programas simples, los números complicados por programas más largos.

El siguiente paso será comparar la longitud del número con la longitud del programa que lo genera. ¿Es menor? ¿Se ha logrado la compresión? Para hacer esto más preciso, supongamos que la salida de la computadora es expresada como una secuencia de unos y ceros tales como:

101101011100010100110101001...

(donde “...” denota “y así siguiendo, quizás para siempre”). Esta secuencia tendrá un cierto contenido de información, el cual se miden en “bits.” Queremos comparar la cantidad de información contenida en la salida de información con el programa mismo. Para tomar un ejemplo simple supongamos que la salida sea:

1010101010101010101010101010

Esto podría haber sido generado por el simple algoritmo “Imprima 10 quince veces.” Una secuencia de salida mucho más larga podría ser generada por el programa “Imprima 10 un millón de veces.” El segundo programa es apenas más complicado que el primero, sin embargo una información mucho más vasta. La lección es que, si la salida contiene algún patrón, entonces ésta puede ser codificada en forma compacta en un algoritmo simple que puede ser mucho más corto (en términos de bits de información) que la salida misma. En este caso se dice que la secuencia es algorítmicamente comprimible⁸⁴. Si por el contrario, la secuencia no puede ser generada por un algoritmo significativamente más corto que ella, es algorítmicamente incompresible. En este caso la secuencia no poseerá regularidades ni patrones de formación. Será sólo una colección fortuita de unos y ceros. De esta forma la cantidad de compresión algorítmica obtenible puede ser vista como una medida útil de la simplicidad de la estructura presente en la salida, siendo la baja compresibilidad una medida de la complejidad. Las estructuras simples y regulares son altamente comprimibles, mientras que las complejas, carente de patrones lo son menos.

La compresión algorítmica provee una definición rigurosa de aleatoriedad: una secuencia aleatoria es una que no puede ser algorítmicamente comprimida. Puede no ser fácil decir meramente por observación si una secuencia dada es comprimible. Podría tener patrones de gran sutileza construidos de una forma criptográfica. Cada descifrador de códigos sabe que parece en una primera mirada un revoltijo aleatorio de letras puede de hecho ser un mensaje estructurado; para decirlo lo único que hace falta es el código. La expansión decimal infinita (y su contrapartida binaria) del número π (pi) no muestra un patrón obvio en absoluto en miles de dígitos. La distribución de dígitos supera las todas las pruebas estadísticas estándar de aleatoriedad. Del conocimiento del primer millar de dígitos no hay forma de predecir cual será el siguiente. No obstante a pesar de ello π (pi) no es algorítmicamente aleatorio, porque un algoritmo muy compacto puede ser escrito para generar su expansión.

Chaitin señala que esas ideas de complejidad matemática pueden ser extendidas convincentemente a los sistemas físicos: la complejidad de un sistema físico es la longitud del mínimo algoritmo que puede simularlo o describirlo. A primera vista esta aproximación parece ser bastante arbitraria, porque no hemos especificado que marca de computadora será usada. Sigue, no obstante, que en realidad no importa porque todas las computadoras universales puedes simularse unas a otras. Similarmetne, el lenguaje que elijamos para trabajar – LISP, BASIC, FORTRAN – es irrelevante. Es una cuestión sencilla escribir instrucciones para traducir un lenguaje de programación en otro. Resulta ser que la longitud extra del programa necesaria para convertir el lenguaje y correr el programa en otra máquina es típicamente una corrección muy pequeña comparada con la longitud total del programa. Por lo tanto no debe preocuparse de cómo la computadora que usa está realmente construida. Este es un punto importante.

⁸⁴ Este es el principio básico de funcionamiento de los programas comprresores como el Winzip N.T

El hecho de que la definición de complejidad sea independiente de la máquina sugiere que ésta captura una cualidad realmente existente del sistema, y no es una mera función de la forma en que elegimos describirlo.

Una preocupación más legítima es como podemos saber cuando un algoritmo particular es el más corto posible. Si uno más corto es hallado, entonces la respuesta es claramente no. Pero resulta ser imposible en general estar seguro que la respuesta es si. La razón puede ser rastreada hasta el teorema de indecidibilidad de Gödel. Recordemos que este teorema estaba basado en la versión matemática de la paradoja de la auto referencia “mentirosa” (“Esta proposición es falsa”). Chaitin adaptó la idea a sentencias sobre programas de computación. Considere el caso que a una computadora se le dé el siguiente comando: “Busque una secuencia de dígitos que pueda ser generado por un programa más largo que este.” Si la búsqueda tiene éxito el programa de búsqueda mismo habrá generado la secuencia de dígitos. Pero entonces la secuencia de dígitos no puede ser “una que pueda ser sólo generada por un programa más largo que ese.” La conclusión debe ser que la búsqueda debe fallar, aún si continúa por siempre. ¿Entonces que nos dice esto? La búsqueda estaba destinada a encontrar una secuencia de dígitos que necesita un programa de generación al menos tan grande como el de búsqueda, lo que excluye un programa más corto. Simplemente no sabemos en general si una secuencia de dígitos dada puede ser codificada en un programa más corto que aquel que hemos descubierto.

El teorema de Chaitin tiene implicancias interesantes para números aleatorios – por ejemplo, secuencia de dígitos aleatorios. Como se explicó una secuencia aleatoria es aquella que no puede ser algorítmicamente comprimida. Pero como hemos visto recién, no podemos saber si existe o no un programa más corto para generar tal secuencia. Nunca podrá decir que ha descubierto todos los trucos para acortar la descripción. Entonces no podrá en general probar que una secuencia es aleatoria, pero podría probar lo contrario encontrando una compresión. Este resultado es de lo más curioso ya que puede probarse que casi todas las secuencias de dígitos son aleatorias. ¡Es que solo no se puede saber precisamente cual!

Es fascinante especular que aparentemente los eventos aleatorios en la naturaleza podrían no ser aleatorios en absoluto de acuerdo a esta definición. No podemos estar seguros, por ejemplo, que el indeterminismo de la mecánica cuántica pudiera no ser así. Después de todo el teorema de Chaitin asegura que nunca podremos probar que el resultado de una secuencia de mediciones de mecánica cuántica es realmente aleatorio. Ciertamente parece aleatorio, pero también lo parecen los dígitos de π (pi). Al menos que tenga el “código” o algoritmo que revele el orden subyacente, podría estar tratando con algo que es realmente aleatorio. ¿Podría existir una clase más elaborada de “código cósmico,” un algoritmo que pudiera generar el resultado de eventos cuánticos en el mundo físico y por lo tanto exponer el indeterminismo cuántico como una ilusión? ¿Podría haber un “mensaje” en ese código que contenga algún secreto profundo de universo? Esta idea ha sido adoptada por algunos teólogos, que han notado que el indeterminismo cuántico ofrece una ventana a Dios para actuar en el universo, para manipular a nivel atómico “cargando el dado cuántico,” sin violar las leyes de la física clásica (no cuántica). De esta forma los propósitos de Dios podrían ser impresos en un cosmos maleable sin enojar a los físicos demasiado. En el Capítulo 9 describiré una propuesta específica de esta clase.

Armado con su definición algorítmica, Chaitin ha sido capaz de demostrar que la aleatoriedad impregna toda la matemática, incluyendo la aritmética. Para hacer esto ha descubierto una ecuación monstruosa conteniendo diecisiete mil variables (técnicamente conocida como la ecuación Diofántica⁸⁵). La ecuación contiene un parámetro K que puede adoptar valores enteros 1, 2, 3 y así siguiendo. Chaitin ahora pregunta si para un valor dado de K esta monstruosa ecuación tiene un número finito o infinito de soluciones. Uno puede imaginarse trabajando laboriosamente cada valor de K registrando las respuestas: “finito,” “infinito,” “finito,” “finito,” “infinito,” “infinito.” ... ¿Habrá algún patrón en esta secuencia de respuestas? Chaitin ha probado que no lo hay. Si representamos a “finito” por 0 e “infinito” por 1, entonces la secuencia de dígitos 001011... no puede ser algorítmicamente comprimida. Será aleatoria.

Las implicancias de este resultado son alarmantes. Significa que, en general, si uno toma un valor de K, no hay forma de conocer sin explícitamente probar si esa ecuación Diofántica en particular tiene un número finito o infinito de soluciones. En otras palabras, no hay procedimiento sistemático para decidir anticipadamente la respuesta a una pregunta matemática perfectamente definida: la respuesta es aleatoria. No puede encontrarse consuelo en el hecho que una ecuación Diofántica de diecisiete mil variables es una más bien una rareza matemática. Una vez que la aleatoriedad ha entrado en la

⁸⁵ Pr Diofante, matemático griego (siglo III dC.). el padre del álgebra N.T

matemática la infesta de principio a fin. Las imágenes populares de la matemática como un conjunto de hechos precisos, unidos entre sí por caminos lógicos bien definidos se revelan falsas. Hay aleatoriedad y por lo tanto incertidumbre en la matemática como lo hay en la física. De acuerdo a Chaitin Dios no sólo juega a los dados en la mecánica cuántica, sino también con todos los números. Chaitin cree que la matemática debe ser más como las ciencias naturales, en la cual los resultados dependen de una mezcla de lógica y descubrimiento empírico. Uno podría aún prever universidades con departamentos de matemática experimental.

Una aplicación interesante de la teoría de la información algorítmica concierne a un número no computable conocido como Omega, el cual Chaitin define como la probabilidad que un programa de computadora se detenga si su entrada consiste meramente de una secuencia aleatoria de números binarios. La probabilidad de algo es un número entre 0 y 1: el valor 0 corresponde a algo que es imposible, y el valor 1 a lo que es inevitable. Obviamente Omega será próximo a 1, porque la mayoría de las entradas aleatorias aparecerán como basura para la computadora, la cual se detendrá rápidamente mostrando un mensaje de error. No obstante, se puede mostrar que Omega es algorítmicamente incompresible, y su expansión binaria o decimal es completamente aleatoria luego de unos pocos dígitos. A causa que Omega es definido en referencia al problema de la detención, codifica una solución a ese problema en la secuencia de sus dígitos. Entonces, los primeros n dígitos en la expansión binaria de Omega contendrán la respuesta al problema de cuál programa de n dígitos se detendría y cuál correrá para siempre.

Charles Bennett ha señalado que los muchos de los problemas sobresalientes no resueltos de la matemática como el último teorema de Fermat⁸⁶ podrían ser formulados como un problema de detención, porque consisten en conjeturas de que algo no existe (en este caso un conjunto de números que satisfacen el teorema de Fermat). La computadora meramente necesita buscar un contraejemplo. Si encuentra uno se detendrá; si no, se quedará resoplando para siempre. Más aún, la mayoría de los problemas interesantes podrían ser codificados en programas de sólo unos pocos miles de dígitos de longitud. ¡Por lo tanto meramente conociendo los primeros miles de dígitos de Omega nos daría acceso a la solución de todos los problemas matemáticos significativos de ese tipo, como así también a todo otro problema similar en complejidad que pudiera ser formulado en un futuro! "Omega incorpora una gran cantidad de sabiduría en un muy pequeño espacio," escribe Bennett, "ya que sus primeros miles de dígitos, que podrían ser escritos en un papel pequeño, contienen la solución a más cuestiones matemáticas de las que podrían ser escritas en el universo entero."⁸⁷

Desafortunadamente, siendo un número no computable, Omega nunca podrá ser revelado por medios constructivos, no importa cuánto trabajemos en él. Por lo tanto si no es por una revelación mística Omega nunca lo conoceremos. Y aún nos fuera dado por transmisión divina no lo reconoceríamos por lo que es, porque siendo un número aleatorio no nos parecería especial en ningún aspecto. Sería sólo un revoltijo de dígitos sin patrón alguno. Por lo que sabemos, una fracción significante de Omega podría estar escrita en algún libro de texto en algún lugar.

Esta sabiduría contenida en Omega es real, pero oculta para siempre por la estructura de la lógica y las paradojas de la auto-referencia. Omega el incognoscible es quizás la contraparte de estos días de los "números mágicos" de los antiguos griegos. Bennett es positivamente poético sobre su significado místico:

A través de la historia los filósofos y místicos han buscado una llave compacta para la sabiduría universal, una fórmula finita o texto el cual, cuando conocido y entendido, proveería la respuesta a todas las preguntas. La Biblia el Corán, los libros de los secretos místicos de Hermes Trimegisto, y la Cábala Judía medieval han sido así considerados. Las fuentes de sabiduría universal han sido tradicionalmente protegidas del uso casual siendo difíciles de encontrar y de entender cuando son encontradas, y peligrosas de usar, tendientes a responder más y más profundas preguntas que las que el usuario desea preguntar. Como Dios el libro esotérico es simple pero indescriptible, omnisciente, y transforma a todo quien lo conoce... Omega es en muchos sentidos un número cabalístico. Puede ser conocido, pero no a través del razonamiento humano. Para conocerlo en detalle,

⁸⁶ Resuelto al momento de esta traducción N.T.

⁸⁷ "On Random and Hard-to-Describe Numbers" by Charles Bennett, IBM report 32272, reprinted in "Mathematical Games" by Martin Gardner, *Scientific American* 241 (November 1979), p 31.

uno tendría que aceptar su secuencia no computable de dígitos en la fe, como palabras de un texto sagrado.⁸⁸

El Programa Cósmico

La teoría de la información algorítmica provee una definición rigurosa de la complejidad basada en las ideas de la computación. Siguiendo con nuestro tema del universo como una computadora – o más precisamente como una computación – la cuestión que surge es si la inmensa complejidad del universo es algorítmicamente compresible. ¿Hay un programa que pueda “generar” el universo en todo su intrincado detalle?

Aunque el universo es complejo, es claramente no aleatorio. Observamos regularidades. El sol se eleva cada día a tiempo, la luz siempre viaja a la misma velocidad, un conjunto de muones siempre decae con una vida media de dos millonésimos de segundo, y así siguiendo. Estas regularidades están sistematizadas en lo que llamamos leyes. Como ya he remarcado, las leyes de la física son análogas a un programa de computadora. Dado el estado inicial de un sistema (entrada), podemos usar las leyes para computar un estado posterior (salida).

La información contenida en las leyes, más las condiciones iniciales es generalmente mucho menor que la salida potencial. Por supuesto, una ley física puede parecer simple cuando está escrita en un papel, pero está usualmente formulada en términos de matemática abstracta, la cual en sí misma requiere de un poco de decodificación. Aún la información requerida para entender los símbolos matemáticos está limitada a unos pocos libros de textos, mientras que el número de hechos descriptos por esas teorías es ilimitado. Un ejemplo clásico es provisto por la predicción de eclipses. Conociendo la posición y movimiento de la Tierra, Sol y Luna en un momento dado nos permite predecir las fechas de futuros (y pasados) eclipses. Por lo tanto un conjunto de datos de entrada produce muchos conjuntos de salida. En la jerga de computación, podríamos decir que el conjunto de los datos de los eclipses ha sido algorítmicamente comprimido en las leyes más las condiciones iniciales. De este modo las regularidades del universo observadas son un ejemplo de compresibilidad algorítmica. Subyaciendo la complejidad de la naturaleza está la simplicidad de la física.

Interesantemente, uno de los fundadores de la teoría de la información algorítmica, Ray Solomonoff, se preocupó con esta clase de preguntas. Solomonoff quería encontrar una manera de medir la verosimilitud relativa de hipótesis científicas en competencia. Si un conjunto dado de hechos sobre el mundo pueden ser explicados por más de una teoría, ¿cómo podemos elegir entre ellas? ¿Podemos asignar alguna clase de “valores” cuantitativos a los contendientes? La respuesta más corta es usar la navaja de Occam⁸⁹: tomar la teoría con el menor número de supuestos independientes. Ahora, si uno piensa en la teoría como un programa de computadora, y en los hechos de la naturaleza como la salida de tal programa, entonces, la navaja de Occam nos obliga a tomar el programa más corto que pueda generar tal salida. Esto es decir, debemos preferir la teoría, o programa, que ofrezca la mayor compresión algorítmica de los hechos.

Visto de esta forma, **la empresa científica entera puede ser vista como la búsqueda de compresiones algorítmicas de datos observables. El objetivo de la ciencia es, después de**

⁸⁸ Ibid., pp. 30-1.

⁸⁹ Las descripciones deben mantenerse lo más simples posibles hasta el momento en que se demuestre que resultan inadecuadas"

Newman, J. R.
The world of mathematics
Simon & Shuster, N. Y., 1956

Si se puede explicar "sustancialmente" el comportamiento de un fenómeno con pocas variables explicativas y si la teoría que las relaciona no es lo suficientemente fuerte para sugerir otras variables que pudieran ser incluidas, ¿porqué introducir más variables? Por supuesto, no se deben excluir variables relevantes e importantes sólo para mantener simple la forma del modelo matemático que representa el evento de interés.

Guillermo de Occam (El Doctor Invencible)
Occam, Surrey c. 1285 - Munich c. 1349
Monje franciscano inglés, defensor del nominalismo y precursor del empirismo.
Autor de Tractatus logicae y de Los Diálogos

Ver también: <http://usuarios.lycos.es/Chultun/occam.html>

todo, la producción de una descripción abreviada del mundo basada en ciertos principios que podemos llamar leyes. “Sin el desarrollo de la compresión algorítmica de los datos,” escribe Barrow, “toda la ciencia podría ser reemplazada por una filatelia sin sentido - la acumulación indiscriminada de cada hecho disponible.”⁹⁰ La ciencia es predicada sobre la creencia que el Universo es algorítmicamente compresible y la búsqueda moderna de una Teoría de Todo es la última expresión de tal creencia, la creencia que hay una representación abreviada de la lógica que está detrás de las propiedades del Universo y que puede ser escrita en forma finita por los seres humanos.”⁹¹

Por lo tanto ¿podemos concluir que toda la complejidad cósmica puede ser comprimida en un “programa cósmico” muy corto, tal como en el universo Life la complejidad se reduce a un simple conjunto de reglas aplicadas repetidamente? Aunque hay muchos ejemplos notables de compresión algorítmica en la naturaleza, no todo sistema puede ser comprimido de este modo. Hay una clase de procesos, la importancia de los cuales ha sido reconocida sólo recientemente, conocidos como “caóticos.” Estos son procesos que no exhiben regularidad alguna. Su comportamiento aparenta ser enteramente caótico. Consecuentemente no son algorítmicamente compresibles. Se acostumbra a pensar que el caos es más bien excepcional, pero los científicos están empezando a aceptar que muchísimos sistemas naturales son caóticos, o pueden tornarse tales bajo ciertas circunstancias. Algunos ejemplos familiares incluyen fluidos turbulentos, canillas que gotean, fibrilación de corazones y péndulos impulsados.

Aunque el caos sea bastante común, es claro que el universo como un todo está lejos de ser aleatorio. Reconocemos patrones por todos lados del universo y los codificamos en leyes que tienen un poder predictivo real. Pero el universo está también lejos de ser simple. Posee una clase sutil de complejidad que lo ubica en algún lugar entre la simplicidad por un lado y la aleatoriedad por otro. Una forma de expresar esta cualidad es decir que el universo tiene “complejidad organizada,” un tópico que he discutido extensamente en mi libro *The Cosmic Blueprint*. Ha habido muchos intentos de capturar matemáticamente este elemento elusivo llamado organización. Uno es debido a Charles Bennett, e involucra algo que él llama “profundidad lógica.” Este se enfoca no tanto en la cantidad de información y su complejidad necesarias para especificar un sistema, sino más en su “valor.” Bennett explica:

El resultado típico de arrojar una moneda una cantidad de veces tienen una gran cantidad de información, pero muy poco valor de mensaje; una efemérides, dando la posición de la luna y de los planetas cada día por cien años, no tiene más información que las ecuaciones del movimiento y las condiciones iniciales a partir de las cuales fue calculado, pero le ahorra a su propietario el esfuerzo de recalcular esas posiciones. El valor del mensaje entonces parece residir...en lo que podría ser llamado su redundancia enterrada – partes predecibles sólo con dificultad, cosas que el receptor podría en principio haber comprendido sin que se le digan, pero sólo con un considerable costo en tiempo, dinero y computación. En otras palabras, el valor del mensaje es la cantidad de trabajo matemático, o de otra índole, convincentemente llevado a cabo por el remitente, del cual su receptor es salvado de tener que repetir.⁹²

Bennett nos invita a pensar sobre el estado del mundo como teniendo información codificada archivada en él, información acerca de la forma en que el estado fue alcanzado en primer lugar. La cuestión es entonces cuánto “trabajo” tiene que hacer el sistema – por ejemplo cuánto procesamiento de la información fue hecho – para alcanzar el estado. Esto es a lo que él se refiere como profundidad lógica. La cantidad de trabajo se establece definiéndolo en términos del tiempo tomado para procesar el mensaje por el programa más corto que lo pueda generar. Mientras que la complejidad algorítmica se enfoca en la longitud del programa mínimo para producir una salida dada, la profundidad lógica concierne al tiempo de procesamiento necesario para que el programa mínimo produzca esa salida.

⁹⁰ Esto me recuerda a ‘Funes, el Memorioso’ de J. L. Borges. En ‘Funes, el Memorioso’ Borges articula una pesadilla: el de un hombre de una memoria prodigiosa que lo recuerda todo.

- <<Nosotros, de un vistazo, percibimos tres copas en una mesa. Funes, todos los vástagos y racimos y frutos que comprende una parra. Sabía las formas de las nubes australes del amanecer del treinta de abril de mil ochocientos ochenta y dos’. Para reconstruir los recuerdos de un día entero necesitaba de un día entero. Aprendió sin esfuerzo el inglés, el francés, el portugués, el latín. Discernía los tranquilos avances de la caries, de la humedad, de la fatiga. Decía ‘Mi memoria, señor, es como vaciadero de basuras’>> http://www.inicia.es/de/diego_reina/filosofia/logica/funes.htm N. T.

⁹¹ *Theories of Everything: The Quest for Ultimate Explanations* by John Barrow (Oxford University Press, Oxford, 1991), p. 11.

⁹² “Dissipation, Information, Computational Complexity and the Definition of Organization” by Charles Bennett, in *Emerging Syntheses in Science* (ed. D. Pines, Addison-Wesley, Boston, 1987), p. 279

Por supuesto, Ud. no puede decir sólo por mirar alguna salida de computadora como fue producida. Aún un mensaje muy detallado y significativo podría haber sido producido por un proceso aleatorio. De allí provienen el remanido ejemplo de que dándole suficiente tiempo a un mono con una máquina de escribir, terminará escribiendo los trabajos de Shakespeare. Pero de acuerdo a la teoría de la información algorítmica (y a la navaja de Occam), la explicación más verosímil para la salida es identificar su causa con el mínimo programa, porque incluye el menor número de suposiciones *ad hoc*.

Póngase en la posición de un radioastrónomo que capta una señal misteriosa. Los pulsos, cuando son dispuestos en una secuencia, son el primer millón de dígitos de π (pi). ¿Qué va a concluir? Creer que la señal es aleatoria implica un millón de bits de suposiciones *ad hoc*, mientras que la explicación alternativa – que el mensaje está originado con un mecanismo programado para computar π (pi) – sería mucho más verosímil. De hecho, un episodio real de esta clase ocurrió en los años sesenta, cuando un Jocelyn Bell, un estudiante de Ph.D. en Cambridge trabajando con Anthony Hewish en radio astronomía, captó pulsos regulares de origen desconocido. No obstante Bell y Hewish pronto descartaron la hipótesis que los pulsos fueran artificiales. Distinto que los dígitos de π (pi), una serie de pulsos separados con precisión tiene poca profundidad lógica – es lógicamente llano. Hay muchas explicaciones verosímiles con pocas suposiciones *ad hoc* para ese patrón regular, porque muchos fenómenos naturales son periódicos. En este caso la fuente fue pronto identificada como una estrella de neutrones rotante, o pulsar.

Los patrones simples son lógicamente llanos, porque pueden ser generados rápidamente por programas cortos y simples. Los patrones aleatorios son también llanos porque su programa mínimo es, por definición, no mucho más corto que el patrón mismo, nuevamente el programa es muy corto y simple: digamos que necesita solo algo como “Imprimir patrones.” Pero patrones altamente organizados son lógicamente profundos, porque requieren que muchos pasos complicados sean ejecutados para generarlo.

Una aplicación obvia de la profundidad lógica es para los sistemas biológicos, los cuales proveen los ejemplos más notables de complejidad organizada. Un organismo vivo tiene una gran profundidad lógica, porque no es verosímil que haya sido originado si no es a través de una cadena muy larga y complicada de procesos evolutivos. Otro ejemplo de sistema profundo puede ser encontrado en los patrones generados por un autómata celular como Life. En todos los casos la regla usada es muy simple, por lo tanto desde el punto de vista algorítmico esos patrones no tienen complejidad. La esencia de la complejidad de Life radica no en las reglas sino en su uso repetitivo. La computadora tiene que trabajar muy duro aplicando la regla una y otra vez antes que pueda generar patrones profundamente complejos a partir de estados iniciales simples.

El mundo abunda en sistemas profundos, los cuales muestran evidencia de un enorme “trabajo” para formarlos. Murria Gell-Mann una vez señaló que los sistemas profundos pueden ser reconocidos porque son aquellos que queremos preservar. Las cosas llanas pueden ser reconstruidas fácilmente. Valoramos las pinturas, teorías científicas, obras de música y literatura, aves raras, y los diamantes porque son difíciles de manufacturar. Los automóviles, cristales de sal y envases de lata son menos valorados porque son relativamente llanos.

¿Por lo tanto que podemos concluir sobre el programa cósmico? Por centurias los científicos han hablado libremente acerca de que el universo está “ordenado,” sin tener una clara distinción entre los varios tipos de orden: simple y complejo. El estudio de la computación nos ha permitido reconocer que el mundo está ordenado en ambos sentidos, de ser algorítmicamente compresible y en el sentido de tener profundidad. El orden del cosmos es más que mera regularidad regimentada, es también complejidad organizada y es de esta última que el universo deriva su apertura y permite la existencia de los seres humanos con libre albedrío. Por trescientos años la ciencia ha sido dominada por lo primero: la búsqueda de patrones simples en la naturaleza. En los años recientes, con el advenimiento de las rápidas computadoras electrónicas, la verdadera naturaleza fundamental de la complejidad ha sido apreciada. Por tanto vemos que las leyes de la física tienen una función doble. Deben proveer los patrones simples que subyacen en todos los fenómenos físicos, y deben también ser de forma que permitan a la profundidad – complejidad organizada – emerger. Que las leyes de nuestro universo posean esta crucial propiedad dual es un hecho de literal significado cósmico.●

Capítulo 6 - El Secreto Matemático

EL ASTRÓNOMO JAMES JEANS proclamó una vez que Dios es un matemático. Esta jugosa frase expresa en términos metafóricos un artículo de fe adoptado hoy por casi todos los científicos. La creencia que el orden subyacente del mundo puede ser expresado de forma matemática yace en mismo corazón de la ciencia, y es raramente cuestionado. Tan profundamente se ha aceptado esta creencia que cualquier rema de la ciencia no se considera adecuadamente entendida hasta que pueda ser expresada en el lenguaje impersonal de la matemática.

Como he dicho, la idea de que el mundo físico es la manifestación del orden matemático y la armonía puede ser rastreado hacia el pasado hasta la antigua Grecia. Se transformó en una era durante el Renacimiento Europeo con los trabajos de Galileo, Newton, Descartes, y sus contemporáneos. "El libro de la naturaleza", opinaba Galileo, "está escrito en lenguaje matemático." El físico Eugene Wigner ha escrito sobre "la irrazonable efectividad de la matemática en las ciencias naturales", citando a C. S. Pierce "es probable que haya algún secreto acá que permanezca sin ser descubierto"⁹³ Un libro⁹⁴ recientemente publicado dedicado a este tópico contenido ensayos de diecinueve científicos (este autor incluido) falló en descubrir el secreto, o aún en arribar a algún consenso. Las opiniones variaron desde aquellos que mantenían que los seres humanos simplemente habían inventado la matemática para acomodar los hechos de la experiencia, a aquellos que están convencidos que hay un significado profundo y revelador detrás de la cara matemática de la naturaleza.

¿Está la Matemática Ya "Ahí Afuera"?

Antes de tomar el tema de su "irrazonable efectividad", es importante tener algún entendimiento de lo que la matemática es. Hay dos escuelas de pensamiento diametralmente opuestas concernientes a este tema. El primero de ellos sostiene que la matemática es puramente una invención humana, el segundo que tienen una existencia independiente. Ya hemos encontrado una versión de la interpretación como "invención" o formalista en el capítulo 4, en la discusión del programa de Hilbert para la mecanización de la demostración de teoremas. Antes del trabajo de Göedel era posible creer que la matemática era un ejercicio enteramente formal, consistiendo nada más que de una vasta colección de reglas lógicas que unen un conjunto de símbolos a otro. Este edificio fue referido como una estructura completamente auto contenida. Cualquier conexión con el mundo natural era considerada coincidental y sin relevancia en absoluto para la empresa matemática en sí, estando esta preocupada sólo con la elaboración y exploración de las consecuencias de las reglas formales. Como explicara en capítulos previos, el teorema de incompletitud de Gödel puso fin a esta posición estrictamente formalista. No obstante muchos matemáticos retienen la creencia que la matemática es sólo una invención de la mente humana, no teniendo más significado que el atribuido por los matemáticos

La escuela opuesta es conocida como el Platonismo. Platón, recordaremos, tenía una visión dualística de la realidad. Por un lado estaba el mundo físico, creado por el Demiurgo, fluctuante y transitorio. Por otro estaba el reino de las Ideas, eterno y permanente, actuando como un modelo abstracto para el mundo físico. Él consideraba que los objetos matemáticos pertenecían a ese reino Ideal. De acuerdo con los Platonistas, nosotros no inventamos la matemática, nosotros la *descubrimos*. Los objetos matemáticos y las reglas tienen una existencia independiente: trascienden la realidad física que confronta nuestros sentidos.

Para afinar el foco en esta dicotomía, veamos un ejemplo específico. Consideremos la siguiente declaración "Veintitrés es el menor número primo mayor que veinte." La sentencia o es verdadera o es falsa. De hecho es verdadera. La cuestión que nos ocupa es si la sentencia es verdadera en un sentido absoluto y atemporal. ¿Era la sentencia verdadera antes de la invención / descubrimiento de los números primos? Los Platonistas responderían si, porque los números primos existen, abstractamente,

⁹³ "The Unreasonable Effectiveness of Mathematics in the Natural Sciences" by Eugene Wigner, *Communications in Pure and Applied Mathematics* 31 (1960), p. 1

⁹⁴ *Mathematics and Science* (ed. Ronald E. Mickens, World Scientific Press, Singapore, 1990).

conózcanlos los seres humanos o no. Los formalistas desestimarían la pregunta por considerarla sin sentido.

¿Qué piensan los matemáticos profesionales al respecto? Se dice a menudo que los matemáticos son formalistas los fines de semana y Platonistas el resto de los días. Mientras se está trabajando realmente con matemática, es difícil resistir la impresión que uno está comprometido en un proceso de descubrimiento, tal como en las ciencias experimentales. Los objetos matemáticos toman vida propia, y a veces muestran propiedades totalmente inesperadas. Por otro lado, la idea de un reino trascendente de Ideas matemáticas parece demasiado místico para muchos matemáticos como para poder admitirlo, y si se los desafía usualmente dirán que cuando están involucrados en investigación matemática están solamente especulando con símbolos y reglas.

No obstante algunos matemáticos distinguidos se han confesado Platonistas. Uno de ellos fue Kurt Gödel. Como era de esperarse Gödel basó su filosofía de la matemática en su trabajo sobre la indecidibilidad. Él razonaba que habrá siempre afirmaciones matemáticas que son verdades pro que nunca podrán ser probadas a partir de los axiomas existentes. Él vislumbró esas declaraciones por lo tanto como ya existentes "allá afuera" en un dominio Platónico, más allá de nuestra percepción. Otro Platonista es el matemático de Oxford Roger Penrose. "La verdad matemática es aquella que a veces va más allá del mero formalismo" escribió.⁹⁵ "A menudo parece haber alguna realidad profunda acerca de esos conceptos matemáticos, yendo bastante más allá de las deliberaciones de cualquier matemático en particular. Es sin embargo como si el pensamiento humano fuera guiado, en cambio, hacia alguna verdad eterna – una verdad la cual tiene una realidad por si misma, y que es revelada sólo parcialmente a alguno de nosotros." Tomando como ejemplo el sistema de los números complejos, Penrose siente que éste tiene "una profunda realidad atemporal."⁹⁶

Otro ejemplo que inspiró a Penrose a doptar el Platonismo es algo llamado "el conjunto de Mandelbrot"⁹⁷ descubierto por el científico de IBM Benoit Mandelbrot. El conjunto es una forma geométrica conocida como "fractal", la cual está muy relacionada con la teoría del caos, y provee otro ejemplo magníficente de cómo una operación simple y recursiva puede producir un objeto de riqueza, diversidad y complejidad fabulosas. El conjunto es generado por la aplicación sucesiva de la regla (o mapeo) $z \rightarrow z^2 + c$, donde z es un número complejo y c es cierto número complejo fijo. La regla simplemente indica: tome un número complejo z y reemplácelo por $z^2 + c$, luego llame a ese número z y reemplácelo nuevamente, y así siguiendo un ay otra vez. Los números complejos obtenidos pueden ser dibujados en una hoja de papel (o en la pantalla de una computadora) en la medida que la regla se aplica, cada número representado por un punto. Lo que se encuentra es que para algunas elecciones de c el punto pronto deja la pantalla. Para otras elecciones no obstante, el punto vaga para siempre en una zona acotada. Ahora cada elección de c corresponde a un punto en la pantalla. El conjunto de todos esos puntos c forman el conjunto de Mandelbrot. Este conjunto tiene una estructura tan extraordinariamente complicada que es imposible describirlo con palabras, es asombrosamente hermoso. Muchas ejemplos de porciones del conjunto han sido usadas con propósitos artísticos. Una característica distintiva del conjunto de Mandelbrot es que cualquier porción de él puede ser amplificada una y otra vez sin límite, y cada nueva capa de resolución brinda nuevas riquezas y delicias.⁹⁸

⁹⁵ *The Emperor's New Mind: Concerning Computers, Minds and the Laws of Physics* by Roger Penrose (Oxford University Press, Oxford, 1989), p. 111

⁹⁶ Ibid. P. 95.

97 A aquellos que no lo conozcan los invito a abrir las páginas, verán un diseño sorprendente, tienen una estructura complicada cuya belleza es imposible expresar con palabras. Partes del mismo se han utilizado con fines artísticos. Como todo fractal el conjunto puede ser ampliado sin límites brindando cada vez más detalles de exquisitos diseños.

<http://www.quantap.net.py/zfractal/mandel.htm>
<http://www.dma.fi.upm.es/docencia/segundociclo/geomfrac/fractalesclasicos/mandelbrot.html>

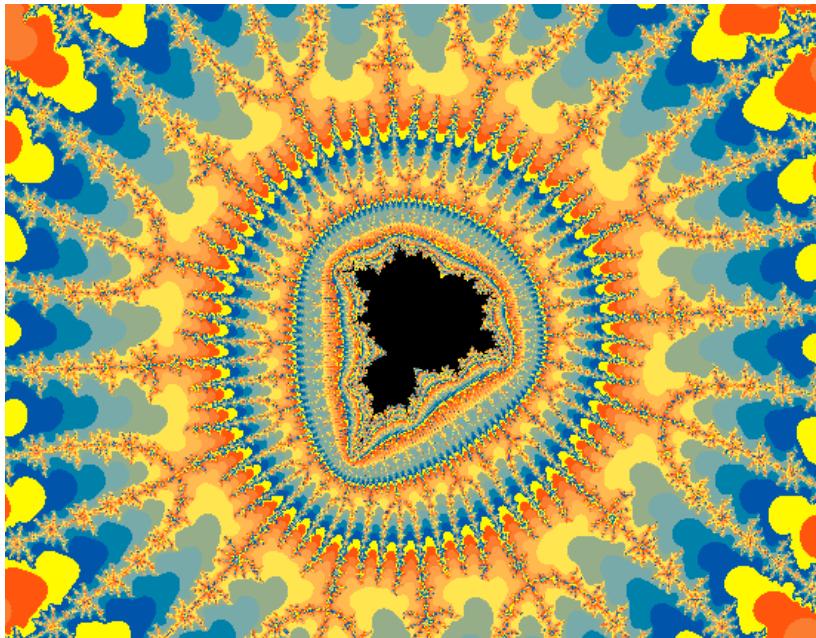
⁹⁸ Conjunto de Mandelbrot

Penrose remarca que cuando Mandelbrot se embarcó en el estudio del conjunto que hoy lleva su nombre, no tenía una concepción a priori del de la fantástica elaboración inherente a él.

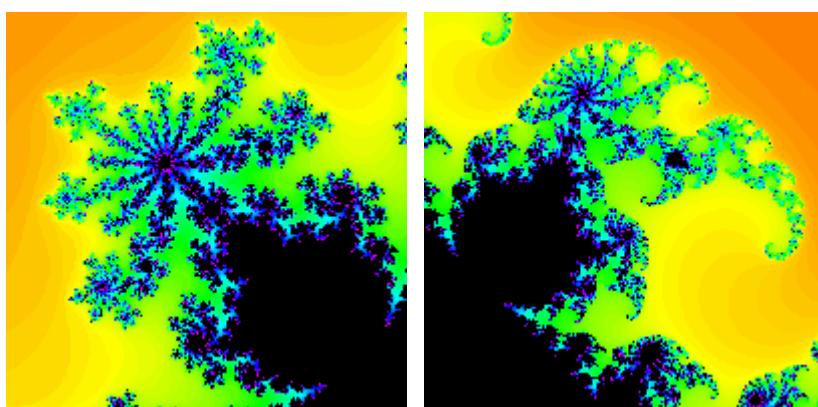
"El detalle completo de la complicada estructura del conjunto de Mandelbrot no puede realmente ser comprendido totalmente por ninguno de nosotros, ni puede ser revelada por ninguna computadora. Pareciera como si esa estructura no sólo no fuera parte de nuestras mentes, sino que es una realidad en sí misma... La computadora se usa esencialmente de la misma forma que un físico experimental utiliza un aparato experimental para explorar la estructura del mundo físico. El conjunto de Mandelbrot no es un invento de la mente humana, fue un descubrimiento. ¡Como el monte Everest simplemente 'está ahí'!"⁹⁹

Los matemáticos y el conocido divulgador científico Martin Gardner concuerdan con esta conclusión: "Penrose encuentra incomprendible (como yo) que cualquiera pueda suponer que esta estructura exótica no está realmente "allí afuera" como el Monte Everest está sujeto a exploración de la forma que una jungla es explorada."¹⁰⁰

"¿Es la matemática una invención o un descubrimiento? Pregunta Penrose. ¿Han ido tan lejos los matemáticos con sus invenciones que ellos las imbuyen con una realidad espirituosa? ¿O es que los matemáticos están descubriendo verdades las cuales en efecto están ya 'ahí' – verdades cuya existencia es independiente de las actividades de los matemáticos?" Al proclamar su adhesión al último punto de vista, Penrose señala que en los casos como el del conjunto de Mandelbrot "se obtienen mucho más de la estructura que lo que se puso en ella en primer lugar. Uno podría adoptar la postura



Detalle de lóbulos



⁹⁹ Ibid.

¹⁰⁰ Martin Gardner, foreword to ibid., p. vi

de que en esos casos el matemático se ha tropezado con ‘trabajos de Dios’.” En verdad él ve una analogía a este respecto entre la matemática y trabajos inspirados de arte: “No es un sentimiento extraño entre los artistas, que en sus más grandes obras están revelando verdades eternas las cuales tienen cierta clase de existencia etérea a priori. ... No puedo evitar sentir en el caso de la matemática que la creencia en una clase de existencia etérea y eterna ... es aún más fuerte.”¹⁰¹

Es fácil tener la impresión que existe un inmenso paisaje de estructuras matemáticas, y que los matemáticos exploran este territorio peculiar pero inspirador, quizás ayudados por la guía de una mano experimentada o los indicadores de recientes descubrimientos. A lo largo de este camino estos matemáticos encuentran nuevas formas y teoremas que ya están allí. El matemático Rudy Rucker piensa en esos objetos como ocupando una especie de espacio mental – que él llama “Paisaje Mental” – así como los objetos físicos ocupan un espacio físico. “Una persona que hace investigación matemática”, escribió, “es un explorador del Paisaje Mental de la misma manera que Armstrong, Liivngstone o Cousteau son exploradores de las características físicas de nuestro Universo.” Ocasionalmente diferentes exploradores pasan por el mismo terreno y reportan independientemente los mismos hallazgos. “Así como compartimos el mismo universo, compartimos el mismo Paisaje Mental”, cree Rucker.¹⁰² John Barrow también cita el fenómeno del descubrimiento independiente en la matemática como evidencia de “algún elemento objetivo” que es independiente de la psiquis del investigador.

Penrose conjectura que la forma en que los matemáticos hacen descubrimientos y comunican los resultados matemáticos unos a otros ofrece evidencia de un reino Platónico o Paisaje Mental:

Imagino que cuando la mente percibe una idea matemática hace contacto con el mundo de Platón de los conceptos matemáticos. ... Cuando uno ‘ve’ una verdad matemática, su conciencia irrumpen en ese mundo de las ideas y hace contacto directo con él. ... Cuando los matemáticos se comunican, se hace posible porque cada uno tiene una *ruta directa a la verdad*, la conciencia de cada ser en posición de percibir las verdades matemáticas directamente, a través de este proceso de ‘ver’. Ya que cada uno puede hacer contacto con el mundo de Platón directamente, pueden más fácilmente comunicarse con todos los demás de lo que uno podría haber esperado. ¡Las imágenes mentales de cada uno pueden, cuando hacen este contacto Platónico, ser bastante diferentes entre sí, pero la comunicación es posible porque cada está directamente en contacto con el *mismo* mundo Platónico eternamente existente!¹⁰³

A veces esa “irrupción” es repentina y dramática, y proporciona lo que usualmente referido como inspiración matemática. El matemático francés Jacques Hadamard hizo un estudio de ese fenómeno y cita el caso de Carl Gauss, quien por años había estado luchado con un problema sobre los números enteros: “Como un repentino relámpago el problema pareció estar resuelto. Yo mismo no podría decir cual fue el hilo conductor que conectó lo que yo previamente sabía con lo que hizo posible mi éxito.”¹⁰⁴ Hadamard también da el caso de Henri Poincaré, quien había gastado un montón de tiempo infructuosamente en un problema concerniente a ciertas funciones matemáticas. Un día Poincaré fue a una excursión geológica, y abordó el ómnibus. “En el momento que puse mi pie en el escalón, me sobrevino la idea, sin nada en mis pensamientos anteriores que hubieran allanado el camino hacia allí”, reportó.¹⁰⁵ Tan seguro estaba de tener el problema resuelto que lo puso en el fondo de su mente y continuó su conversación. Cuando retornó de su paseo fue capaz de probar el resultado rápidamente, y a su comodidad.

Penrose narra un incidente similar sobre su trabajo en agujeros negros y singularidades espacio-temporales.¹⁰⁶ Estaba atento a una conversación en una calle de Londres, y estaba por cruzar una calle transitada cuando se le ocurrió una idea crucial, pero sólo fue pasajera, de modo tal que retomó la conversación y del otro lado de la calle la idea se había ido de su mente. Fue sólo después que notó una curiosa sensación de regocijo, y mentalmente recapituló los eventos del día. Finalmente,

¹⁰¹ Ibid., p. 95

¹⁰² *Infinity and the Mind* by Rudy Rucker (Birkhauser, Boston, 1982), p. 36.

¹⁰³ *Emperor's New Mind* by Penrose, p. 428

¹⁰⁴ *The Psychology of Invention in the Mathematical Field* by Jacques Hadamard (Princeton University Press, Princeton, 1949), p. 13

¹⁰⁵ Quoted in ibid., p. 12.

¹⁰⁶ *Emperor's New Mind* by Penrose, p. 420.

recordó el breve relámpago inspirador, y supo cual era la clave del problema que estuvo ocupando su atención por tan largo rato. Fue algún tiempo después que la exactitud de la fue demostrada rigurosamente.

Muchos físicos comparten esta visión Platónica de la matemática. Por ejemplo, Heinrich Herz, el primero en producir y detectar ondas de radio en el laboratorio, dijo una vez: "Uno no puede escapar a la sensación de que esas fórmulas matemáticas tienen una existencia independiente por sí mismas, y que son más sabias aún que sus descubridores, ya que obtenemos más que lo que pusimos en ellas."¹⁰⁷

Una vez le pregunté a Richard Feynman si él pensaba que la matemática y, por extensión, las leyes de la física tenían una existencia independiente. Él respondió:

El problema de la existencia es muy interesante y difícil. Si haces matemática, lo cual es simplemente trabajar sobre las consecuencias de supuestos, descubrirás por ejemplo una cosa curiosa si sumas los cubos de los enteros. Uno al cubo es uno, dos al cubo es dos veces dos veces dos, que es ocho, y tres al cubo es tres veces tres veces tres, que es veintisiete. Si sumas esos tres cubos, uno más ocho más veintisiete – paremos aquí – será treinta y seis. Y ese es el cuadrado de otro número, seis, que es la sumas de los mismos enteros, uno más dos más tres. ... Ahora, esto que teuento podrías no conocerlo de antemano. Podrías decir: "¿Dónde está eso, qué es eso, dónde está ubicado, qué clase de realidad tiene?" Y así te podrías topar con ello. Cuando descubres estas cosas tienes la sensación que eran ciertas antes que las encontraras. Por lo tanto adquieres la idea que de alguna manera ellas existían en algún lugar, pero no hay ningún lugar para esas cosas. Es sólo un sentimiento. ... Bueno en el caso de la física el problema es doble. Damos con esas interrelaciones matemáticas pero ellas se aplican al universo, por lo tanto el problema de donde están es doblemente confuso. ... Esas son cuestiones filosóficas que no se como responder.¹⁰⁸

La Computadora Cósmica

En los años recientes, las deliberaciones sobre la naturaleza de la matemática se ha visto crecientemente influida por los científicos de la computación, quienes tienen su punto de vista especial sobre el tema. No es sorprendente quizás, que muchos científicos de la computación consideren a la computadora como el componente central en cualquier sistema de pensamiento que intente dar significado a la matemática. En su forma más extrema esta filosofía proclama, "Que lo que no pueda ser computado carece de sentido." En particular cualquier descripción del universo físico debe usar matemática que pueda ser realmente implementada, en principio, en una computadora. Claramente esto proscribe teorías como las descriptas en el capítulo 5, que incluyen predicciones de numero no computables para cantidades físicas. No es permitida ninguna operación matemática que implique un infinito número de pasos. Esto proscribe grandes áreas de la matemática, muchas de las cuales han sido aplicadas a sistemas físicos. Más seriamente, aún esos resultados matemáticos que implican un número de pasos finitos pero muy grande son sospechados, si uno supone que el poder computacional del universo es limitado. Rolf Landauer es un exponente de este punto de vista: "No sólo la física determina lo que una computadora puede hacer, sino que lo que las computadoras pueden hacer a su vez define la última naturaleza de las leyes de la física. Después de todo, La leyes de la física son algoritmos para el procesamiento de la información, y serán fútiles, al menos que esos algoritmos sean implementables en nuestro universo con su ley y recursos."¹⁰⁹

Si la matemática significativa de pende de los recursos disponibles en el universo, hay implicancias de largo alcance. De acuerdo a la teoría cosmológica estándar, la luz pudo haber viajado sólo una distancia finita desde el origen del universo (básicamente porque el universo es de una edad finita). Pero ningún físico o influencia, y en particular ninguna información puede exceder la velocidad de la luz. De esto se deduce que la región del universo a la cual estamos causalmente sujetos contienen sólo una cantidad finita de partículas. El límite exterior de esta región se conoce como nuestro horizonte. Es la superficie más distante en el espacio a la cual la luz emitida por nuestra vecindad del universo en el

¹⁰⁷ Quoted in *Mathematics* by M. Kline (Oxford University Press, Oxford, 1988), p. 338

¹⁰⁸ Quoted in *Superstrings: A Theory for Everything?* By P. C. W. Davies and J. R. Brown (Cambridge University Press, Cambridge, 1988), pp. 207-8.

¹⁰⁹ "Computation and Physics: Wheeler's Meaning Circuit?" by Rolf Landauer, *Foundations of Physics* 16 (1986), p. 551.

momento del big bang puede haber alcanzado ahora. Puesto en términos de computación, obviamente sólo esas regiones del universo entre las cuales la información puede fluir pueden ser consideradas como parte de un sistema de computación; esto es la región dentro de nuestro horizonte. Imaginemos que cada partícula en esa región es requisada e incorporada a una gigantesca computadora cósmica. Aún esa asombrosa máquina tendrá capacidades computacionales limitadas, porque tendría un número finito de partículas (de hecho 10^{80} aproximadamente). No podría, por ejemplo computar π (pi) con precisión infinita. De acuerdo a Landauer, si el universo como un todo no puede computar lo, olvídalos.

Por lo tanto “el humilde π (pi)” no sería ya más una cantidad precisa y definida. Esto acarrea la implicación que la relación de la circunferencia de un círculo con su diámetro no puede ser considerada un número preciso.- aún el caso de líneas geométricas perfectas- sino que estaría sujeto a incertidumbre.

Más extraño aún es el hecho que, a causa de que el horizonte se expande con el tiempo ya que la luz se desplaza hacia fuera en el espacio, los recursos disponibles en la región dentro del horizonte habrían sido menos en el pasado¹¹⁰. Esto implica que la matemática es *dependiente del tiempo*, una noción que es diametralmente opuesta a la de Platón, que veía a las verdades matemáticas como atemporales, trascendentales y eternas. Por ejemplo, un segundo después del big bang, el volumen contenido dentro del horizonte contenía sólo una pequeña fracción de la cantidad actual de partículas atómicas. En el tiempo llamado de Planck (10^{-43} segundos) el volumen del horizonte contendría sólo una partícula. El poder computacional del universo en el tiempo de Planck hubiera sido esencialmente cero. Siguiendo la filosofía de Landauer hasta sus conclusiones lógicas, esto sugiere que todas las matemáticas no tenían sentido en esa época. Si así fuera, entonces intentar aplicar física matemática al universo temprano – en particular al programa completo de cosmología cuántica y el origen cósmico descripto en el capítulo 2- sería considerado sin sentido.

¿Por qué Nosotros?

“Lo único incomprendible del universo es que sea comprensible”

Albert Einstein

El éxito de la empresa científica puede frecuentemente cegarnos respecto del hecho sorprendente que la ciencia funciona. Aunque la mayoría de la gente lo de por sentado, es a la vez increíblemente afortunado y misterios que seamos capaces de desentrañar los trabajos de la naturaleza por medio del uso del método científico. Como ya he explicado, la esencia de la ciencia es descubrir patrones y regularidades en la naturaleza mediante el hallazgo de compresión algorítmica de las observaciones. Pero los datos crudos de las observaciones rara vez exhiben regularidades explícitas. En cambio encontramos que el orden de la naturaleza nos está oculto, está escrito en código. Para hacer algún progreso en la ciencia debemos romper el código cósmico, para cavar debajo de los datos crudos y descubrir el orden oculto. A menudo conecto la ciencia fundamental con hacer crucigramas. Los experimentos y la observación nos proveen de pistas, pero éstas son crípticas, y requieren un ingenio considerable para ser resueltas. Con cada nueva solución, vislumbramos un poco más del patrón completo de la naturaleza. Como en las palabras cruzadas, en el universo físico, encontramos que la solución de pistas independientes se unen de una forma consistente y cooperativa y forman una unidad coherente, de modo tal cuantas más pistas resolvemos, más fácil encontramos llenar las características faltantes.

Lo que es notable es que los seres humanos seamos realmente capaces de descifrar ese código, que la mente humana tiene el equipamiento intelectual necesario para que podamos “abrir los secretos de la naturaleza” y hagamos un intento transitable para completar el “crucigrama críptico” de la naturaleza. Sería fácil imaginar un mundo en el cual las regularidades de la naturaleza fueran transparentes y obvias a primera vista. Podríamos también imaginar otro mundo en el cual no hubiera regularidades, o que las mismas estuvieran tan bien escondidas, tan sutiles, que el código cósmico pudiera requerir mucha más potencia cerebral que la que poseen los humanos. Pero en cambio encontramos una situación en la cual la dificultad del código cósmico parece casi estar en sintonía con las capacidades

¹¹⁰ Esta hipótesis parece ignorar la expansión del universo al considerar que el horizonte al avanzar abarca más materia. Si el universo se expande a la misma velocidad que el horizonte, entonces la cantidad de materia abarcada dentro permanece constante. NT

humanas. Para estar seguros, tenemos una lucha bastante fuerte para decodificar la naturaleza, pero hasta ahora hemos tenido una buena cuota de éxito. Es desafío es justo suficientemente difícil como para atraer a algunas de las mejores mentes disponibles, pero no tanto como para vencer sus esfuerzos combinados y desviarlos hacia tareas más fáciles.

El misterio en todo esto es que el poder intelectual humano es presumiblemente determinado por la evolución biológica, y no tiene absolutamente ninguna conexión con hacer ciencia. Nuestros cerebros han evolucionado en respuesta a presiones ambientales, como la habilidad de cazar, evitar depredadores, esquivar objetos que caen etc. ¿Qué tiene esto que ver con descubrir las leyes del electromagnetismo o la estructura del átomo? John Barrow es también dejado perplejo: “¿Por qué debería nuestros procesos cognoscitivos haberse sintonizado a tan extravagante búsqueda como el entendimiento del Universo entero?” pregunta. “¿Por qué deberíamos ser nosotros? Ninguna de las sofisticadas ideas involucradas aparenta ofrecer alguna ventaja selectiva para ser explotadas durante el período pre-consciente de la evolución. ... Cuán fortuito es que nuestras mentes (o al menos las mentes de algunos) hayan sido preparadas para desentrañar los profundos secretos de la Naturaleza.”¹¹¹

El misterio de nuestro extraordinario éxito en hacer progresos científicos es profundizado por la limitación del desarrollo educacional humano. Por un lado, hay un límite en la velocidad con la que podemos captar nuevos hechos y conceptos, especialmente aquellos de calidad abstracta. Ello requiere generalmente quince años de estudio como mínimo a un estudiante para alcanzar suficiente conocimiento matemático y científico como para hacer una real contribución a la investigación fundamental. También es bien conocido que, especialmente en física matemática, los mayores avances son hechos por hombres y mujeres de entre veinte y treinta años, o a lo sumo en los tempranos treinta. Newton, por ejemplo, tenía solamente veinticuatro cuando presentó la teoría de la gravitación. Dirac era todavía un estudiante de PhD. cuando formuló su ecuación de onda relativista que condujo al descubrimiento de la antimateria. Einstein tenía veintiséis cuando formuló la teoría especial de la relatividad, los cimientos de la mecánica estadística, y el efecto fotoeléctrico en pocos meses de gloriosa actividad creativa. Aunque los científicos de más edad se apresuran a negarlo, hay una fuerte evidencia que la creatividad verdaderamente innovadora en la ciencia desaparece con la adultez. La combinación del progreso educacional y la mengua de la creatividad limitan al científico, dándole una breve pero crucial “ventana de oportunidad” para hacer una contribución. Aún esas restricciones intelectuales presumiblemente tienen sus raíces en aspectos mundanos de la biología evolutiva, conectada con el tiempo de vida humana, la estructura del cerebro, y la organización social de nuestra especie. Cuan extraño, entonces, que las duraciones involucradas sean tales que permitan el esfuerzo científico creativo.

Nuevamente, es fácil imaginar un mundo en el cual todos hubiéramos tenido abundante tiempo para aprender los hechos y conceptos necesarios para hacer ciencia fundamental, u otro mundo en el cual tomara tantos años aprender todo lo necesario que la muerte interviera, o que los años creativos de uno hubieran pasado, mucho antes que la fase educativa hubiera terminado. Y ninguna característica de esta extraña “sintonía” de la mente humana para el trabajo de la naturaleza es mas impactante que la matemática, el producto de la mente humana está de alguna forma conectada con los secretos del universo.

¿Por qué las Leyes de la Naturaleza son Matemáticas?

Pocos científicos se detienen a pensar por que las leyes fundamentales del universo son matemáticas; simplemente lo dan por sentado. Todavía el hecho que “la matemática trabaja” cuando se la aplica al mundo físico – y trabaja asombrosamente bien – demanda una explicación, porque es claro que tengamos un derecho absoluto a esperar que el mundo sea tan bien explicado por la matemática. No obstante la mayoría de los científicos asumen que el mundo debe ser de esa forma, la historia de la ciencia nos previene de ello. Muchos aspectos de nuestro mundo han sido tomados por ciertos, solo para revelarse como el resultado de especiales condiciones y circunstancias. El concepto de Newton de tiempo universal absoluto es un ejemplo clásico. En la vida diaria esta representación del tiempo nos sirve muy bien, sólo porque nos movemos mucho más lentamente que la luz. ¿Podría la matemática trabajar bien a causa de otras circunstancias especiales?

¹¹¹ *Theories of Everything: The Quest for Ultimate Explanation* by John Barrow (Oxford University Press, Oxford, 1991), p. 172

Una aproximación a este dilema es referirse a la “irrazonable efectividad” de la matemática – para usar la frase de Wigner – como un fenómeno puramente cultural, resultado de la forma en la cual los seres humanos han elegido pensar acerca del mundo. Kant advirtió que si miramos el mundo a través de anteojos color de rosa no debería sorprendernos que el mundo luciera rosado. Estamos orgullosos, mantenía, de proyectar sobre el mundo todas nuestras tendencias mentales hacia conceptos matemáticos. En otras palabras, leemos orden matemático en la naturaleza más que leerlo de la naturaleza. Este argumento tiene alguna fuerza. No hay ninguna duda que los científicos prefieren usar matemática cuando estudian la naturaleza, y tienden a seleccionar esos problemas que son susceptibles de un tratamiento matemático. Esos aspectos de la naturaleza que no fácilmente capturados por la matemática (por ejemplo sistemas biológicos y sociológicos) son propensos a ser soslayados. Hay una tendencia a describir como “fundamentales” a aquellas características del mundo que caen en esta categoría “matematizable.” La pregunta “¿Por qué las leyes de la naturaleza fundamentales son matemáticas?” entonces invita a la respuesta trivial: “Porque nosotros definimos como fundamentales a aquellas leyes que son matemáticas.”

Nuestra visión del mundo estará obviamente determinada en parte por manera en que nuestros cerebros están estructurados. Por razones de selección biológica difícilmente podamos conjeturar por qué nuestros cerebros han evolucionado para reconocer y enfocarse en esos aspectos de la naturaleza que exhiben patrones matemáticos. Como remarqué en el capítulo 1, es posible imaginarse una forma de vida alienígena con una historia evolutiva completamente diferente, y cerebros que tengan poco parecido a los nuestros. Esos alienígenas podrían no compartir nuestras categorías de pensamientos, incluyendo nuestro amor a la matemática, y podrían ver el mundo de formas que fueran completamente distintas a las nuestras.

¿Es por lo tanto el éxito de la matemática en la ciencia sólo una peculiaridad cultural, un accidente de nuestra historia evolutiva y social? Algunos científicos y filósofos afirman que lo es, pero confieso que encuentro esa reivindicación marcada por facilidad y la fluidez verbales que sugiere a menudo falta de sinceridad o superficialidad por un número de razones. Primero, mucho de la matemática que es espectacularmente efectiva en la teoría física fue desarrollada como un ejercicio abstracto puramente matemático mucho antes fuera aplicada al mundo real. Las investigaciones originales estaban completamente desconectadas con su aplicación eventual. Este “mundo independiente creado por la inteligencia pura,” como expresara James Jeans, después resultó útil para describir la naturaleza. El matemático británico G. H. Hardy escribió que practicaba matemática por su belleza, no por su valor práctico. Declaró casi orgullosamente que él no podría prever ninguna aplicación útil para su trabajo. Y luego descubrimos, a menudo años después, que la naturaleza está regida por las mismísimas reglas matemáticas que esos matemáticos puros ya habían formulado. (Esto incluye también, irónicamente, mucho del trabajo de Hardy). Jeans señalaba que la matemática es sólo una de muchas formas de pensamiento. Ha habido intentos de construir modelos del universo como organismos vivientes, por ejemplo, o como una máquina. Éstos poco han progresado. ¿Por qué debería el enfoque matemático resultar tan fructífero si no descubre alguna propiedad real de la naturaleza?

Penrose también ha considerado este tópico, y rechaza el punto de vista cultural. Refiriéndose al sorprendente éxito de las teorías como la teoría general de la relatividad escribió:

Es difícil para mí creer, como algunos han tratado de mantener, que tales SÚPER teorías pudieron haber surgido meramente por alguna selección aleatoria de ideas dejando solamente las buenas como sobrevivientes. Las buenas son simplemente mucho mejores como para ser las sobrevivientes surgidas de forma aleatoria. Debe, en cambio, haber alguna profunda razón subyacente para la concordancia entre la matemática y la física, por ejemplo entre el mundo de Platón y el mundo físico.¹¹²

Penrose aprueba la creencia, que he encontrado apoyada por la mayoría de los científicos, que grandes avances en física matemática realmente representan descubrimientos de algunos aspectos de la realidad, y no sólo la reorganización de datos de una forma más apropiada para la digestión intelectual humana.

Ha sido argumentado también que la estructura de nuestro cerebro ha evolucionado para reflejar las propiedades del mundo físico, incluyendo su contenido matemático, así que no es sorprendente que descubramos la matemática en la naturaleza. Como señalé anteriormente, es ciertamente una sorpresa y un profundo misterio, que el cerebro humano haya desarrollado su habilidad extraordinariamente

¹¹² *Emperor's New Mind* by Penrose, p. 430.

matemática. Es muy difícil de entender que la matemática abstracta sea útil para la supervivencia. El mismo comentario se aplica la habilidad musical.

Conocemos al mundo de dos maneras distintas. La primera es por la percepción directa, la segunda por la aplicación del razonamiento y funciones intelectuales altas. Consideremos observar la caída de una piedra. El fenómeno físico que toma lugar en el mundo externo es representado en nuestras mentes porque nuestros cerebros construyen un modelo mental interno del mundo en el cual una entidad correspondiente al objeto físico "piedra" es percibida moviéndose a través de un espacio tridimensional: nosotros *vemos* caer la piedra. Por otro lado, uno puede conocer acerca de la caída de la piedra de otra forma muy distinta y más profunda a la vez. A partir del conocimiento de las leyes de Newton y algo de matemática uno puede producir otra clase de modelo de la caída de la piedra. Éste no es un modelo matemático, en el sentido de la percepción; no obstante es también una construcción mental, y una que une el fenómeno específico de la caída de una piedra a un cuerpo mayor de procesos físicos. El modelo matemático usando las leyes de la física no es algo que realmente *veamos*, pero es, de su propia forma abstracta, un tipo de conocimiento del mundo, más aún, un conocimiento de orden superior.

Me parece que la evolución Darwiniana nos ha provisto el conocimiento del mundo mediante la percepción directa. Hay claras ventajas evolutivas en esto, pero no hay una conexión obvia en absoluto entre esta clase de conocimiento sensorial y el conocimiento intelectual. Los estudiantes a menudo luchan con ciertas ramas de la física, como la mecánica cuántica y la relatividad, porque tratan de entender esos tópicos mediante la visualización mental. Intentan "ver" el espacio curvado o la actividad de un electrón atómico en el ojo de la mente, y fallan completamente. Esto no es debido a la inexperiencia - No creo que algún ser humano pueda realmente formarse una imagen mental precisa de esas cosas. Ni es una sorpresa – la física cuántica y relativista o es especialmente relevante en la vida diaria, y no hay ventaja selectiva para nosotros en tener un cerebro capaz de incorporar sistemas cuánticos y relativistas en nuestro modelo mental del mundo. A pesar de esto, no obstante, los físicos son capaces de alcanzar un entendimiento del mundo de la física cuántica y relativista mediante el uso de la matemática, experimentación selectiva, razonamiento abstracto, y otros procedimientos racionales. El misterio es, ¿por qué tenemos esa capacidad dual de conocer el mundo? No hay razón para suponer que el segundo método surja de un refinamiento del primero. Son maneras enteramente independientes de llegar al conocimiento de las cosas. La primera sirve a una obvia necesidad biológica, el segundo parece no tener ningún significado biológico en absoluto.

El misterio se vuelve más profundo aún cuando tenemos en cuenta la existencia de genios matemáticos y musicales, cuya destreza en esos campos es órdenes de magnitud mejores que la del resto de la población. La sorprendente introspección de matemáticos como Gauss y Riemann está atestiguada no sólo por sus remarcables hazañas matemáticas (Gauss fue un niño prodigo y también tenía memoria fotográfica), sino también por su habilidad de escribir teoremas sin prueba, dejando a las generaciones venideras el esfuerzo de la demostración. Cómo eran esos matemáticos capaces de venir con sus resultados "ya listos", cuando las pruebas a menudo resultaron necesitar volúmenes de complejos razonamientos matemáticos, es un enigma mayor.

Probablemente el caso más famoso sea el del matemático Indio S. Ramanuján.¹¹³ Nacido en la India a fines del siglo XIX, Ramanuján provino de una familia pobre y accedió solamente a una educación

¹¹³ Ramanuján (Extraído del libro "El retorno de los brujos de Louis Powells y Jacques Bergier. 1960)

Un día, a principios del año 1887, un brahmán de la provincia de Madrás se dirige al templo de la diosa Namagiri. El brahmán ha casado a su hija hace ya muchos meses, y el hogar de los esposos es estéril ¡Qué la diosa Namagiri les dé la fecundidad! Namagiri escucha la plegaria. El 22 de diciembre nace un niño, al que se pone el nombre de Srinivasa Ramanuján Alyangar. La víspera se había aparecido la diosa a la madre, para anunciarle que su hijo sería extraordinario.

A los cinco años, ingresa en la escuela. Desde el primer momento, su inteligencia asombra a todos. Parece saber ya lo que le enseñan. Se le concede una beca para el liceo de Kumbakonán, donde es la admiración de sus condiscípulos y profesores. Tiene quince años. Uno de sus amigos hace que la biblioteca local le preste una obra titulada: *A Synopsis of Elementary Results in Pure and Applied Mathematics*. Esta obra, publicada en dos volúmenes, es un recordatorio redactado por George Schoobridge, profesor de Cambridge. Contiene resúmenes y enunciados sin demostración de unos 6.000 teoremas. El efecto que produce en el espíritu del joven hindú es fantástico; El cerebro de Ramanuján se pone bruscamente a funcionar de un modo totalmente incomprendible para nosotros. Demuestra todas las fórmulas. Después de haber agotado la geometría, ataca el álgebra. Ramanuján contará más tarde que la diosa Namagiri se le había aparecido para explicarle los cálculos más difíciles. A los diecisésis años, fracasa en los exámenes, porque Su inglés sigue siendo defectuoso y le es retirada la beca. Prosigue solo, sin documentos, sus investigaciones matemáticas. Por lo pronto, adquiere todos los conocimientos alcanzados en este terreno hasta 1880. Ya puede prescindir de la obra del profesor Shoobridge. Y aún va más allá. Por sí solo, acaba de reproducir, para rebasarlo después, todo el esfuerzo matemático de la civilización, partiendo de un recordatorio, por lo demás incompleto. La historia del pensamiento humano, no conoce otro ejemplo semejante. El propio Galois no había trabajado solo. Estudió en la «Escuela Politécnica», que era en su época el mejor centro matemático del mundo. Podía consultar millares de obras. Estaba en contacto con sabios de primer orden. En' ninguna ocasión se ha elevado tanto el espíritu humano con tan poco apoyo.

limitada. Fue más o menos un autodidacta en matemática y, estando aislado de las corrientes principales de la vida académica, su aproximación a la materia fue de una forma muy poco convencional. Ramanuján escribió una gran cantidad de teoremas sin su demostración, algunos de ellos de una naturaleza muy peculiar, tal que no se le hubieran ocurrido a normalmente a la mayoría de los matemáticos convencionales. Eventualmente algunos de los resultados de Ramanuján captaron la atención de Hardy, quien estaba sorprendido. "No he visto antes a nada que se parezca en lo más mínimo a ellos," comentó. "Una simple mirada es suficiente para ver que sólo pueden haber sido escritos por un matemático de la más alta clase." Hardy fue capaz de probar algunos de los teoremas de Ramanuján únicamente desplegando todas sus considerables capacidades matemáticas, pero sólo con gran dificultad. Otros resultados lo superaban completamente. No obstante sentía que debían ser correctos, porque "ninguna hubiera tenido la imaginación para inventarlos." Subsecuentemente Hardy arregló que Ramanuján viajara a Cambridge para trabajar con él. Ramanuján desafortunadamente sufrió un choque cultural y problemas médicos, y murió prematuramente a la temprana edad de treinta tres años, dejando un vasto stock de conjectura matemática para la posteridad. Hasta hoy nadie realmente sabe como concretó esas extraordinarias hazañas. Un matemático comentó que los resultados parecían "fluir de su cerebro" sin esfuerzo. Esto hubiera sido suficientemente remarcable en un matemático, pero para alguien que no estaba familiarizado con la matemática convencional es verdaderamente extraordinario. Es muy tentador suponer que Ramanuján tenía una facultad que le permitía ver el Paisaje Mental matemático directa y vividamente, y recoger los resultados completos a su voluntad.

Escasamente menos misteriosos son los extraños casos de los así llamados calculadores relámpagos – gente que puede hacer fantásticas hazañas matemáticas mentales casi instantáneamente, sin la menor idea de cómo arriban a la respuesta. Shakuntala Devi vive en Bangalore, en la India, pero regularmente viaja por el mundo asombrando audiencias con hazañas mentales aritméticas. ¡En una ocasión memorable en Texas encontró la vigésimo segunda raíz de un número de doscientos dígitos en cincuenta segundos!

Más peculiares aún, quizás, son los casos de "sabios autistas," gente que es discapacitada mental y puede tener dificultad en realizar la manipulación aritmética más elemental, pero que sin embargo posee la rara habilidad de producir respuestas correctas a problemas matemáticos que aparecen como

En 1909, después de años de trabajo solitario y de miseria, Ramanuján se casa. Busca un empleo. Le recomiendan a un preceptor local, Ramachandra Rao, ilustre enamorado de las matemáticas. Éste nos ha dejado el relato de su encuentro. «Un hombrecillo desaseado, sin afeitar, con unos ojos como jamás he visto otros, entró en mi cuarto, con una gastada libreta de notas bajo el brazo. Me habló de descubrimientos maravillosos que rebasaban infinitamente mi saber. Le pregunté qué podía hacer por él. Me dijo que sólo quería lo justo para comer, a fin de poder proseguir sus investigaciones.»

Ramachandra Rao le pasa una pequeña pensión. Pero Ramanuján es demasiado orgulloso. Por fin le encuentra un empleo: un puesto mediocre de contable en el puerto de Madrás.

En 1913, le convencen de que entable correspondencia con el gran matemático inglés G. H. Hardy, a la sazón profesor de Cambridge. Le escribe y le envía por el mismo correo ciento veinte teoremas de geometría que acaba de demostrar. Hardy debía escribir sobre ello:

«Estas notas podían haber sido escritas únicamente por un matemático del mayor calibre. Ningún ladrón de ideas, ningún farsante, por genial que fuese, podía haber captado abstracciones tan elevadas.» Propone inmediatamente a Ramanuján que se traslade a Cambridge. Pero su madre se opone, por motivos religiosos. De nuevo la diosa Namagiri se encarga de resolver la dificultad. Se aparece a la vieja dama para convencerla de que su hijo puede ir a Europa sin peligro para su alma, y le muestra, en sueños, a Ramanuján sentado en el gran anfiteatro de Cambridge entre ingleses que le admiran.

A finales del año 1913, se embarca el hindú. Trabajará durante cinco años e imprimirá un avance prodigioso a las matemáticas. Es elegido miembro de la Sociedad Real de Ciencias y nombrado profesor de, Cambridge; en el colegio de la Trinidad. En 1918 cae enfermo. Tuberculosis. Regresa a la India, para morir allí, a los treinta y dos años.

Dejó un recuerdo extraordinario en todos cuantos le conocieron. Sólo vivía para los números. Hardy fue a visitarle al hospital y le dijo que había tomado un taxi: Ramanuján le preguntó el número del coche: 1.729. «¡Qué hermoso numero! –exclamó– ¡Es el más pequeño que es dos veces la suma de dos cubos!» En efecto, 1.729 es igual a 10 elevado al cubo más 9 elevado al cubo; y es también igual a 12 elevado al cubo más uno elevado al cubo.» Hardy necesitó seis meses para demostrarlo, y el mismo problema no ha sido aun resuelto para la cuarta potencia.

La historia de Ramanuján es increíble para cualquiera, Y, sin embargo; es rigurosamente cierta. No es posible expresar en términos sencillos la naturaleza de los descubrimientos de Ramanuján. Versan sobre los misterios más abstractos de la noción del numero, y particularmente de los «números primos».

Poco se sabe de lo que, fuera de las matemáticas, despertaba el interés de Ramanuján. Se preocupaba poco de arte y de literatura. Pero le apasionaba todo lo extraño. En Cambridge se había montado una pequeña biblioteca y un fichero sobre toda suerte de fenómenos desconcertantes para la razón.

extraordinariamente difíciles a la gente ordinaria. Dos hermanos americanos, por ejemplo, pueden consistentemente ganarle a una computadora encontrando números primos, aún siendo ambos retrasados mentales. En otro caso se mostró por la televisión británica un hombre discapacitado que podía dar con corrección y casi instantáneamente el día de la semana cuando se le presentaba una fecha, jaún de otro siglo!

Estamos por supuesto acostumbrados al hecho que todas las capacidades humanas, físicas y mentales, muestren amplias variaciones. Algunas personas pueden saltar seis pies sobre el suelo, mientras que la mayoría de nosotros apenas tres. ¡Pero imaginemos alguien que venga y salte sesenta pies, o seiscientos pies! Aún el salto intelectual que representan los genios matemáticos es lejos en exceso esas diferencias físicas.

Los científicos están lejos de entender como son controladas por nuestros genes las habilidades mentales. Quizás solo muy raramente los humanos contengan la impronta genética que codifica poderes matemáticos tan fantásticos. O quizás no es tan raro, pero los genes relevantes no están usualmente activados. No obstante, cualquiera sea el caso, los genes necesarios están presentes en el repositorio genético humano. El hecho que los genios matemáticos ocurran en cada generación sugiere que es un factor bastante estable como recurso genético. Si este ha evolucionado por accidente más que en respuesta a una presión del medio ambiente, entonces es una coincidencia sorprendente que la matemática encuentre tales aplicaciones en el universo físico. Si por otra parte, la habilidad matemática tiene algún obscuro valor para la supervivencia y ha evolucionado por selección natural, aún enfrentamos el misterio de porqué las leyes de la naturaleza son matemáticas. Después de todo sobrevivir en la "selva" no requiere conocimiento de las *leyes* de la naturaleza, sólo de sus manifestaciones. Hemos visto como las leyes en si mismas están codificadas y no conectadas de una manera simple en lo absoluto a los fenómenos físicos reales sujetos a esas leyes. La supervivencia depende de una apreciación de cómo es el mundo, no de algún orden subyacente oculto. Ciertamente esta no puede depender del orden dentro del núcleo atómico, o en agujeros negros, o en partículas subatómicas que se producen en la Tierra sólo dentro de aceleradores de partículas.

Podría suponerse que cuando nos agachamos para esquivar un proyectil, o evaluamos cuán rápido debemos correr para saltar un arroyo, estamos haciendo uso del conocimiento de las leyes de la mecánica, pero esto es bastante erróneo. Lo que usamos son experiencias previas de situaciones similares. Nuestros cerebros responden automáticamente cuando se le presentan tales desafíos; no integran las leyes de Newton del movimiento de la forma que un físico lo hace cuando analiza la situación científicamente. Para hacer juicios sobre el movimiento en el espacio tridimensional, el cerebro necesita ciertas propiedades especiales. Para hacer matemática (tal como la necesaria para describir este movimiento) también requiere propiedades especiales. No veo evidencia para aseverar que esos conjuntos de propiedades aparentemente tan diferentes sean realmente el mismo, o que uno surja como subproducto (posiblemente accidental) del otro.

De hecho, toda la evidencia es en contrario. La mayoría de los animales comparten nuestra habilidad para esquivar proyectiles y saltar efectivamente, pero no muestran una habilidad matemática significativa. Los pájaros, por ejemplo, son mucho más adeptos a explotar las leyes de la mecánica que los humanos, y sus cerebros han desarrollado cualidades muy sofisticadas como resultado. Pero experimentos realizados con sus huevos, demuestran que las aves no pueden siquiera contar más de tres. Ser consciente de las regularidades de la naturaleza, como aquellas manifestadas en mecánica, tienen un valor importante para la supervivencia, y está cableada en los cerebros animales y humanos a un nivel muy primitivo. Por contrate, matemática es una función de mental de alto nivel, aparentemente exclusiva de los humanos (en tanto a lo que la vida terrestre concierne). Es el producto del sistema más complejo conocido en la naturaleza. Así y todo, la matemática produce sus hallazgos más espectaculares aplicándola a los procesos más básicos de la naturaleza, procesos que ocurren a nivel subatómico. ¿Por qué el sistema más complejo debería estar conectado de esta manera a los procesos más primitivos de la naturaleza?

Podría argumentarse que, como el cerebro es un producto de procesos físicos, debería reflejar la naturaleza de esos procesos, incluyendo su carácter matemático. Pero sin embargo no hay conexión directa entre las leyes de la física y la estructura del cerebro. Lo que distingue al cerebro de un kilogramo de materia ordinaria es su forma complejamente organizada, en particular las elaboradas interconexiones entre las neuronas. Este patrón de cableado no puede ser explicado por las leyes de la física solamente. Depende de muchos otros factores, incluyendo un poco de azar en su historia evolutiva. Cualesquier que hayan sido las leyes que ayudaron a dar forma a la estructura al cerebro humano (como las leyes de la genética de Mendel) no tienen una relación simple con las leyes de la física.

¿Cómo Podemos Saber Algo sin Saberlo Todo?

Esta pregunta, planteada muchos años atrás por el matemático Hermann Bondi, hoy es aún más problemática a la luz del progreso hecho en teoría cuántica. Se dice a menudo que la naturaleza es una unidad, que el mundo es un todo interconectado. En un sentido esto es cierto. Pero lo es también el caso que podemos estructurar un entendimiento muy detallado de partes individuales del mundo sin necesidad de saberlo todo. Ciertamente la ciencia no hubiera sido posible en absoluto si no hubiéramos podido avanzar de a pequeños pasos.

Así como la ley de la caída de los cuerpos descubierta por Galileo no requiere el descubrimiento de la distribución de todas las masas del universo; las propiedades del electrón pueden ser descubiertas sin que necesitemos conocer las leyes de la física nuclear. Y así siguiendo. Es fácil imaginar un mundo en que los fenómenos que ocurren en un lugar del universo, o en una escala de energía, estuvieran íntimamente entrelazados con todo el resto de modo tal que impidan una resolución en un conjunto simple de leyes. O para usar la analogía del crucigrama, en lugar de lidiar con una mezcla conectada de palabras separadamente identificables, tuviéramos una respuesta que fuera una única palabra extremadamente complicada. Nuestro conocimiento del universo sería entonces una cuestión de "todo o nada."

El misterio se profundiza por el hecho que la separabilidad de la naturaleza es sólo aproximada. El universo es, en realidad, un todo interconectado. La caída de una manzana en la Tierra es afectada, y a su vez reacciona a, la posición de la luna. Los electrones atómicos están sujetos a influencias nucleares. En ambos casos, no obstante, los efectos son mínimos, y pueden ser ignorados para la mayoría de los propósitos prácticos. Pero no todos los sistemas son como estos. Como he explicado algunos sistemas son caóticos, y son exquisitamente sensativos al más mínimo disturbio externo. Es esta propiedad la que hace a los sistemas caóticos impredecibles. Aunque vivimos en un universo repleto de sistemas caóticos, somos capaces de filtrar un vasto rango de procesos físicos que son predecibles y matemáticamente tratables.

La razón de que esto sea así puede ser atribuido en parte a dos propiedades curiosas, llamadas "linealidad" y "localidad." Un sistema lineal obedece a ciertas reglas matemáticas muy especiales de adición y multiplicación asociadas con gráficos de líneas rectas – de ahí el nombre de "lineal" – las cuales no es necesario profundizar acá (ver *The Matter Myth*¹¹⁴ para una discusión detallada). Las leyes del electromagnetismo, que describen los campos eléctricos y magnéticos y el comportamiento de la luz y otras ondas electromagnéticas, son lineales a un grado muy alto de aproximación, por ejemplo. Los sistemas lineales no pueden ser caóticos, y no son altamente sensivos a pequeñas perturbaciones externas.

Ningún sistema es *exactamente* lineal, por lo tanto el tema de la separabilidad del mundo se reduce a por qué los efectos no lineales son a menudo en la práctica tan pequeños. Esto usualmente se debe a que las fuerzas no lineales en cuestión son intrínsecamente muy débiles, o bien de un rango de alcance muy corto, o ambas cosas. No sabemos porqué las intensidades y los rangos de las fuerzas de la naturaleza son las que son. Un día seremos capaces de computarlas a partir de una teoría fundamental subyacente. Alternativamente, ellas podrían ser simplemente "constantes de la naturaleza" que no pueden ser derivadas de las leyes mismas. Una tercera posibilidad es que esas "constantes" no sean números fijos dados por Dios en absoluto, sino que estén determinados por el estado actual del universo; en otras palabras, podrían estar relacionadas con las condiciones cósmicas iniciales.

La propiedad de localidad tiene que ver con el hecho que, en muchos casos, el comportamiento de un sistema físico está determinado enteramente por las fuerzas e influencias que surgen en su inmediata vecindad. Por lo tanto, cuando una manzana cae, su tasa de aceleración, en cada punto del espacio depende del campo gravitacional sólo en ese punto. Comentarios similares se aplican a la mayoría de las otras fuerzas y circunstancias. Hay no obstante, situaciones donde aparecen efectos no locales. En mecánica cuántica, dos partículas subatómicas pueden interactuar localmente y luego separarse mucho. Pero las reglas de la física cuántica son tales que, aún si las partículas estuvieran en lados opuestos del universo, aún deben ser tratadas como un todo indivisible. Esto es que medidas efectuadas en una de esas partículas dependerán en parte del estado de la otra. Einstein se refirió a esta no localidad como "fantasmal acción a distancia" y se negó a creer en ella. Pero experimentos recientes confirmaron más allá de toda duda que esos efectos no locales son reales. Generalmente

¹¹⁴ *Matter Myth Dramatic Discoveries That Challenge Our Understanding of Physical Reality* by [Paul Davies](#) Touchstone Books (01/01/1992) ISBN: 0671728415

hablando, a nivel subatómico, donde la física cuántica es importante, una colección de partículas debe ser tratada holísticamente. El comportamiento de una partícula está inextricablemente entrelazada con el de las otras, no importando cuan grande sea la separación entre las partículas.

Este hecho tiene una importante implicación para el universo como un todo. Si uno fuera a tomar un estado cuántico arbitrario para el cosmos entero, es probable que ese estado representara un gigantesco entrelazado de todas las partículas en el universo. En el capítulo 2 discutí ideas recientes de Hartle y Hawking concernientes a la descripción cuántica del universo entero – cosmología cuántica. Uno de los desafíos mayores de la cosmología cuántica es explicar como el mundo familiar que experimentamos ha emergido de su borroso origen cuántico. La mecánica cuántica, deber ser recordado, incorpora el principio de incertidumbre de Heisenberg, el cual tiene el efecto de difuminar los valores de todas las cantidades observables de una manera impredecible. Por lo tanto un electrón orbitando un átomo no puede ser considerado con una posición bien definida en el espacio en cada instante. Uno no debe realmente pensar en él como si estuviera circundando el núcleo atómico por una camino definido, sino en cambio en dispersado de una manera indeterminada alrededor del núcleo.

Aunque este es el caso de los electrones en los átomos, cuando tratamos con objetos macroscópicos no observamos tal dispersión. Por lo tanto el planeta Marte tiene una posición definida en el espacio a cada momento, y sigue una órbita definida alrededor del sol. A pesar de ello Marte aún está sujeto a las leyes de la mecánica cuántica. Uno podría preguntarse, como Enrico Fermi una vez lo hizo, por qué Marte no está disperso alrededor del sol de la misma forma que un electrón está disperso alrededor de un átomo. En otras palabras, dado que el universo ha nacido en un evento cuántico, ¿cómo es que un mundo esencialmente no cuántico ha emergido? Cuando el universo se originó, y era muy pequeño, la incertidumbre lo engullía. Hoy no notamos ninguna incertidumbre residual en los cuerpos macroscópicos.

La mayoría de los científicos ha asumido tácitamente que un mundo no cuántico (o “clásico” para usar la jerga) podría haber emergido automáticamente a partir del big bang, aún de un big bang en el cual los efectos cuánticos fueran dominantes. Recientemente, no obstante, Hartle y Gell-Mann han desafiado esta presunción. Argumentan que la existencia de un mundo aproximadamente clásico en el cual existen objetos materiales bien definidos en ubicaciones del espacio, y en el cual hay un concepto bien definido del tiempo, requiere de condiciones inicial especiales. Sus cálculos indican que para la mayoría de los estados iniciales no emergiría un mundo clásico. En tal caso la separabilidad del mundo en diferentes objetos ocupando posiciones definidas en una base también bien definida de espacio tiempo no sería posible. No habría localidad. Parece posible que en ese mundo difuso uno no podría conocer algo sin conocerlo todo. Por cierto Hartle y Gell-Mann arguyen que la misma noción de las leyes tradicionales de la física, como la mecánica de Newton, deberían no ser consideradas como aspectos verdaderamente fundamentales de la realidad, sino como vestigios del big bang, como consecuencias del estado cuántico especial en el cual el universo se originó.

Si también fuera el caso, como remarqué brevemente más arriba, que las intensidades y los rangos de las fuerzas de la naturaleza son dependientes del estado cuántico del universo, entonces llegamos a una notable conclusión. Ambas, la linealidad y la localidad de la mayoría de los sistemas físicos no sería consecuencia de algún conjunto fundamental de leyes en absoluto, sino sería debido al estado cuántico peculiar en el cual el universo se originó. La inteligibilidad del mundo, el hecho que podamos progresivamente descubrir leyes y extender nuestro conocimiento de la naturaleza – el mismo hecho que la ciencia funcione – no sería un derecho absoluto e inevitable, sino que puede ser atribuido a condiciones iniciales especiales, quizás muy especiales. La “irracionales efectividad” de la matemática en su aplicación al mundo natural sería entonces consecuencia de unas condiciones iniciales irrazonablemente efectivas.●

Capítulo 7 - ¿Por qué el mundo es de la forma que es?

EINSTEIN UNA VEZ REMARCÓ que la cosa que más le interesaba era si Dios tuvo alguna elección en crear el mundo tal como es. Einstein no era religioso en un sentido convencional, pero le gustaba usar el nombre de Dios como una metáfora para expresar cuestiones profundas de la existencia. Esta pregunta en particular fastidió a generaciones de científicos, filósofos y teólogos. ¿Tuvo el mundo que ser de la forma que es, o podría haber sido de otra forma? Y si pudo ser de otra forma, ¿qué clase de explicación podríamos buscar para que sea como es?

En referencia a la libertad de Dios para crear al mundo a su elección, Einstein estaba aludiendo al filósofo del siglo XVII Benedict Spinoza. Spinoza fue un panteísta que pensaba en los objetos del universo físico como atributos de Dios más que como su creación. Identificando a Dios con la naturaleza, Spinoza rechazaba la idea Cristiana de una Deidad trascendente que creó al universo en un acto libre. Por otro lado Spinoza no fue un ateísta: él creía tener una prueba lógica que Dios debía existir. Como él identificaba a Dios con el universo físico, esto equivalía a una prueba que nuestro universo particular también debía existir.

Para Spinoza Dios no tuvo opción en el tema: "Las cosas no pudieron haber sido traídas a su existencia por Dios de una manera o en un orden diferente del que de hecho tuvieron", escribió.

Esta forma de pensamiento – que las cosas son el resultado de alguna clase de necesidad lógica o inevitable – es bastante común hoy entre los científicos. Muchos, sin embargo, prefieren quitar a Dios del mismo.

Si están en lo cierto implica que el mundo forma un sistema de explicación cerrado y completo, en el cual todo es explicado y ningún misterio permanece. También significaría que en principio no necesitaríamos observar al mundo realmente para poder conocer su forma y contenido: porque todo seguiría de una necesidad lógica, la naturaleza del universo sería deducible sólo con la razón. "Estoy de acuerdo" escribió Einstein mientras coqueteaba con esta idea, "que el puro pensamiento puede comprender a la realidad, como los Antiguos soñaron. ... Podemos construir por medio de construcciones matemáticas puras los conceptos y las leyes que los interrelacionan las cuales proveen la llave del entendimiento de los fenómenos naturales."¹¹⁵ Por supuesto, podríamos nunca ser lo suficientemente inteligentes para derivar realmente los conceptos correctos y las leyes desde la deducción matemática solamente, pero ese no es el punto. Si tal explicación cerrada fuera aún posible alteraría profundamente nuestro pensamiento sobre el universo y nuestro lugar en él. Pero, ¿tienen estas reivindicaciones de completitud y unicidad algún fundamento o son solamente una vaga esperanza?

Un universo inteligible

Subyaciendo estas cuestiones hay una suposición crucial: que el mundo es a la vez racional e inteligible. Esto es a menudo expresado como el "principio de razón suficiente", el cual establece que todo en el mundo es como es por alguna razón. ¿Porqué el cielo es azul? ¿Porqué caen las manzanas? ¿Porqué hay nueve planetas en el sistema solar? Usualmente no nos quedamos satisfechos con la respuesta: "Porque esa es exactamente la forma que es." Creemos que debe haber alguna razón para que sea así. *Si hay hechos acerca del mundo que deban ser aceptados sin razón (así llamados hechos brutos), entonces la racionalidad falla y el mundo es absurdo.*

La mayoría de la gente acepta el principio de razón suficiente sin cuestionárselo. Toda la empresa científica, por ejemplo, está construida sobre la presunción de la racionalidad de la naturaleza. La mayoría de los teólogos también adhieren al principio, porque creen en un Dios racional. ¿Pero podemos estar absolutamente seguros que este principio es infalible? ¿Hay suficiente razón para creer en el principio de razón suficiente? Estamos seguros que usualmente funciona bien: las manzanas caen por la gravedad, el cielo es azul porque las longitudes de ondas más cortas son dispersadas por las moléculas del aire, y así siguiendo. Pero esto no nos garantiza que siempre funcionará. Por supuesto que si el principio es falso, entonces hacer más preguntas sobre temas fundamentales se torna sin

¹¹⁵ *The World Within the World* by John D Barrow (Oxford University Press, Oxford 1990) p 349

sentido. De todas formas, sea o no el principio infalible, vale la pena aceptarlo como una hipótesis de trabajo para ver a donde nos conduce.

Para confrontar los temas profundos de la existencia, tenemos que considerar la posibilidad de dos clases distintas de cosas.

En la primera clase están los hechos sobre el universo físico, como el número de planetas en el sistema solar. Es un hecho que hay nueve planetas pero parece irracional suponer que *tiene obligadamente* que haber nueve. Ciertamente podemos fácilmente imaginar que hubieran ocho o diez. Una explicación típica de porqué hay nueve podría concentrarse en la manera en la cual el sistema solar se formó de una nube de gas, la abundancia relativa de elementos en el gas y así siguiendo. A causa de que una explicación de las características del sistema solar depende de algo distinto al sistema solar mismo, se dice que estas características son "contingentes." Algo es contingente si pudo haber sido de otra forma, así que la razón de porqué es de la forma que es depende de algo más, algo más allá de sí mismo.

La segunda clase se refiere a hechos u objetos o eventos que son no contingentes. Dichas cosas son llamadas "necesarias" Algo es necesario si es completamente independiente de cualquier otra cosa. Una cosa necesaria contiene su razón en si misma, y permanecería inmutable si todo lo demás fuera distinto.

Es difícil convencerse de que haya cosas necesarias en la naturaleza. Ciertamente todos los objetos físicos que encontramos en el mundo y los eventos que acontecen con ellos, dependen de alguna manera del resto del mundo, y por lo tanto deben ser considerados contingentes. Más aún, si algo es necesario como es, entonces debe ser siempre como es: no puede cambiar. Algo necesario no puede hacer referencia al tiempo. Ya que el estado del mundo cambia continuamente, entonces todas las cosas que toman parte de ese cambio deben ser contingentes.

¿Qué pasaría con el universo considerado como un todo, si consideramos al tiempo mismo incluido en su definición? ¿Podría así ser necesario? Esto es lo que Spinoza y sus seguidores habían afirmado. A primera vista resulta difícil ver que pudieran estar en lo cierto. Podemos fácilmente imaginarnos al universo siendo diferente de cómo es. Por supuesto, ser capaz de imaginarse algo simplemente no es garantía de que esa cosa sea posible, ni aún lógicamente posible. Pero creo que hay muy buenas razones por las cuales el universo podría haber sido de otra forma, como pronto discutiré.

¿Qué acerca de las leyes de la física? ¿Son necesarias o contingentes? Aquí la situación es menos clara. Normalmente esas leyes son consideradas eternas y atemporales, por lo tanto quizás podría tener caso que fueran necesarias. Por otro lado la experiencia demuestra que en la medida que la física progresó aquellas que se pensaban eran leyes independientes se encontraron conectadas entre sí. Un buen ejemplo es el reciente¹¹⁶ descubrimiento que la fuerza nuclear débil y la fuerza electromagnética son realmente dos aspectos de una única fuerza electrodébil descripta por un único sistema de ecuaciones común a ambas. Por lo tanto esas fuerzas individuales resultaron ser contingentes de otras. ¿Pero es posible que exista una súperfuerza, o aún una súperley completamente unificadora que sea necesaria?¹¹⁷ Muchos físicos piensan que sí. Algunos científicos contemporáneos, como el químico Peter Atkins de Oxford, señalan esta convergencia de la física fundamental hacia una súperley unificadora para argüir que el mundo físico no es contingente sino necesario. Ellos sostienen que es gratuito buscar mayor explicación en la metafísica. Estos científicos esperan que llegue un tiempo en que todas las leyes de la física estén combinadas en un solo esquema matemático y afirman que ese esquema será el único auto consistente disponible.

Pero otros han dirigido su atención a esta unificación progresiva y derivaron la conclusión opuesta. Por ejemplo el Papa Juan Pablo II ha sido profundamente impresionado por el espectacular progreso hecho en conectar varias partículas elementales de la materia y las cuatro fuerzas fundamentales de la naturaleza, y recientemente se dirigió de la siguiente manera a los asistentes de una conferencia científica al respecto de las amplias implicancias que esto tenía:

Los físicos tienen un detallado aunque incompleto y provisional conocimiento de las partículas elementales y de las fuerzas fundamentales a través de las cuales ellas

¹¹⁶ Reciente en 1992 NT

¹¹⁷ El autor se refiere a las cuatro fuerzas básicas y fundamentales de la naturaleza, la gravedad, el electromagnetismo, la fuerza nuclear fuerte y la fuerza nuclear débil. Einstein intentó infructuosamente hallar la teoría del campo unificado que uniera estas cuatro fuerzas en una sola. Posteriormente se logró unificar la gravedad con el electromagnetismo y más tarde aún este último con la fuerza débil. Existen algunas teorías más o menos plausibles para la unificación total de la física, pero su falsación es muy dificultosa. NT

interactúan a bajas e intermedias energías. Tienen ahora una teoría aceptable que unifica el electromagnetismo y la fuerza nuclear débil, junto con algunas mucho menos adecuadas pero prometedoras teorías del campo unificado las cuales intentan también incorporar la interacción nuclear fuerte. Más aún en la línea de este mismo desarrollo, ya hay varias sugerencias detalladas para el estado final, para la superunificación, que es, la unificación de todas nuestras fuerzas fundamentales incluyendo la gravedad. ¿No es importante para nosotros notar que en un mundo de tal detallada especialización, como lo es la física contemporánea, exista esta tendencia hacia la convergencia?¹¹⁸

El punto acerca de esta convergencia es la forma en que progresivamente acota las leyes aceptables de la física. Cada nueva interconexión que es descubierta demanda interdependencia mutua y consistencia entre las leyes que gobiernan hasta ahora partes independientes. El requerimiento que todas las teorías sean consistentes con la mecánica cuántica y la teoría de la relatividad por ejemplo, ya imponen fuertes restricciones en la forma matemática que las leyes deben asumir. Esto propone la especulación que un día, quizás pronto, la convergencia pueda ser completada, y se obtenga una explicación unificada de todas las leyes de la naturaleza. Esta es la idea de la así llamada Teoría de Todo brevemente mencionada en el capítulo 1.

¿Una única teoría para todo?

¿Es posible una Teoría de Todo? Muchos científicos piensan que sí. En efecto algunos de ellos aún creen que casi tenemos tal teoría. Citan a la actualmente popular teoría de las supercuerdas como un intento serio de amalgamar todas las fuerzas fundamentales y las partículas de la física, como también la estructura del espacio y del tiempo en una sola estructura matemática que lo abarque todo. De hecho esta confianza no es nueva. Hay una larga historia de intentos de construir explicaciones unificadas del mundo. En su libro *Theories of Everything: The Quest for Ultimate Explanation*, John Barrow, atribuye el atractivo de tal teoría a la creencia apasionada de un cosmos racional: que hay una lógica comprensible detrás de la existencia física que puede ser entendida en una forma sucinta y convincente.

La cuestión que aparece es si, al alcanzarse tal unificación, la teoría será restringida tan fuertemente por los requerimientos de la consistencia matemática que será única. Si así fuera, habría sólo un sistema unificado de la física, con sus varias leyes establecidas por la necesidad lógica. El mundo, se diría, estaría explicado: Las leyes de Newton, las ecuaciones del electromagnetismo de Maxwell, el campo gravitatorio de Einstein, y todo el resto resultaría inexorablemente del requerimiento de consistencia lógica tan seguramente como el teorema de Pitágoras resulta de los axiomas euclidianos de la geometría. Llevando esta línea de razonamiento a su extremo, los científicos no necesitarían molestararse con observaciones o experimentos. La ciencia no sería ya una materia empírica, sino una rama de la lógica deductiva, con las leyes de la naturaleza adquiriendo el estado de teoremas matemáticos, y las propiedades del mundo deducibles por la aplicación de la sola razón.

La creencia que la naturaleza de las cosas en el mundo pueda ser conocido solamente a través del ejercicio de la razón pura, por el uso de un argumento de lógica deductiva a partir de premisas auto evidentes, tiene una larga historia. Elementos de tal aproximación pueden encontrarse en los escritos de Platón y Aristóteles. Reaparecieron en el siglo XVII con los filósofos racionalistas, como Descartes, quien construyó un sistema de la física deseando que estuviera arraigado en la sola razón, más que en la observación empírica. Mucho más tarde en la década de 1930, el físico E. A. Milne igualmente intentó construir una descripción deductiva de la gravitación y la cosmología. En años recientes, se ha puesto de moda una vez más la idea de que una descripción unificada de la física podría resultar deductivamente comprobable y eso fue lo que impulsó a Stephen Hawking a elegir como título provocativo para su lectura inaugural para el Lucasian Chair “¿Está el final de la Física Teórica a la Vista?”

¿Pero, qué evidencia hay que tal estado de los asuntos sea posible? Dejando a lado la incertidumbre sobre si el reciente trabajo sobre las supercuerdas y otros del estilo contribuyan a una unificación en el futuro cercano, creo que es demostrablemente erróneo que una teoría superunificada pueda ser única. He llegado a esta conclusión por un número de razones. La primera de ellas es que los físicos teóricos frecuentemente discuten “universos de juguete” matemáticamente consistentes los cuales ciertamente no corresponden a nuestro universo. He explicado la razón para esto en el capítulo 1. Hemos

¹¹⁸ Mensaje de su Santidad el Papa Juan Pablo II in Physics, Philosophy and Theology: a Common Quest for Understanding (eds. Robert John Russell, William R. Stoeger, and George V. Coyne, Vatican Observatory, Vatican City State, 1988), p M1

encontrado uno de esos universos de juguete – el autómata celular. Hay muchos otros. Me parece que para tener alguna esperanza de unicidad, uno necesitaría demandar no sólo auto consistencia, sino también una multitud de especificaciones contingentes, como la conformidad con la relatividad, o la presencia de ciertas simetrías, o la existencia de un espacio tridimensional y del tiempo.

El segundo problema concierne a la misma noción de unicidad de la lógica y la matemática. La matemática está fundada sobre un conjunto de axiomas. Aunque la matemática puede ser deducida desde ese grupo de axiomas, los axiomas en sí mismo no. Deben ser justificados por fuera del sistema. Uno podría imaginarse muchos conjuntos diferentes de axiomas conduciendo a diferentes esquemas lógicos. Está también el serio problema del teorema de Gödel. Recordemos que, de acuerdo a este teorema, es generalmente imposible, desde dentro del sistema de axiomas, probar que los axiomas son consistentes. Y si se pudiera mostrar la consistencia, entonces el sistema de axiomas podría no ser completo, en el sentido que podrían existir afirmaciones matemáticas verdaderas que no podrían ser probadas dentro del sistema. En un artículo reciente, Russell Stannard discute las implicaciones de la unificación de la física:

Una teoría de todo genuina, debe explicar no solo como el universo devino en su existencia, sino porqué es el único tipo de universo que pudo haber sido – porqué podría haber habido un único conjunto de leyes físicas.

Este objetivo creo que es ilusorio. ... Su inherente, inevitable pérdida de completitud debe reflejarse a sí misma en cualquier modelo matemático de nuestro universo. Como criaturas pertenecientes al mundo físico deberíamos estar incluidos como parte del modelo. Se deduce que nunca seríamos capaces de justificar la elección de los axiomas en el modelo – y consecuentemente las leyes físicas las cuales correspondan a ese modelo. Ni seríamos capaces de explicar todas las afirmaciones verdaderas que pudieran ser hechas sobre el universo.¹¹⁹

John Barrow también examina la limitación que el teorema de Gödel implica para una Teoría de Todo, y concluye que tal teoría sería “más que suficiente para desenmarañar las sutilizas de un Universo como el nuestro....No hay fórmula que puede proveer toda la verdad, toda la armonía, toda la simplicidad. Ninguna Teoría de Todo podrá nunca proveer toda la perspicacia. Para ver a través de todo nos dejará viendo nada en absoluto”¹²⁰

Por lo tanto la búsqueda de una Teoría de Todo genuinamente única que pueda eliminar toda contingencia y demostrar que el mundo debe necesariamente ser como es, parece estar condenada al fracaso por causa de la consistencia lógica. Ningún sistema racional puede probarse ser a la vez consistente y completo. Permanecerá siempre alguna apertura, algún misterio elemental, algo inexplicado. El filósofo Thomas Torrance reprende severamente a aquellos que caen en la tentación de creer que el universo es “alguna clase de *perpetum mobile*”, una magnitud auto existente, auto soportante, auto explicativa, completamente consistente y completa en sí misma y por lo tanto atrapada dentro de una circularidad sin sentido de necesidades sin salidas.” Advierte que “no hay razón intrínseca en el universo por la que deba existir en absoluto, o porque deba ser como es: por lo tanto nos engañamos a nosotros mismos si pensamos que podremos establecer que el universo podría sólo ser lo que es.”¹²¹

¿Es posible que las leyes de nuestro universo, si bien no lógicamente únicas, sean no obstante las únicas leyes posibles que puedan también dar origen a la complejidad? Quizá nuestro universo sea el único posible en el cual la biología es permitida y por lo tanto en el cual pudieran aparecer organismos conscientes. Este podría ser el único posible universo *cognoscitivo*. O, volviendo a la cuestión de Einstein si Dios tuvo alguna elección en su creación, la respuesta podría ser no, al menos que quisiera pasar inadvertido. Esta posibilidad es mencionada por Stephen Hawking en su libro *Una breve historia del tiempo*: “Podría haber sólo una, o un pequeño numero, de teorías completamente unificadas, como la heterogénea teoría de cuerdas, que es auto consistente y permite estructuras tan complicadas como los seres humanos que pueden investigar las leyes de la naturaleza y preguntarse acerca de la naturaleza de Dios.”¹²²

¹¹⁹ “No Faith in the Grand Theory” by Russell Stannard, The Times (London), 13 November 1989

¹²⁰ *Theories of Everything: The Quest for Ultimate Explanation* by Jon Barroww (Oxford University Press, Oxford, 1991 p. 36.

¹²¹ *Divine and Contingent Order* by Thomas Torrance (Oxford University Press, Oxford, 1981), p. 36

¹²² *A Brief History of Time* by Stephen w. Hawking (Bantam, London and New York, 1988), p. 174

Podría ser que no haya un impedimento lógico para esta proposición más débil; no lo sé. Pero sí sé que no hay absolutamente ninguna evidencia a favor de ella. Podría tener sentido quizás que viviéramos en universo cognoscitivo *más simple posible* – esto es, que las leyes de la física fueran el conjunto *más simple posible* lógicamente auto consistente que permita sistemas auto reproducibles. Pero aún este objetivo disminuido parece inalcanzable. Como hemos visto en el capítulo 4, hay mundos de autómatas celulares en los cuales la auto reproducción puede ocurrir, y las reglas de definición de esos mundos son tan simples que es difícil imaginar que las leyes de la física finalmente unificadas pudieran ser más simples.

Permítame ahora ir a un problema más serio con el argumento del “universo único”, uno que a menudo es encubierto. Aún si las leyes de la física fueran únicas, no se deduce de ello que el universo físico sea único. Como expliqué en el capítulo 2, las leyes de la física deben ser aumentadas con las condiciones iniciales cósmicas. Un posible conjunto de condiciones iniciales es la propuesta de [Hartle y Hawking](#) discutido al final de ese capítulo. Ahora, a pesar que pudiera ser la elección natural, es sólo una en un infinito rango de elecciones posibles. No hay nada en las ideas presentes sobre “leyes de condiciones iniciales” que remotamente sugiera que su consistencia con las leyes de la física pudiera implicar unicidad. Lejos de ello. El mismo Hartle ha argüido que hay razones profundas de principio para que no haya leyes únicas: “Nosotros construimos nuestras teorías como parte del universo, no fuera de él, y este hecho debe limitar inevitablemente las teorías que construimos. Una teoría de condiciones iniciales, por ejemplo, deberá ser lo suficientemente simple como para que pueda ser almacenada dentro del universo.”

Al conducir nuestra ciencia, movilizamos materia. Aún el proceso de pensar involucra el disturbio de los electrones en nuestro cerebro. Esos disturbios aunque minúsculos no obstante afectan el destino de otros electrones y átomos en el universo. Hartle concluye: “En vista de esto debe haber muchas teorías de condiciones iniciales dadas indistinguibles por el acto de construirlas.”¹²³

Otra mosca en el ungüento concierne a la naturaleza fundamentalmente cuántica del mundo, con su indeterminismo inherente. Todo candidato a Teoría de Todo debe incorporar este principio, lo que implica que la mejor de dichas teorías podría ser capaz de asegurar alguna clase de mundos más probables. El mundo real podría diferir en una miríada de formas impredecibles en la escala subatómica. Esto podría ser un factor importante aún en escala macroscópica. Un solo encuentro subatómico, por ejemplo, puede producir una mutación biológica que pudo alterar el curso de la evolución.

Orden Contingente

Parece, entonces, que el universo físico no tiene que ser necesariamente de la forma que es, podría haber sido de otra manera. Al final de cuentas es la presunción de que el universo es *a la vez* contingente e inteligible que provee la motivación para la ciencia empírica. Porque sin la contingencia podríamos en principio ser capaces de explicar el universo usando sólo la deducción lógica, sin siquiera observarlo. Y sin la inteligibilidad no habría ciencia. “Es la combinación de contingencia e inteligibilidad,” escribe el filósofo Ian Barbour, “la que nos incita a la búsqueda de nuevas e inesperadas formas de orden racional.”¹²⁴ Barbour señala que la contingencia del mundo es cuádruple. Primero, las leyes de la física mismas parecen ser contingentes. Segundo, Las condiciones cosmológicas iniciales podrían haber sido de otra manera. Tercero, sabemos de la mecánica cuántica que “Dios juega a los dados” – por ejemplo, hay un elemento fundamentalmente estadístico en la naturaleza. Finalmente, está el hecho que el universo existe. Después de todo, no importa cuán abarcativas nuestras teorías del universo puedan ser, no hay obligación para que el mundo instancie esas teorías. Este último punto ha sido vívidamente expresado por Stephen Hawking: “**¿Porqué el mundo se ha tomado toda esta molestia para existir?**” Pregunta. “**¿Qué es eso que respira fuego en las ecuaciones y crea un universo para que ellas lo describan?**”¹²⁵

Creo que hay también un quinto tipo de contingencia, el cual es encontrado en las leyes de “más alto nivel” asociadas con las propiedades organizacionales de los sistemas complejos. He dado una explicación completa de lo que quiero decir con esas leyes en mi libro *The Cosmic Blueprint*, por lo

¹²³ “Excess Baggage” by James Hartle, in *Elementary Particles and the Universe: Essays in Honour of Gell-Mann* (ed. John H. Schwarz, Cambridge University Press, Cambridge, 1991), ISBN: 0521412536

¹²⁴ “Ways or Relating Science and Theology” by Ian Barbour, in *Physics, Philosophy and Theology* (eds. Russel et al), p. 34

¹²⁵ *Brief History* by Hawking, p. 174

tanto me limitaré sólo a algunos ejemplos. Ya he mencionado las leyes genéticas de Mendel, las cuales perfectamente consistentes con las leyes subyacentes de la física, no pueden ser derivadas de las leyes de la física. De la misma forma, las varias leyes y regularidades encontradas en los sistemas caóticos, o en sistemas auto organizativos, dependen no sólo de las leyes de la física, sino también de la naturaleza específica de los sistemas concernidos. En muchos casos las formas precisa de los patrones de comportamiento adoptados por esos sistemas dependen de alguna microscópica fluctuación accidental, y deben ser por lo tanto considerados a priori indeterminísticos. Esas leyes y regularidades de alto nivel por lo tanto poseen importantes características contingentes por encima y más allá de las leyes usuales de la física.

El gran misterio sobre la contingencia no es tanto que el mundo pudiera haber sido de otra manera, sino que es contingentemente *ordenado*. Esto es forzosamente más visible en el reino biológico, donde los organismos terrestres son claramente contingente en sus formas particulares (podrían fácilmente haber sido diferentes), aún más donde hay un orden conspicuo y difundido en la biosfera. Si los objetos y eventos en el mundo fueran meramente fortuitos y puestos sin un orden especialmente significativo, su orden particular aún sería misterioso. Pero el hecho que las características contingentes del mundo estén también ordenadas de acuerdo a patrones es sin duda profundamente revelador.

Otra característica altamente relevante de la contingencia ordenada del mundo concierne a la naturaleza de dicho orden, el cual es tal que le concede una unidad racional al cosmos. Más aún, este orden holístico es *intelligible* para nosotros. Estas características hacen el misterio mucho, mucho más profundo. Pero cualquiera sea su explicación la empresa científica entera está cimentada en sobre él. "Es la combinación de contingencia, racionalidad, libertad y estabilidad del universo," escribe Torrance, "las cuales le dan su carácter extraordinario, y hacen la exploración científica del universo no sólo posible, sino obligatoria para nosotros. ... Es a través de confiar en la unión indisoluble entre contingencia y orden en el universo, que las ciencias naturales han podido operar con la interconexión distintiva entre experimento y teoría que ha caracterizado nuestro más grandes avances en el conocimiento del mundo físico."¹²⁶

Mi conclusión, entonces, es que el universo físico no está compelido a existir tal como es, podría haber sido de otra manera. En ese caso volvemos al problema de porqué es como es. ¿Qué clase de explicación podríamos buscar para su existencia y su forma extraordinaria?

Permítaseme primero plantear un intento más bien trivial de explicación que a veces es propuesto. Ha sido argüido por algunos que todo en el universo puede ser explicado en términos de otra cosa, y esta en términos de otra cosa nuevamente, y así siguiendo una cadena infinita. Como mencioné en el Capítulo 2, algunos defensores de la teoría del estado no transitorio han usado este razonamiento, sobre la base que el universo no tiene ni origen en el tiempo en esa teoría. No obstante es bastante erróneo suponer que una cadena infinita de explicaciones es satisfactoria sobre la base de que cada miembro de la cadena es explicado por el siguiente miembro. Uno es aún dejado con el misterio de porqué esa cadena *particular* es la que existe, o porqué es que existe una cadena. Leibniz expresó este punto elocuentemente invitándonos a considerar un conjunto infinito de libros, cada uno copiado del que lo antecede. Decir que el contenido del libro está por lo tanto explicado es absurdo. Aún tenemos derecho a preguntarnos quien es el autor.

Me parece que si uno persevera con el principio de razón suficiente, y demanda una explicación racional para la naturaleza, entonces no tenemos más opción que buscarla en algo más allá o fuera del mundo físico – en algo metafísico – porque, como hemos visto, un universo contingente no puede contener dentro de él una explicación para sí mismo. ¿Qué clase de agencia metafísica podría ser capaz de crear un universo? Es importante prevenirse contra la imagen ingenua de un Creador produciendo un universo en algún instante en el tiempo por medios supernaturales, como un mago extrayendo un conejo de una galera. Como he explicado en extenso, la creación no consiste meramente en causar el big. bang. En cambio estamos en la búsqueda de algo más sutil, la noción de creación atemporal la cual, usando la frase de Hawking, respira fuego en las ecuaciones, y entonces promueve lo meramente posible a la existencia real. Esta agencia es creativa en el sentido de ser responsable de alguna manera por las leyes de la física, las cuales gobiernan, entre otras cosas, como evoluciona el espacio – tiempo.

Naturalmente que los teólogos arguyen que esa agencia creativa que provee una explicación para el universo es Dios. ¿Pero qué clase de agencia sería ese ser? Si Dios fuera una mente (o Mente),

¹²⁶ Divine and Contingent Order by Torrance, pp. 21, 26

podríamos describirlo más bien como a una persona. Pero no todos los teólogos aceptan la necesidad de esto. Algunos prefieren pensar en Dios como Ser en Sí Mismo o como una Fuerza Creativa, más que como una Mente. Ciertamente puede ser que esas mentes o fuerzas no sean las únicas agencias que tengan potencia creativa. El filósofo John Leslie ha argumentado que un "requerimiento ético" podría hacer el trabajo, una idea que él traza hacia atrás hasta Platón. En otras palabras, el universo existe porque es bueno que así sea. "Creer en Dios," escribe Leslie, "se vuelve creer que el universo existe porque debe."¹²⁷ La idea parece extraña. ¿Cómo puede un "requerimiento ético" crear el universo? Permítanme repetir, no obstante, que aquí no estamos hablando de una creación en el sentido causal, mecánico como cuando un constructor construye una casa. Estamos hablando de "respirar fuego" en las ecuaciones que codifican las leyes de la física, promoviendo lo meramente posible a lo real. ¿Qué clase de entidades pueden "respirar fuego" en este sentido? Claramente cosas materiales y familiares no. Si fuera a haber alguna respuesta, esta tendría que ser algo bastante abstracto y extraño. No hay contradicción lógica en atribuirle potencia creativa a cualidades éticas o estéticas. Pero tampoco hay ninguna necesidad lógica de hacerlo. Leslie propone, no obstante, que puede haber un débil e ilógico sentido de necesidad involucrado: que la "bondad" puede de alguna manera ser compelida a crear un universo porque es bueno que lo haga.

Si uno está preparado para seguir con esta idea de que el universo no existe sin razón, y si por conveniencia llamamos Dios a esa razón (sea que uno tenga en mente una persona, una fuerza creativa, un requerimiento ético, o algún concepto no formulado aún), entonces la primera cuestión que tenemos que abordar es: ¿En qué sentido podría decirse que Dios es responsable por las leyes de la física (y otras características contingentes del mundo)? Para que esta noción tenga algún sentido, Dios debe de alguna manera *seleccionar* nuestro mundo entre muchas alternativas. Debe haber algún elemento de elección involucrado. Algunos universos posibles tienen que ser descartados. ¿Por lo tanto, qué clase de Dios podría ser este? Presumimos que él debe ser racional. No tienen sentido invocar a un Dios Irracional, en tal caso deberíamos también aceptar un universo irracional. Debería también ser omnipotente. Si Dios no fuera omnipotente, entonces su poder estaría limitado de alguna manera, ¿Pero qué podría restringir ese poder? Querríamos saber a su vez como esa limitación se originó, y qué determina la forma de las restricciones: exactamente qué puede y qué no puede hacer Dios. (Nótese que aún un Dios omnipotente está sujeto a las restricciones de la lógica. Dios no podría hacer un círculo cuadrado, por ejemplo) Por un razonamiento similar Dios tiene que ser perfecto, ¿Para qué produciría algún defecto? Tendría también que ser omnisciente – esto es, tendría que ser consciente de todas las alternativas lógicas posibles - por lo tanto estaría en situación de hacer una elección racional.

¿El mejor de todos los mundos posibles?

Leibniz desarrolló el argumento anterior en detalle como un intento de probar, sobre la base de la racionalidad del cosmos, que tal Dios existe. Concluyó desde este argumento cosmológico que un ser racional, omnipotente, perfecto y omnisciente debe inevitablemente elegir el mejor de todos los mundos posibles. ¿La razón? Si un Dios perfecto conscientemente selecciona un mundo que es menos que perfecto, sería irracional. Exigiríamos una explicación para esa elección peculiar. ¿Pero qué posible explicación podría ser esta?

La noción que el nuestro es el mejor de todos los mundos posibles no es aceptada por mucha gente. Leibniz (bajo el seudónimo de Dr. Pangloss) fue salvajemente satirizado por Voltaire en ese punto "¡Oh Dr. Pangloss! Si fuera este el mejor de todos los mundos posibles, ¿Cómo deberían ser los otros?" La objeción se centra usualmente en el problema de la maldad. Podemos imaginarnos un mundo en el cual, por ejemplo, no haya dolor ni sufrimiento. ¿No sería un mundo mejor?

Dejando los asuntos éticos a un lado, podría aún haber algún sentido físico en el cual el nuestro es el mejor de todos los mundos posibles. La riqueza y complejidad del mundo físico son por cierto asombrosas. A veces parece como si la naturaleza se hubiera ido "fuera de curso" al producir un universo interesante y fructífero. Freeman Dyson intentó capturar esta propiedad en su principio de máxima diversidad: las leyes de la naturaleza y las condiciones iniciales son tales que hacen al universo tan interesante como sea posible. Aquí "lo mejor" es interpretado "lo más rico", en el sentido de la mayor variedad y complejidad de los sistemas físicos. El truco consiste en hacerlo matemáticamente preciso de alguna manera.

¹²⁷ *Science and Value* by John Leslie (Basil Blackwell, Oxford, 1989), p. 1.

Recientemente los físicos matemáticos Lee Smolin y Julian Barbour han adelantado una propuesta imaginativa de cómo esto puede ser logrado. Conjeturan que hay un principio fundamental de la naturaleza que produce un universo máximamente variado. Esto significa que las cosas se han dispuesto a sí mismas para producir la más grande variedad, en algún sentido a ser definida precisamente. Leibniz propuso que el mundo exhibía la máxima variedad de sujetos al más alto grado de orden. Tan impresionante como suena, no aporta mucho al menos que pueda dársele un claro significado matemático. Smolin y Barbour partieron de esto, aunque de una manera modesta. Definieron "variedad" para el sistema más simple concebible: un conjunto de puntos unidos por una red de líneas, como el mapa de rutas de una línea aérea. Los matemáticos llaman a esto un "grafo." Los puntos y líneas no tienen porqué corresponder a objetos en el espacio real, representan alguna clase de Interconectividad abstracta que puede ser estudiada por sí sola. Obviamente habrá grafos simples y complicados, dependiendo de la manera en que las líneas son colocadas en él. Es posible encontrar grafos que sean en algún sentido bien definido los más variados vistos desde todos los sitios (puntos) diferentes. El desafío consiste en relacionar todo esto con el mundo real. ¿Qué son esas líneas y puntos? La sugerencia es que son alguna clase de representación abstracta de partículas en el espacio tridimensional, y que la noción de distancia entre partículas podría emerger naturalmente de las relaciones del grafo. En esta etapa la idea permanece bastante incompleta, pero muestra al menos la clase de cosas que los teóricos pueden hacer para ensanchar sus horizontes en su aproximación a la naturaleza de las leyes físicas.

Otras formas de optimización pueden ser imaginadas, diferentes maneras en las cuales podemos ser el mejor de todos los mundos posibles. He mencionado que las leyes de la física son como un código cósmico, un "mensaje" crípticamente grabado en los datos de nuestras observaciones. John Barrow ha especulado que las leyes particulares de nuestro universo pueden representar cierta clase de codificación óptima. Ahora, la mayoría de lo que los científicos conocen sobre códigos y transmisión de la información es consecuencia del trabajo del pionero Claude Shannon en tiempos de la segunda guerra mundial, cuyo libro sobre teoría de la información se volvió un clásico. Uno de los problemas que Shannon abordó fue el efecto que tiene en un mensaje transmitirlo a través de un canal ruidoso. Todos sabemos cómo el ruido en una línea telefónica puede hacer difícil la conversación, bastante generalmente, el ruido degrada la información. Pero el problema puede ser resuelto codificando el mensaje con la redundancia apropiada. Este es el principio que está detrás de algunos modernos sistemas de comunicación. Barrow extendió la idea a las leyes de la naturaleza. La ciencia es después de todo un diálogo con la naturaleza. Cuando hacemos experimentos, estamos en algún sentido interrogando a la naturaleza. Más aún, la información que recibimos nunca es prístina, está degradada por toda clase de "ruido" llamado error experimental, provocado por muchos factores. Pero como he enfatizado la información de la naturaleza no es texto plano; está codificada. La propuesta de Barrow es que este código cósmico puede estar estructurado especialmente para optimizar transmisión de la información en analogía con la teoría de Shannon: "Para garantizar una fidelidad de la señal arbitrariamente alta el mensaje debe ser codificado de una forma especial. ... De una forma extrañamente metafórica la Naturaleza parece haber sido 'encriptada' en alguna de esas formas convenientes."¹²⁸ Esto podría explicar nuestro éxito notable en decodificar el mensaje y descubrir leyes generalizadas.

Otro tipo de optimización relacionada con la forma matemática de las leyes de la naturaleza concierne a su frecuentemente citada simplicidad. Einstein lo resumió escribiéndolo así: "Nuestra experiencia hasta ahora nos justifica creer que la naturaleza es la realización de las ideas matemáticas más simples."¹²⁹ Esto es ciertamente misterioso. "Es suficientemente enigmático que el mundo sea descripto por la matemática," Escribe Barrow, "pero por matemática *simple*, de la clase que unos pocos años de estudio energético son suficientes para familiarizarse con ella, es un misterio dentro del enigma."¹³⁰ ¿Por lo tanto vivimos en el mejor de los mundos posibles en el sentido que tiene la descripción matemática más simple posible? Antes en este capítulo di las razones por las que pienso que no. ¿Qué acerca del mundo más simple posible que permita la existencia de complejidad biológica? De nuevo, como ya he explicado, pienso que la respuesta es no, pero esto es al menos una conjectura abierta a la investigación científica. Podemos escribir las ecuaciones de la física y luego jugar con ellas un poco para ver qué diferencia hacen. De esta forma los teóricos pueden construir modelos artificiales del universo para comprobar matemáticamente si ellos pueden soportar la vida. Para estudiar esta cuestión se ha

¹²⁸ *The World Within the World* by Barrow p. 292

¹²⁹ Ibid., p. 349

¹³⁰ *Theories of Everything* by Barrow, p. 2

invertido un esfuerzo considerable.-La mayoría de los investigadores concluyen que la existencia de sistemas complejos, especialmente los sistemas biológicos, es notablemente sensible a la forma de las leyes de la física, y esto hace que en algunos casos el más mínimo de los cambios haga naufragar la posibilidad de aparición de vida, al menos en la forma en que la conocemos. Este tópico se conoce con el nombre del Principio Antrópico, porque relaciona nuestra existencia como observadores del universo a las leyes y condiciones del mismo. Volveré sobre esto en el capítulo 8.

Por supuesto, exigir que las leyes admitan organismos conscientes puede ser en algún caso chauvinista. Podría haber mucha maneras en que las leyes fueran especiales, y que poseyeran toda clase de propiedades matemáticas de las cuales estemos aún inadvertidos. Hay muchas cantidades obscuras que pudieran ser maximizadas o minimizadas estas leyes particulares. Simplemente no lo sabemos.

La belleza como guía hacia la verdad

Hasta ahora me he explayado en matemática. Pero quizá las leyes se distingan de otra forma más sutil como su valor estético. Es ampliamente creído entre los científicos que la belleza es una guía confiable hacia la verdad, y muchos avances en física teórica han sido hechos demandando elegancia matemática a la nueva teoría. Algunas veces, cuando las pruebas de laboratorio son difíciles, ese criterio estético es considerado aún más importante que el experimento. Einstein, mientras discutía una prueba experimental de su teoría de la relatividad fue una vez interrogado acerca de que ocurriría si el experimento no coincidía con la teoría. El se mostró imperturbable ante la posibilidad "Entonces mucho peor para el experimento", respondió. "¡La teoría es correcta!" Paul Dirac, el físico teórico cuya deliberación estética lo condujo a construir una ecuación matemáticamente más elegante para el electrón, la cual a su vez condujo a la predicción exitosa de la antimateria, repitió estos sentimientos cuando juzgó que "es más importante tener belleza en una ecuación que ésta se ajuste a un experimento."

La elegancia matemática no es un concepto fácil de expresar a aquellos que no están familiarizados con la matemática, pero es entusiastamente apreciado por los científicos profesionales. Como todos los juicios sobre los valores estéticos es altamente subjetivo. Nadie ha inventado un "medidor de belleza" que pueda medir el valor estético de las cosas sin referirse al criterio humano. ¿Puede uno realmente decir que ciertas formas matemáticas son intrínsecamente más bellas que otras? Quizá no. En este caso es muy extraño que la belleza sea tan buena guía en la ciencia. ¿Por qué las leyes del universo debieran parecer hermosas a los humanos? No hay duda que hay ciertos factores biológicos y psicológicos trabajando en estructurar nuestra impresión de lo que es bello. No es una sorpresa que las formas femeninas son atractivas a los hombres, por ejemplo, y las líneas curvas de muchas esculturas hermosas, pinturas, y estructuras arquitectónicas tienen sin duda referencias sexuales. La estructura y la operación del cerebro pueden también dictar que es placentero a nuestros ojos y oídos. La música puede reflejar ritmos cerebrales de alguna manera. De todas formas, sin embargo, hay algo curioso aquí. Si la belleza es programada enteramente en forma biológica, seleccionada sólo por su valor de supervivencia, es de lo más sorprendente ver que re emerge en el mundo esotérico de la física fundamental, que no tiene conexiones con la biología. Por otro lado, si la belleza es más que biología en funcionamiento, y nuestra apreciación estética es consecuencia del contacto con algo más firme y propagado, entonces es seguramente un hecho muy significante que las leyes fundamentales del universo parezcan reflejar esa "cosa."

Anteriormente hemos visto como algunos científicos distinguidos han expresado el sentimiento de que su inspiración provino de alguna forma de contacto mental con un reino Platónico de formas matemáticas y estéticas. Roger Penrose en particular es franco sobre su creencia en la mente creativa "irrumpiendo" en el reino Platónico para vislumbrar formas matemáticas que son de alguna manera hermosas. Efectivamente él cita a la belleza como un principio guiator en muchos de sus trabajos matemáticos. Puede parecer sorprendente a lectores que tienen una imagen de la matemática como una disciplina impersonal, fría, seca y rigurosa. Pero como Penrose explica: "Los argumentos rigurosos son usualmente el último paso! Antes uno ha tenido que hacer muchas suposiciones, y para ellos las convicciones estéticas con enormemente importantes.¹³¹

¹³¹ *The Emperor's New Mind: Concerning Computers, Minds and the Laws of Physics* by Roger Penrose (Oxford University Press, Oxford 1989) p 421

¿Es Dios Necesario?

*"El hombre tiene dos ojos
 Uno sólo ve lo que se mueve fugaz en el
 tiempo
 El otro
 Lo que es eterno y divino"*

El Libro de Angelus Silesius

Continuando con la cuestión de si, y en que sentido, podríamos estar viviendo en el mejor de todos los mundos posibles, tenemos que confrontar un problema más profundo aún. Poniéndolo simplemente, si el universo realmente tiene una explicación y no puede explicarse a sí mismo, entonces debe ser explicado por algo externo a él – por ejemplo, Dios. ¿Pero qué, entonces, explica a Dios? Este dilema de todos los tiempos de “quien hizo a Dios” nos pone en peligro de ser atrapados en una regresión infinita. La única escapatoria, parecería, es asumir que Dios de alguna manera puede “explicarse a sí mismo”, lo cual es decir que Dios es un ser necesario en el sentido técnico que expliqué al principio de este capítulo.¹³² Más precisamente, si Dios provee la razón suficiente¹³³ para el universo, entonces sigue de ello que Él mismo debe ser necesario, porque si Dios fuera contingente, entonces la cadena de explicaciones todavía estaría sin terminar, y podríamos querer saber cuales fueron los factores detrás de Dios de los cuales su existencia y naturaleza dependieron. ¿Pero podría tener sentido para nosotros la noción de un ser necesario, un ser que contenga enteramente dentro de él la razón para su propia existencia? Muchos filósofos han argumentado que la idea es incoherente o sin sentido. Ciertamente los seres humanos no somos capaces de comprender la naturaleza de tal ser. Pero eso no significa que la noción de un ser necesario es contradictoria en sí misma.

Para comenzar a captar el concepto de un ser necesario, uno puede comenzar preguntando si hay algo que sea necesario. Consideremos la siguiente declaración: “Hay al menos una proposición verdadera.” Llamemos a ésta proposición A. ¿Es A necesariamente verdadera? Supongamos que afirmo que A es falso. Llamemos a esta proposición B: “A es falsa.” Pero si A es falsa, entonces B lo es también, porque B es una proposición, y si A es falso no hay proposiciones verdadera. Por lo tanto A deber ser verdadera. Es por lo tanto lógicamente imposible que no existan proposiciones verdaderas.

Si existen proposiciones necesarias, entonces la noción de un ser necesario no es obviamente absurda. El Dios tradicional de la teología Cristiana, desarrollada en gran parte por Santo Tomás de Aquino en el siglo trece, es un ser necesario, atemporal, inmutable, perfecto y sin cambio del cual el universo depende completamente de su existencia, pero que por el contrario es totalmente no afectado por la existencia del universo. Aunque la demanda de racionalidad parece convencernos de una imagen de Dios como la última explicación del mundo, hay una seria dificultad en relacionar este Dios con un universo contingente y cambiante, especialmente un universo conteniendo seres con libre albedrío. Como expresara una vez el filósofo ateo A. J. Ayer, de proposiciones necesarias sólo se deducen proposiciones necesarias. Esta devastadora contradicción ha estado escondida al acecho en el corazón de la teología Occidental siempre desde Platón. Para Platón, como hemos visto, el mismo concepto de “racional” estaba ligado a la existencia de un mundo abstracto de Formas eternas, inmutables y perfectas, las cuales para él representan la única verdad real. Y ubicada en este reino inmutable estaba el objeto del conocimiento final, el Bien. Contrastando, el mundo directamente percibido de las cosas materiales está para siempre en un estado de flujo. La relación entre el mundo eterno de las Formas y el cambiante mundo de la materia es entonces profundamente problemática. Como expliqué en el capítulo 1, Platón propuso la existencia de un Demiurgo quien está ubicado dentro del tiempo, y quien da forma a la materia de la mejor manera que puede usando las Formas como un anteproyecto. Pero esta forma ingenua de reconciliar lo cambiante con lo Inmutable, lo imperfecto y lo Perfecto, sólo sirve para subrayar la seriedad de la paradoja conceptual que sigue los pasos de toda explicación de la contingencia.

¹³² Algo es contingente si pudo haber sido de otra forma, así que la razón de porqué es de la forma que es depende de algo más, algo más allá de sí mismo. Algo es necesario si es completamente independiente de cualquier otra cosa. Una cosa necesaria contiene su razón en si misma, y permanecería inmutable si todo lo demás fuera distinto. Necesario es lo no contingente. NT

¹³³ El “principio de razón suficiente” establece que todo en el mundo es como es por alguna razón, que el mundo es a la vez racional e inteligible NT

Es importante entender que la paradoja es más que un tecnicismo de debate teológico; es una consecuencia inevitable de ciertos métodos racionales de explicación. Descartes y sus seguidores han buscado las raíces de nuestra percepción del mundo en las bases de la certeza intelectual. Si adherimos a tal tradición, entonces en nuestra búsqueda de las formas más seguras del conocimiento somos inevitablemente guiados a conceptos atemporales como la matemática y la lógica, porque la verdad real, por definición, no puede cambiar con el tiempo. Y la fiabilidad de este reino abstracto está asegurada porque sus elementos están anclados a cada uno de los otros por la certeza de la necesidad lógica. Sin embargo el mismo mundo de experiencias que buscamos explicar es dependiente del tiempo y contingente.

La tensión que este desajuste genera impregna la ciencia como seguramente la religión. Vemos en la confusión sin fin que nos rodea intentos de reconciliar las leyes eternas de la física con la existencia de una "flecha del tiempo" en el universo. Vemos en fieros debates sobre cuadrar la evolución biológica progresiva con la mutación adireccional. Y vemos en el choque de los paradigmas que acompañan los trabajos recientes de sistemas auto organizativos, la recepción hostil que indica prejuicios culturales profundamente arraigados.

La única contribución del pensamiento Cristiano a esta tensión es la doctrina de creación *ex nihilo*, la cual introduce en el capítulo 2. Aquí hubo un meritorio intento de quebrar la paradoja proponiendo un ser atemporal y necesario quien por el poder divino trajo a la existencia un universo material (no dentro del tiempo) como un acto de libre elección. Declarando que la creación es algo distinto al Creador, algo que Dios no tenía que crear pero eligió hacerlo, los Cristianos escaparon de las restricciones del esquema alternativo de divina emanación, donde el universo físico deriva directamente de la esencia de Dios y por lo tanto impregnado de sus propiedades necesarias. El elemento clave que se introduce aquí es la Voluntad divina. Por definición el libre albedrío conlleva la contingencia, porque decimos que una elección es libre sólo si pudiese haber sido de otra manera. Por lo tanto, si Dios es dotado con la libertad de elegir entre mundos alternativos posibles, la contingencia del mundo real queda explicada. No obstante la demanda de inteligibilidad es preservada atribuyéndole a Dios una naturaleza racional, por lo tanto asegurando una elección racional.

Esto parece ser un real progreso. Parece como si la creación *ex nihilo* resuelve la paradoja de cómo un mundo cambiante y contingente puede ser explicado por un ser necesario y atemporal. Desgraciadamente, a pesar del esfuerzo de generaciones de filósofos y teólogos para desarrollar esta idea en un esquema coherente, permanecen obstáculos mayores. El principal en entender porqué Dios eligió crear este mundo particular sobre otros. Cuando los seres humanos elegimos libremente, su elección está coloreada por nuestra naturaleza. ¿Por lo tanto, que podemos decir sobre la naturaleza de Dios? Presumiblemente que está determinada por su necesidad. En primer lugar no queremos contender con la posibilidad de que pudiera haber diferentes tipos de Dios, porque entonces no hubiéramos ganado nada invocándolo. Nos quedaríamos con el problema de explicar porqué ese Dios particular existe en vez de otro. Toda la idea de invocar a Dios es como un ser *necesario* es para asegurar que es único: su naturaleza no podría haber sido de otra manera. ¿Pero si la naturaleza de Dios es determinada por su necesidad, podría él haber elegido crear un universo diferente? Sólo si su elección no fuera racional en absoluto, sino caprichosa, el equivalente teísta de echar una moneda. Pero en ese caso la existencia es arbitraria, y podríamos también estar conteniendo con un universo arbitrario.

El filósofo Keith Ward hizo un estudio detallado entre el choque de la necesidad de Dios y la contingencia del mundo. Él resume este dilema esencial como sigue:

Primero de todo, Si dios es realmente auto suficiente, como el axioma de inteligibilidad parece requerir de él, ¿Cómo puede ser que él crease un mundo? Parece ser un ejercicio arbitrario y sin sentido. Por otro lado, ¿si Dios realmente es un ser inmutable y necesario, como puede tener libre elección?; seguramente todo lo que ha hecho tuvo que ser hecho por necesidad y sin ninguna posibilidad de alteración El viejo dilema – o los actos de Dios son necesarios y por lo tanto no libres (que no podrían ser de otra manera), o los mismos son libres y por lo tanto arbitrarios (nada determina como debieran ser) – ha sido suficiente como para perturbar a la gran mayoría de los filósofos Cristianos de todas las épocas..¹³⁴

El problema es, que de cualquier forma que se corte la torta, se vuelve a la misma dificultad básica, que la verdadera contingencia no surge de la entera necesidad:

¹³⁴ Rational Theology and the Creativity of God by Kevin Ward (Pilgrim Press, Princeton, 1988), p. 588

Si Dios es el creador o causa de un mundo contingente, él debe ser contingente y temporal; pero si Dios es un ser necesario, entonces todo lo que él cause de ser necesariamente causado sin cambios. En esta roca ambas interpretaciones del teísmo se hunden. La demanda de inteligibilidad requiere de la existencia de un ser necesario, inmutable y eterno. La Creación parece demandar un Dios contingente y temporal, quién interactúa con la creación y no es, por lo tanto, auto suficiente. ¿Pero como se puede tener a ambos?¹³⁵

Y en otra parte:

¿Cómo puede un ser que es necesario e inmutable tener el poder de hacer todo? Siendo necesario, no podría hacer otra cosa que la que hace. Siendo inmutable, no podría hacer nada nuevo ni original. ... Aún si la creación pudiera ser vista como un acto Divino y atemporal, la dificultad real permanece, que, siendo Dios totalmente necesario, éste sería un acto necesario, el cual no podría haber sido distinto de ninguna manera. Esta visión está todavía en tensión con la hebra central de la tradición Cristiana: nominalmente que Dios no necesitaba haber creado el universo, y que no necesitaba haber creado precisamente este universo. ¿Cómo puede un ser necesario ser libre de alguna manera?¹³⁶

El mismo punto es señalado por Schubert Ogden:

Los teólogos usualmente nos dicen que Dios creó al mundo libremente, tal como el mundo contingente y no necesario que nuestra experiencia nos revela. ... Al mismo tiempo, a causa de su férreo compromiso con lo supuestos de la metafísica clásica, los teólogos usualmente nos dicen que el acto creativo de Dios tiene su esencia eterna, el cual es en necesario en todo aspecto, excluyente de toda contingencia. Por lo tanto, si tomamos sus palabras, dándole el mismo peso a ambas afirmaciones, nos encontraremos en la contradicción sin esperanza de una creación totalmente necesaria de un mundo totalmente contingente..¹³⁷

Se han escrito volúmenes por teólogos y filósofos en un intento de quebrar esta flagrante contradicción. Por razones de espacio me limitaré a discutir una ruta de escape en particular que es bastante obvia.

Un Dios Bipolar y la Nube de Wheeler

Como hemos visto, Platón confrontó la paradoja de la necesidad versus contingencia proponiendo dos dioses, uno necesario, el otro contingente: el Dios y el Demiurgo. Quizás las demandas de monoteísmo puedan ser satisfechas argumentando que esta situación pueda ser legítimamente descripta como realmente dos aspectos complementarios de un solo Dios “bipolar.” Esto es la posición adoptada por los proponentes de lo que se conoce como “teología de proceso.”

El pensamiento de Proceso es un intento de ver el mundo no como una colección de objetos, ni aún como un conjunto de eventos, sino como un *proceso* con una direccionalidad definida. El flujo del tiempo por lo tanto juega un papel clave en la filosofía de proceso, la cual afirma la primacía del *devenir* sobre el *ser*. En contraste con la visión mecanicista del universo que surge del trabajo de Newton y sus asociados, la filosofía del proceso enfatiza la apertura e indeterminismo de la naturaleza. El futuro no está implícito en el presente: hay elección de alternativas. Por tanto se le atribuye a la naturaleza cierta clase de libertad que estaba ausente en el universo de relojería de Laplace. Esta libertad aparece por el abandono del reduccionismo: el mundo es más que la suma de sus partes. Debemos rechazar la idea de que un sistema físico, como una roca o una nube o una persona, es *nada más* que una colección de átomos, y reconocer en cambio la existencia de muchos niveles diferentes de estructuras. Un ser humano por ejemplo, ciertamente es una colección de átomos, pero hay muchos niveles superiores de organización que se pierden por esa pobre descripción y las cuales son esenciales para definir qué significamos con la palabra “persona.” Viendo los sistemas complejos como una jerarquía de niveles organizacionales, la visión simple de causalidades de “lo particular a lo general”¹³⁸ en término de partículas elementales interactuando una con otra, debe ser reemplazada por otra formulación mucho más sutil, en las cuales los niveles superiores pueden actuar también hacia abajo sobre los niveles

¹³⁵ Ibid., p. 349

¹³⁶ Ibid., pp. 216-17

¹³⁷ *The Reality of God*, by Schubert M. Ogden (SCM Press, London, 1967), p. 17.

¹³⁸ “bottom-up” en el original NT

inferiores. Esto sirve para introducir elementos de teleología, o comportamiento objetivo en los asuntos del mundo. El pensamiento de proceso conduce naturalmente a una visión orgánica o ecológica del universo, reminiscente de la cosmología Aristotélica. Ian Barbour describe la mirada de proceso de la realidad como la visión de que el mundo es una comunidad de seres interdependientes más que una colección de engranajes en una máquina.

A pesar que el hilo conductor del pensamiento de proceso tiene un lugar largamente establecido en la historia de la filosofía, ha sido solamente en los años recientes, que se ha puesto de moda en la ciencia. La aparición de la física cuántica en la década del 30 puso fin a la idea que el universo fuera una máquina determinística, pero los trabajos recientes en caos, auto organización y teoría de los sistemas no lineales han sido más influyentes. Estos tópicos han forzado a los científicos a pensar más y más sobre sistemas *abiertos*, los cuales no están rígidamente determinados por sus partes componentes porque pueden ser influidos por entorno. Típicamente los sistemas abiertos, complejos, pueden tener una sensibilidad increíble a las influencias externas, y esto hace su comportamiento impredecible, otorgándoles cierto tipo de libertad. Lo que ha sido una sorpresa es que los sistemas abiertos pueden también mostrar un comportamiento ordenado, siguiendo leyes de formación, a pesar de ser indeterminísticos y estar a la merced de perturbaciones externas aparentemente aleatorias. Parece haber principios organizativos generales que supervisan el comportamiento de los sistemas complejos en los niveles organizacionales más altos, principio que existen a lo largo de las leyes de la física (las cuales operan al nivel más bajo de las partículas elementales). Estos principios organizativos son consistentes con, pero no pueden ser reducidos a, o derivados de, las leyes de la física. Los científicos entonces han redescubierto la cualidad crucial de orden *contingente*. Una discusión mas detallada de estos tópicos pueden ser encontradas en *The Cosmic Blueprint* y *The Matter Myth*.

El pensamiento de proceso fue introducido en la teología por el filósofo y matemático Alfred North Whitehead, quien fue coautor con Bertrand Russell del fundamental e inspirador trabajo *Principia Matemática*. Whitehead propuso que la realidad física es una red uniendo lo que él llamó "ocasiones reales", siendo éstas más que meros eventos, porque están investidas con una realidad y percepción interna que se pierden en la visión mecanicista del mundo. El punto central en la filosofía de Whitehead es que Dios es responsable por ordenar el mundo, no a través de una intervención directa, sino proveyendo varias potencialidades las cuales el universo físico es luego libre de concretar. De esta forma, Dios no compromete la apertura e indeterminismo esenciales del universo, pero está no obstante en una posición de alentar una tendencia hacia el bien. Trazas de esta sutil e indirecta influencia pueden ser discernidas en la naturaleza progresiva de la evolución biológica, por ejemplo, y en la tendencia del universo de auto organizarse en una rica variedad de formas cada vez más complejas. Whitehead por lo tanto reemplaza la imagen monárquica de Dios como un regidor y creador omnipotente por aquella de un participante en el proceso creativo. Ya no es autosuficiente e inmutable, pero sí influyente e influido por la reveladora realidad del universo físico. Por otra parte Dios no está por lo tanto completamente incluido en el transcurso del tiempo. Sus características básicas y propósitos permanecen inmutables y eternos. De esta manera la atemporalidad y la temporalidad están combinadas en una sola entidad.

Algunas personas afirman también que un Dios "bipolar" podría también combinar necesidad y contingencia. Aceptar esto significa no obstante renunciar a toda esperanza de que Dios pueda ser simple en su divina perfección, como supuso Aquino. Keith Ward, por ejemplo, ha propuesto un modelo complejo para la naturaleza de Dios, algunas partes de la cual podrían ser necesarias y otras contingentes. Tal Dios, aunque necesariamente existente, es no obstante cambiado por su creación, y por su propia acción creativa, lo cual incluye un elemento de apertura o libertad.

Debo confesar que he tenido que luchar duramente para entender la convolución filosófica necesaria para justificar un Dios bipolar. La ayuda vino, no obstante, de una fuente inesperada: la física cuántica. Permítanme reiterar una vez más el mensaje central de la incertidumbre cuántica. Una partícula como un electrón no puede tener bien definidos la posición y su *momentum*¹³⁹ al mismo tiempo. Ud. puede hacer una medición de la posición y obtener un valor preciso, pero en ese caso el valor del *momentum* será completamente incierto, y viceversa. Para un estado cuántico general, es imposible decir con anticipación que valor se obtendrá mediante una medición: sólo se pueden asignar probabilidades. Por lo tanto cuando uno está haciendo una medición de la posición en tal estado, está disponible un rango de resultados. El sistema es por lo tanto indeterminístico – uno podría decir, libre de elegir entre un rango de posibilidades - y el resultado real es contingente. Por otro lado, el experimento determina si la

¹³⁹ *momentum* cantidad de movimiento NT

medición será de posición o de *momentum* por lo tanto la clase de alternativas (por ejemplo, un rango de valores de posición o un rango de valores de momentum) es decidido por un agente externo, En tanto al electrón le concierne, la naturaleza de las alternativas está fijada necesariamente, mientras que la alternativa realmente adoptada es contingente.

Para hacer esto más claro, permítanme narrar una parábola debida a John Wheeler. Wheeler fue inconscientemente objeto de una variante del juego de las veinte preguntas. Recordemos que, en el juego convencional los jugadores acuerdan en una palabra, y el sujeto trata de adivinar la palabra preguntando hasta veinte preguntas. Sólo puede responderse Sí o No. En la versión variante, Wheeler comenzó preguntando las preguntas usuales: ¿Es grade? ¿Está vivo? etc. Al principio las respuestas vinieron rápidamente, pero a medida que el juego avanzó, las mismas se tornaron lentes y más dubitativas. Eventualmente él probó su suerte: "¿Es una nube?" La respuesta fue: "¡Sí!" Luego cada uno estalló en risas. Los jugadores revelaron que para bromear a Wheeler no habían elegido ninguna palabra anticipadamente. En cambio habían acordado responder sus preguntas por puro azar, sujetas sólo a la consistencia de las mismas con las respuestas previas. No obstante había sido obtenida una respuesta. Esta respuesta obviamente contingente no había sido determinada anticipadamente, pero tampoco era arbitraria: su naturaleza había sido decidida en parte por la preguntas que Wheeler enligó preguntar, y en parte por pura chance. De la misma manera, la realidad expuesta a mediciones cuánticas está decidida en parte por la pregunta que el experimento le hace a la naturaleza (por ejemplo si se pregunta por una posición definida o por un *momentum* definido) y en parte por chance (por ejemplo la incertidumbre de los valores obtenidos por esas cantidades).

Volvamos ahora a la analogía teológica. Esta mezcla de contingencia y necesidad corresponde a un Dios quien necesariamente determina que mundos alternativos están disponibles para la naturaleza, pero deja abierta la libertad a la naturaleza de elegir entre las alternativas. En la teología de proceso la conjectura es hacer que las alternativas estén establecidas con el propósito de alcanzar un resultado valorizado – por ejemplo, dirigen o propenden al universo (de otra forma irrestricto) a evolucionar hacia algo bueno. Aún dentro de este contexto dirigido queda apertura. El mundo es por lo tanto ni totalmente determinado ni arbitrario, pero como la nube de Wheeler, una íntima amalgama de chance y elección.

¿Tiene Dios que Existir?

Hasta ahora en este capítulo he estado trazando las consecuencias de los argumentos cosmológicos para la existencia de Dios. Estos argumentos no intentan establecer que la existencia de Dios es una necesidad lógica. Uno podría ciertamente imaginar que ni Dios ni el universo existen, o que el universo existe sin Dios. No parece haber ninguna contradicción en ninguno de estos asuntos. Por lo tanto aún en el caso que el concepto de entidad necesaria tuviera sentido, de ello no se deduce que tal ente exista, y menos aún que tenga que existir.

La historia de la teología no obstante no carece de intentos de probar que la inexistencia de Dios es lógicamente imposible. Este argumento conocido como el "argumento ontológico" se remonta a San Anselmo, y es algo como esto. Dios es definido como la cosa más grande posible. Ahora, cualquier cosa existente es obviamente más grande que la mera idea tal cosa. (Una persona real – por ejemplo, el famoso Fabián de Scotland Yard – es más grande que un personaje ficticio, como Sherlock Holmes.) Por lo tanto un dios realmente existente es mayor que un dios imaginario. Pero como Dios es la mayor cosa imaginable, se deduce que debe existir.

El hecho que el argumento ontológico huela a lógica truculenta deteriora su fuerza filosófica. De hecho ha sido tomado muy seriamente por muchos filósofos por años, incluso brevemente por el ateísta Bertrand Russell. No obstante, aún los teólogos no están generalmente bien preparados para defenderlo. Un problema yace en el tratamiento de "existencia" como si fuera una propiedad de las cosas, como la masa o el color. Ya que el argumento obliga a uno a comparar el concepto de dioses que realmente existen con el de dioses que no existen realmente. Pero la existencia no es la clase de atributo que pueda ser colocada con el resto de las propiedades físicas normales. Yo puedo hablar con sentido de tener cinco monedas pequeñas y seis grandes en mi bolsillo, pero, ¿Qué significa para mí decir que tengo cinco monedas existentes y seis inexistentes?

Otro problema adicional con el argumento ontológico es el requerimiento que Dios explique el mundo, para ello no es suficiente que exista un ser lógicamente necesario que no esté relacionado de ninguna manera con el mundo. Es difícil ver como un ser que existe en el reino de la lógica pura pueda explicar las propiedades contingentes del mundo. El argumento ontológico descansa en lo que los filósofos llaman una "proposición analítica." Una proposición analítica es una cuya verdad (o falsedad) depende puramente del significado de las palabras involucradas. Por lo tanto "Todos los bachilleres son

“hombres” es una proposición analítica. Las proposiciones que no caen en esta clase son llamadas “sintéticas”, porque hacen conexiones entre cosas que no están relacionadas meramente por definición. Ahora las teorías físicas siempre involucran proposiciones sintéticas, porque hacen afirmaciones sobre los hechos de la naturaleza que pueden ser comprobados. El éxito de la matemática en describir la naturaleza, especialmente las leyes subyacentes, puede dar la impresión (defendida por algunos, como hemos visto) que no hay nada más para el mundo que matemática, y que esta matemática es a su vez nada más que definiciones y tautologías – por ejemplo proposiciones analíticas. Creo que esta línea de pensamiento está muy mal concebida. No obstante, por duro que Ud. trate, no podrá derivar una proposición sintética de una analítica.

Immanuel Kant fue un opositor al argumento ontológico. Mantenía que, si hubiera alguna afirmación metafísica significativa, entonces deberían existir proposiciones que fueran necesariamente ciertas más allá de por la simple virtud de la mera definición. En el capítulo 1 expliqué que Kant creía que poseíamos cierto conocimiento *a priori*. Por lo tanto Kant aseveraba que debería haber alguna proposición sintética verdadera *a priori* para algún proceso de pensamiento concerniente a un mundo objetivo. Esos *a priori* sintéticos deberían ser verdaderos independientemente de las características contingentes del mundo – por ejemplo deberían ser verdaderas en cualquier mundo. Desgraciadamente los filósofos no están convencidos aún que haya alguna proposición sintética *a priori*.

Aún si no hubiera proposiciones sintéticas que fueran necesarias, hay algunas que son inobjetables. Uno podría imaginar que un conjunto de tales proposiciones podría explicar las características contingentes del mundo, tales como las formas de las leyes de la física. Mucha gente podría estar satisfecha con esto. El físico David Deutsch argumenta que, “en vez de tratar de obtener ‘algo a partir de nada’, una proposición sintética a partir de una analítica, deberíamos introducir en la física a nivel fundamental proposiciones sintéticas, las cuales tienen que ser postuladas de todas formas por alguna razón fuera de la física.” Continúa sugiriendo un ejemplo.

Una cosa que tácitamente asumimos *a priori* en la búsqueda de alguna teoría física es que el proceso físico de dicha teoría exprese y de a conocer no sea prohibido por la teoría misma. Ningún principio físico que podamos conocer puede vedarse a sí mismo para nuestro conocimiento. Que todo principio físico deba satisfacer esta propiedad altamente restrictiva es una proposición sintética *a priori*, no porque sea necesariamente verdadera, sino porque no podemos evitar asumir que lo sea en la búsqueda del conocimiento de dicho principio.¹⁴⁰

John Barrow también sugiere que hay ciertas verdades necesarias sobre un mundo que puede ser observado. Él cita varios argumentos del Principio Antrópico con los cuales busca demostrar que los organismos biológicos conscientes sólo pueden aparecer en un universo en el cual las leyes de la física tienen cierta forma especial.: “Estas condiciones ‘antropológicas’... nos orientan hacia ciertas propiedades que el Universo debe poseer *a priori*, pero las cuales no son suficientemente triviales para ser tomadas como sintéticas. Lo sintético *a priori* comienza a parecer como el requerimiento que todo principio físico cognoscible que forma parte del ‘Secreto del Universo’ debe no impedir la posibilidad de que lo conozcamos.”¹⁴¹

Keith Ward argumenta que deberíamos definir una noción más amplia de necesidad lógica. Por ejemplo, consideremos la aseveración: “Nada puede ser todo rojo y verde a la vez.” ¿Es esta declaración necesariamente cierta? Supongamos que asevero que es falsa. Mi aserción no es obviamente contradictoria en sí misma. No obstante, todavía puede ser falsa en todos los mundos posibles: que no es lo mismo que decir que es lógicamente contradictoria en sí misma en un sentido formal. La presunción que la aserción es verdadera es, en palabras de Deutch, “algo que podríamos hacer de todas formas.” Quizá, entonces, la sentencia “Dios no existe” caiga dentro de esta categoría. La sentencia podría no contradecir los axiomas de algún esquema formal de lógica proposicional, aún podría ser el caso que sea falsa en todos los mundos posibles.

Finalmente, debería ser hecha una mención de la aplicación de Frank Tipler del argumento ontológico del universo mismo (como opuesto a Dios). Tipler intenta evitar la objeción que “existencia” no es una propiedad de algo definiendo existencia de una manera inusual. En el capítulo 5 dijimos cómo Tipler defendía la noción que los mundos simulados eran para los seres simulados en ellos tan reales como nuestro mundo lo es para nosotros, aún en la menor de sus partes. Pero el señala que un programa de

¹⁴⁰ “On Wheeler’s Notion of ‘Law Without Law’ in Physics” by David Deutsch, in *Between Quantum and Cosmos: Studies and Essays in Honor of John Archibald Wheeler* (ed. Alwyn Van der Merwe et al., Princeton University Press, Princeton, 1988), p. 588

¹⁴¹ *Theories of Everything* by Barrow, p. 203

computadora es, en esencia, nada más que una representación de un conjunto de símbolos o números en otro conjunto. Uno podría considerar que todas las posibles representaciones – por lo tanto todos programas de computadora – existen en un abstracto sentido Platónico. Entre estos programas habrá muchos (posiblemente infinitos) que representan universos simulados. La cuestión es, ¿cuáles entre las muchas simulaciones computadas posibles corresponden a universos físicamente existentes? Para usar los términos de Hawking, ¿cuáles tendrán fuego infundido dentro de ellas? Tipler propone que esas simulaciones “las cuales son lo suficientemente complejas para contener observadores, - seres pensantes y sensibles- como sub simulaciones” son aquellas que existen físicamente, al menos a lo que los seres simulados concierne. Más aún esas simulaciones *necesariamente* existen como consecuencia de los requerimientos lógicos de las operaciones matemáticas involucradas en la representación. Por lo tanto, concluye Tipler, nuestro universo (y otros en gran número) *deben* existir como consecuencia de la necesidad lógica.

Las Opciones

¿Entonces qué tenemos que concluir? Si el lector está perplejo después de este pequeño tour filosófico, también lo está el autor. Me parece que el argumento ontológico es un intento de definir la existencia de Dios partiendo de nada, y tal cosa en un sentido estrictamente lógico no puede tener éxito. Ud. no puede obtener de pura argumentación deductiva más de lo que puso en las premisas. A lo sumo el argumento puede demostrar que, si un ser necesario es posible, entonces debe existir. Dios podría solamente dejar de existir si el concepto de un ser necesario fuera incoherente. Puedo aceptar eso. Pero el argumento no sirve para demostrar la imposibilidad formal estricta de la inexistencia de Dios. Por otro lado, si el argumento ontológico es aumentado con una o más suposiciones extras, entonces podría ser exitoso. Ahora, ¿qué pasa si esas presunciones extras (las cuales serían necesariamente sintéticas) fueran limitadas a los presupuestos necesarios para la existencia de pensamiento racional? Podríamos concluir que la actividad del cuestionamiento racional podría ciertamente ser capaz de establecer la existencia de Dios mediante la sola razón. Esta sugerencia es mera especulación, pero una para la cual Keith Ward mantiene la mente abierta: “No es absurdo pensar que por el análisis de las nociones de ‘perfección’, ‘ser’, ‘necesidad’ y ‘existencia’, uno podría encontrar una presunción tal que por su aplicación al mundo objetivo surja la existencia de un objeto de cierto tipo.”¹⁴²

¿Qué acerca del argumento cosmológico¹⁴³? Si aceptamos la contingencia del mundo, entonces una posible explicación es la existencia de un Dios trascendente. Luego tendremos que confrontar el tema si Dios es necesario o contingente. Si Dios es simplemente contingente ¿habremos ganado algo invocándolo, ya que su propia existencia y cualidades permanecen inexplicadas? Es posible que sí. Es posible que la hipótesis de un Dios provea una descripción simplificada y unificada de la realidad y mejore la aceptación “enlatada” de una lista de leyes y condiciones iniciales. Las leyes de la física pueden haber sido capaces de llevarnos sólo hasta aquí, y nosotros podríamos luego buscar un nivel más profundo de explicación. El filósofo Richard Swinburne, por ejemplo, ha argumentado que es más simple postular la existencia de una mente infinita que aceptar, como un hecho bruto, la existencia de este universo contingente. En este caso la creencia en Dios en gran medida una cuestión de gusto, a ser juzgada por su valor explicativo más que por compulsión lógica. Personalmente me siento más confortable con un nivel de explicación más profundo que el de las leyes de la física. Si el uso del término “Dios” para ese nivel más profundo es apropiado es, por supuesto, una cuestión de debate.

Alternativamente, uno podría abrazar la posición teísta clásica y argumentar que Dios es un ser necesario que creó un universo contingente como un acto de libre voluntad. Esto significa que Dios no tiene elección sobre su propia existencia y cualidades, pero si tiene elección sobre el universo que crea. –como hemos visto, esta posición está cargada con dificultades filosóficas, aunque puede ser que alguna solución sea encontrada. La mayoría de las soluciones intentadas descendieron a un lodazal de refinamientos lingüísticos concernientes a las muchas definiciones de “necesidad”, “verdad”, y demás, y muchas parecen extinguirse con la franca aceptación del misterio. Pero el concepto bipolar de Dios, en la cual se hace distinción entre la naturaleza necesaria de Dios y sus acciones contingentes en el mundo, a pesar de tener la desventaja de la complejidad, se acerca más a eludir este problema.

Lo que aparece fuerte y claro a través de estos análisis es la incompatibilidad fundamental de un Dios atemporal, inmutable y necesario, con la noción de creatividad en la naturaleza, con un universo que

¹⁴² Rational Theology by Ward, p. 25.

¹⁴³ El enigma del origen del cosmos NT

cambia y evoluciona y produce lo genuinamente nuevo, un universo en el cual hay libre albedrío. No es posible tener realmente ambas cosas. O Dios establece todo, incluyendo nuestro propio comportamiento, en cuyo caso el libre albedrío es una ilusión – “El plan de predestinación es cierto”, escribió Aquino – ocurren cosas sobre las cuales Dios no tiene control, o ha renunciado voluntariamente al mismo.

Antes de abandonar el problema de la contingencia algo debe ser dicho de la así llamada teoría de los múltiples universos. De acuerdo a esta idea, actualmente popular entre algunos físicos, no sólo hay un universo físico, sino una infinidad de ellos. Todos estos universos de alguna manera coexisten en “paralelo”, cada uno difiriendo de los otros, quizás solo levemente. Es concebible que las cosas pudieran ser dispuestas de tal forma que cada clase de universo que es posible exista en este conjunto infinito. Si Ud. quiere un universo, digamos, con una ley de gravedad de la inversa del cubo en vez de la inversa del cuadrado, bien, Ud. encontrará uno en algún lugar. La mayoría de esos universos no estarán habitados, porque las condiciones físicas en ese lugar no serán aptas para la formación de organismos vivientes. Sólo esos universos en los cuales la vida puede aparecer y proliferar hasta el punto en el que individuos conscientes aparezcan serán observados. El resto pasará inadvertido. Un observador dado observará sólo un universo en particular, y no estará directamente consciente de los otros. Ese universo particular será fuertemente contingente. No obstante la pregunta “¿Por qué este universo?” es ahora irrelevante, porque todos los universos posibles existen. El conjunto de los universos tomados todos juntos no es contingente. No todo el mundo está feliz con la teoría de los universos múltiples. Postular una infinidad de universos inobservados e inobservables sólo para explicar el que nosotros vemos parece como un caso de exceso de equipaje llevado al extremo. Es más simple postular un solo Dios inobservado. Esta es la conclusión también alcanzada por Swinburne:

El postulado de Dios es un postulado de *una entidad de una clase simple*. ... El postulado de la existencia real de un número infinito de mundos, agotando entre todos ellos todas las posibilidades. ... es postular complejidad y la coincidencia no preestablecida de infinitas dimensiones más allá de la creencia racional.¹⁴⁴

Científicamente la teoría de los múltiples universos es insatisfactoria porque no podría ser nunca falsada: ¿Qué descubrimientos podrían conducir a un partidario de esta teoría a cambiar su pensamiento? ¿Qué podría Ud. decir para convencer a alguien que niega la existencia de esos otros mundos? Peor aún, Ud. podría utilizar los múltiples mundos para explicar cualquier cosa. La ciencia se tornaría redundante. Las reglas de la naturaleza no necesitarían más investigación, porque ellas podrían ser simplemente explicadas como el efecto de una selección, necesario para mantenernos vivos y observando. Más aún, hay algo filosóficamente insatisfactorio sobre estos universos que pasan inadvertidos. Parafraseando a Penrose, ¿qué quiere decir que existe algo que nunca podrá ser observado? Tendré más cosas que decir sobre este tema en el siguiente capítulo.

Un Dios que Juega a los Dados

Concedo que uno no pueda probar que el mundo sea racional. Es ciertamente posible que, en su nivel más profundo, sea absurdo, y tengamos que aceptar la existencia y características del mundo como hechos brutos que pudieron haber sido de otra manera. Hasta ahora el éxito de la ciencia es como mínimo una evidencia circunstancial fuerte a favor de la racionalidad de la naturaleza. En la ciencia, si una cierta línea de razonamiento es exitosa la seguimos hasta que encontramos que falla.

En mi mente no tengo dudas en absoluto que los argumentos para un mundo necesario son mucho más débiles que los argumentos para un ser necesario, por lo tanto mi inclinación personal es optar por esto último. Todavía creo que hay severas dificultades remanentes para relacionar un ser atemporal y necesario con el mundo mutante y contingente de la experiencia, por las razones que he discutido. No creo que esas dificultades puedan ser separadas de todas formas de los varios misterios irresolutos que existen concernientes a la naturaleza del tiempo, la libre voluntad, y la noción de identidad personal. No me resulta obvio que ese ser postulado que sostiene la racionalidad del mundo tenga mucha relación con el Dios personal de la religión, menos aún con el Dios de la Biblia o el Corán.

Sin embargo no tengo duda alguna sobre la racionalidad de la naturaleza, estoy también comprometido con la noción de un cosmos creativo, por las razones que he expuesto en mi libro *The Cosmic Blueprint*. Y aquí inevitablemente encontramos la paradoja de reconciliar el ser y el devenir, lo cambiante y lo

¹⁴⁴ “Argument from the Fine-Tuning of the Universe” by Richard Swinburne, in *Physical Cosmology and Philosophy* (ed. J. Leslie, Macmillan, London 1990), p. 172.

eterno. Esto puede ser hecho sólo mediante una solución de compromiso. El compromiso es llamado "estocasticidad". Un sistema estocástico es, aproximadamente, uno que está expuesto a fluctuaciones impredecibles y aleatorias. En la física moderna, la estocasticidad aparece de una forma fundamental en la mecánica cuántica. Está también inevitablemente presente cuando tratamos sistemas abiertos sujetos a perturbaciones externas caóticas.

En la teoría física moderna, la racionalidad está reflejada en la existencia de leyes físicas fijas matemáticamente expresadas, y la creatividad está reflejada en el hecho que esas leyes son fundamentalmente estadísticas en su forma. Para usar una vez más la trillada frase de Einstein, Dios juega a los dados con el universo. El carácter intrínsecamente estadístico de los eventos atómicos y la inestabilidad de muchos sistemas físicos frente a fluctuaciones diminutas, aseguran que el futuro permanezca abierto e indeterminado para el presente. Esto hace posible la aparición de nuevas formas y sistemas, de modo tal que el universo es dotado con una clase de libertad para explorar la genuina novedad. De este modo me encuentro en cercana sintonía con el pensamiento de proceso, como describí anteriormente en este capítulo.

Soy consciente que introducir estocasticidad a un nivel fundamental de la naturaleza implica abandonar parcialmente el principio de razón suficiente. Si hay estocasticidad genuina en la naturaleza, entonces el resultado de "arrojar los dados" una vez en particular está genuinamente indeterminado por algo, lo cual es decir que no hay razón por la cual, en ese caso en particular ese resultado particular iba a tener lugar. Permítanme dar un ejemplo. Imaginen un electrón chocando con un átomo. La mecánica cuántica nos dice que hay, digamos, igual probabilidad de que el electrón deflecte a la izquierda como a la derecha. Si la naturaleza estadística de los eventos cuánticos es verdaderamente inherente, y no meramente como resultado de la ignorancia, entonces, si el electrón realmente deflecta hacia la izquierda, no habrá razón por la cual esto fue así en lugar de haber deflectado hacia la derecha.

¿No es esto admitir un elemento de irracionalidad en el mundo? Einstein lo creía así ("¡Dios no juega a los dados con el universo!"). Esto es la razón por la cual él nunca pudo aceptar que la mecánica cuántica daba una descripción completa de la realidad. Pero para lo que un hombre es irracionalidad es para otra persona creatividad. Y hay una diferencia entre estocasticidad y anarquía. El desarrollo de nuevas formas y sistemas está sujeto a principios generales de organización que guían y alientan, más que obligar, a la materia y a la energía a desarrollarse a lo largo de ciertos senderos predeterminados de evolución. En *The Cosmic Blue Print* usé la palabra "predestinación" para referirme a esas tendencias generales, para distinguirlas de "determinismo" (que es el sentido en que Aquino uso el término). Para aquellos, como los teólogos de proceso, que eligen ver a la mano guiadora de Dios en vez de una genuina espontaneidad en la forma que el universo se desarrolla creativamente, entonces la estocasticidad puede ser vista como un dispositivo eficiente a través del cual las divinas intenciones pueden ser llevadas a cabo. Y no hay necesidad de que tal Dios interfiera directamente con el curso de la evolución "cargando el dado", una sugerencia que mencioné al pasar en el capítulo 5. La guía puede ser a través de leyes (atemporales) de organización y flujo de información.

Se puede objetar que, si uno está preparado para abandonar el principio de razón suficiente en alguna etapa, éste puede también ser abandonado en otro lugar. ¿Si un electrón particular se deflecta hacia la izquierda "porque sí", no podría ser el caso que la ley de gravitación de la inversa del cuadrado, o las condiciones iniciales cósmicas, sólo sean "porque sí"? Creo que la respuesta es no. La estocasticidad inherente en física cuántica es fundamentalmente diferente a este respecto. La condición de desorden o total aleatoriedad – la "imparcialidad" del dado cuántico – es en sí misma una ley de una naturaleza bastante restrictiva. A pesar que cada evento cuántico pueda ser genuinamente impredecible, un conjunto de tales eventos se ajusta a las preediciones estadísticas de la mecánica cuántica. Uno podría decir que hay orden en el desorden. El físico John Wheeler ha enfatizado el comportamiento ajustado a las leyes puede surgir de fluctuaciones aparentemente sin ley o aleatorias, porque aún el caos puede tener regularidades estadísticas. El punto esencial aquí es que los eventos cuánticos forman un ensamblaje que podemos observar. Por contraste, las leyes de la física y las condiciones iniciales no. Una cosa es argumentar que cada evento en una selección de procesos caóticos son lo que son porque sí, y otra muy distinta es argumentar lo mismo de un proceso ordenado como las leyes de la física.

Hasta ahora en esta excursión filosófica he estado en gran parte preocupado con el razonamiento lógico. Se han hecho pocas referencias a hechos empíricos sobre el mundo. En sí mismos, los argumentos ontológico y cosmológico son sólo indicadores para la existencia de un ser necesario. Este ser permanece obscuro y abstracto. Si tal ser existiese, ¿podríamos decir algo acerca de su naturaleza mediante el examen del universo físico? La cuestión me lleva al tema del diseño en el universo•

Resumen del capítulo

¿Porqué el mundo es de la forma que es?

El filósofo del siglo XVII Benedict Spinoza fue un panteísta que pensaba en los objetos del universo físico como atributos de Dios más que como su creación. Identificando a Dios con la naturaleza.

Para Spinoza Dios no tuvo opción en su creación: "Las cosas no pudieron haber sido traídas a su existencia por Dios de una manera o en un orden diferente del que de hecho tuvieron."

Si Spinoza está en lo cierto implica que el mundo forma un sistema de explicación cerrado y completo, en el cual todo es explicado y ningún misterio permanece. También significaría que en principio no necesitaríamos observar al mundo realmente para poder conocer su forma y contenido: porque todo seguiría de una necesidad lógica, la naturaleza del universo sería deducible sólo con la razón.

Un universo inteligible

Subyaciendo los conceptos anteriores hay una suposición crucial: que el mundo es a la vez racional e inteligible. Esto es a menudo expresado como el "principio de razón suficiente", el cual establece que todo en el mundo es como es por alguna razón.

Sea o no el principio infalible, vale la pena aceptarlo como una hipótesis de trabajo para ver a donde nos conduce.

Para confrontar los temas profundos de la existencia, tenemos que considerar la posibilidad de dos clases distintas de cosas.

Algo es contingente si pudo haber sido de otra forma, así que la razón de porqué es de la forma que es depende de algo más, algo más allá de sí mismo. En la primera clase están los hechos sobre el universo físico.

La segunda clase se refiere a hechos u objetos o eventos que son no contingentes. Dichas cosas son llamadas "necesarias". Algo es necesario si es completamente independiente de cualquier otra cosa. Una cosa necesaria contiene su razón en si misma, y permanecería inmutable si todo lo demás fuera distinto.

Es difícil convencerse de que haya cosas necesarias en la naturaleza. Algo necesario no puede hacer referencia al tiempo. Ya que el estado del mundo cambia continuamente, entonces todas las cosas que toman parte de ese cambio deben ser contingentes.

¿Qué pasaría con el universo considerado como un todo, si consideramos al tiempo mismo incluido en su definición? ¿Podría así ser necesario? Sólo si la forma que es fuera la única posible, esto se discutirá más adelante.

¿Qué acerca de las leyes de la física? ¿Son necesarias o contingentes? La experiencia demuestra que en la medida que la física progresó aquellas que se pensaban eran leyes independientes se encontraron conectadas entre sí, por lo tanto esas leyes individuales resultaron ser contingentes de otras.

Los científicos esperan que llegue un tiempo en que todas las leyes de la física estén combinadas en un solo esquema matemático y afirman que ese esquema será el único auto consistente disponible.

¿Una única teoría para todo?

La cuestión que aparece es si, al alcanzarse tal unificación, la teoría será restringida tan fuertemente por los requerimientos de la consistencia matemática que será única. Si así fuera, habría sólo un sistema unificado de la física, con sus varias leyes establecidas por la necesidad lógica.

El mundo, se diría, sería explicado, los científicos no necesitarían molestarse con observaciones o experimentos. La ciencia no sería ya una materia empírica, sino una rama de la lógica deductiva, con las leyes de la naturaleza adquiriendo el estado de teoremas matemáticos, y las propiedades del mundo deducibles por la aplicación de la sola razón.

Davies argumenta que es demostrablemente erróneo que una teoría súper unificada pueda ser única, porque la matemática está fundada sobre un conjunto de axiomas. Aunque la matemática puede ser deducida desde ese grupo de axiomas, los axiomas en sí mismo no.

Una teoría del todo genuina, debe explicar no sólo como el universo devino en su existencia, sino porqué es el único tipo de universo que pudo haber sido.

Quizá nuestro universo sea el único posible en el cual la biología es permitida y por lo tanto en el cual pudieran aparecer organismos conscientes. Este podría ser el único universo *cognoscitivo* posible.

Aún si las leyes de la física fueran únicas, no se deduce de ello que el universo físico sea único, debido a las condiciones iniciales del universo que pueden diferir sustancialmente para las mismas leyes.

Orden Contingente

Parece, entonces, que el universo físico no tiene que ser necesariamente de la forma que es, podría haber sido de otra manera.

Ian Barbour señala que la contingencia del mundo es cuádruple. Primero, las leyes de la física mismas parecen ser contingentes. Segundo, Las condiciones cosmológicas iniciales podrían haber sido de otra manera. Tercero, sabemos de la mecánica cuántica que “Dios juega a los dados” – por ejemplo, hay un elemento fundamentalmente estadístico en la naturaleza. Finalmente, está el hecho que el universo existe. Después de todo, no importa cuan abarcativas nuestras teorías del universo puedan ser, no hay obligación para que el mundo instancie esas teorías. Este último punto ha sido vívidamente expresado por Stephen Hawking: “**¿Porqué el mundo se ha tomado toda esta molestia para existir?**” Pregunta. “**¿Qué es eso que respira fuego en las ecuaciones y crea un universo para que ellas lo describan?**”

El autor argumenta que hay también un quinto tipo de contingencia, la cual es encontrada en las leyes de “más alto nivel” asociadas con las propiedades organizacionales de los sistemas complejos.

Davies concluye entonces que el universo físico no está compelido a existir tal como es, podría haber sido de otra manera. si uno persevera con el principio de razón suficiente, y demanda una explicación racional para la naturaleza, entonces no hay más opción que buscarla en algo más allá o fuera del mundo físico – en algo metafísico – porque un universo contingente no puede contener dentro de él una explicación para sí mismo.

¿Qué clase de agencia metafísica podría ser capaz de crear un universo?

Naturalmente que los teólogos arguyen que esa agencia creativa que provee una explicación para el universo es Dios.

Si el universo no existe sin razón, y si por conveniencia llamamos Dios a esa razón (sea lo que fuere que interpretamos por Dios), entonces Dios debe de alguna manera *seleccionar* nuestro mundo entre muchas alternativas. Debe haber algún criterio de selección involucrado. Algunos universos posibles tienen que ser descartados. Presumimos que Dios debe ser racional. No tienen sentido invocar a un Dios Irracional, deberíamos también aceptar un universo irracional. Debería también ser omnipotente. Si Dios no fuera omnipotente, entonces su poder estaría limitado de alguna manera, ¿Pero que podría restringir ese poder? Querríamos saber a su vez como esa limitación se originó, y qué determina la forma de las restricciones: exactamente que puede y que no puede hacer Dios. (Nótese que aún un Dios omnipotente está sujeto a las restricciones de la lógica. Dios no podría hacer un círculo cuadrado, por ejemplo) Por un razonamiento similar Dios tiene que ser perfecto, ¿Para que produciría algún defecto? Tendría también que ser omnisciente – esto es, tendría que ser consciente de todas las alternativas lógicas posibles - por lo tanto estaría en situación de hacer una elección racional.

¿El mejor de todos los mundos posibles?

Leibniz desarrolló el argumento anterior, el argumento cosmológico. Concluyó que un ser racional, omnipotente, perfecto y omnisciente debe inevitablemente elegir el mejor de todos los mundos posibles. Si un Dios perfecto conscientemente selecciona un mundo que es menos que perfecto, sería irracional.

La riqueza y complejidad de nuestro mundo son por cierto asombrosas.

Lee Smolin y Julian Barbour conjeturan que hay un principio fundamental de la naturaleza que produce un universo máximamente variado, el principio de máxima diversidad.

La mayoría de los investigadores concluyen que la existencia de sistemas complejos, especialmente los sistemas biológicos, es notablemente sensible a la forma de las leyes de la física, y esto hace que en algunos casos el más mínimo de los cambios haga naufragar la posibilidad de aparición de vida, al menos en la forma en que la conocemos. Este tópico se conoce con el nombre del Principio Antrópico, porque relaciona nuestra existencia como observadores del universo a las leyes y condiciones del mismo.

La belleza como guía hacia la verdad

Es ampliamente creído entre los científicos que la belleza es una guía confiable hacia la verdad, y muchos avances en física teórica han sido hechos por demandar elegancia matemática a la nueva teoría.

Si la belleza es programada enteramente en forma biológica, seleccionada sólo por su valor de supervivencia, es de lo más sorprendente ver que re emerge en el mundo esotérico de la física fundamental, que no tiene conexiones con la biología. Por otro lado, si la belleza es más que biología en funcionamiento, y nuestra apreciación estética es consecuencia del contacto con algo más firme y propagado, entonces es seguramente un hecho muy significante que las leyes fundamentales del universo parezcan reflejar esa “cosa.”

¿Es Dios Necesario?

Si el universo realmente tiene una explicación y no puede explicarse a sí mismo, entonces debe ser explicado por algo externo a él – por ejemplo, Dios. Pero entonces, ¿qué explica a Dios? Este dilema de todos los tiempos de “quien hizo a Dios” nos pone en peligro de ser atrapados en una regresión infinita. La única escapatoria, parecería, es asumir que Dios de alguna manera puede “explicarse a sí mismo”, lo cual es decir que Dios es un ser necesario en el sentido que se explicó más arriba.

Si Dios proveerá la razón suficiente para el universo, entonces sigue de ello que el mismo debe ser necesario.

Los seres humanos no somos capaces de comprender la naturaleza de tal ser. Pero eso no significa que la noción de un ser necesario sea contradictoria en sí misma.

El Dios tradicional de la teología Cristiana, desarrollada en gran parte por Santo Tomás de Aquino en el siglo trece, es un ser necesario, atemporal, inmutable, perfecto y sin cambio del cual el universo depende completamente de su existencia, pero que por el contrario es totalmente no afectado por la existencia del universo.

Hay una seria dificultad en relacionar este Dios con un universo contingente y cambiante, especialmente un universo conteniendo seres con libre albedrío.

Es importante entender que la paradoja es más que un tecnicismo de debate teológico; es una consecuencia inevitable de ciertos métodos racionales de explicación.

La única contribución del pensamiento Cristiano a esta tensión es la doctrina de creación *ex nihilo*. Aquí hubo un bravo intento de quebrar la paradoja proponiendo un ser atemporal y necesario quien trajo a la existencia (no dentro del tiempo) un universo material por el poder divino como un acto de libre elección.

El elemento clave que se introduce aquí es la Voluntad divina. Por definición el libre albedrío conlleva la contingencia, porque decimos que una elección es libre sólo si pudiese haber sido de otra manera. Por lo tanto, si Dios es dotado con la libertad de elegir entre mundos alternativos posibles, la contingencia del mundo real queda explicada. No obstante la demanda de inteligibilidad es preservada atribuyéndole a Dios una naturaleza racional, por lo tanto asegurando una elección racional.

Esto parece ser un real progreso. Parece como si la creación *ex nihilo* resuelve la paradoja de cómo un mundo cambiante y contingente puede ser explicado por un ser necesario y atemporal. Desgraciadamente, a pesar de la atención de generaciones de filósofos y teólogos para desarrollar esta idea en un esquema coherente, permanecen obstáculos mayores.

Primero de todo, Si dios es realmente auto suficiente, como el axioma de inteligibilidad parece requerir de él, ¿Cómo puede ser que él crease un mundo? Parece ser un ejercicio arbitrario y sin sentido. ¿Por otro lado, si Dios realmente es un ser inmutable y necesario, como puede tener libre elección? Seguramente todo lo que ha hecho tuvo que ser hecho por necesidad y sin ninguna posibilidad de alteración. El viejo dilema – o los actos de Dios son necesarios y por lo tanto no libres (que no podrían ser de otra manera), o los mismos son libres y por lo tanto arbitrarios (nada determina como debieran ser) – ha sido suficiente como para perturbar a la gran mayoría de los filósofos Cristianos de todas las épocas.

Si Dios es el creador o causa de un mundo contingente, él debe ser contingente y temporal; pero si Dios es un ser necesario, entonces todo lo que él cause de ser necesariamente causado sin cambios. En esta roca ambas interpretaciones del teísmo se hunden. La demanda de inteligibilidad requiere de la existencia de un ser necesario, inmutable y eterno. La Creación parece demandar un Dios contingente y temporal, quién interactúa con la creación y no es, por lo tanto, auto suficiente.

¿Cómo puede un ser que es necesario e inmutable tener el poder de hacer todo? Siendo necesario, no podría hacer otra cosa que la que hace. Siendo inmutable, no podría hacer nada nuevo ni original. ... Aún si la creación pudiera ser vista como un acto Divino y atemporal, la dificultad real permanece, que, siendo Dios totalmente necesario, éste sería un acto necesario, el cual no podría haber sido distinto de ninguna manera. Esta vista está todavía en tensión con la hebra central de la tradición Cristiana: nominalmente que Dios no necesitaba haber creado el universo, y que no necesitaba haber creado precisamente este universo. ¿Cómo puede un ser necesario ser libre de alguna manera?

Los teólogos usualmente nos dicen que Dios creó al mundo libremente, tal como el mundo contingente y no necesario que nuestra experiencia nos revela. ... Al mismo tiempo, a causa de su férreo compromiso con lo supuestos de la metafísica clásica, los teólogos usualmente nos dicen que el acto creativo de Dios tiene su esencia eterna, el cual es necesario en todo aspecto, excluyente de toda contingencia. Por lo tanto, si tomamos sus palabras, dándole el mismo peso a ambas afirmaciones, nos encontraremos en la contradicción sin esperanza de una creación totalmente necesaria de un mundo totalmente contingente.

Un Dios Bipolar y la Nube de Wheeler

El pensamiento de Proceso es un intento de ver el mundo no como una colección de objetos, o aún como un conjunto de eventos, sino como un *proceso* con una direccionalidad definida.

El futuro no está implícito en el presente: hay elección de alternativas. Por tanto se le atribuye a la naturaleza cierta clase de libertad.

Debemos rechazar la idea que un sistema físico, como una roca o una nube o una persona, es *nada más* que una colección de átomos, y reconocer en cambio la existencia de muchos niveles diferentes de estructuras. Un ser humano por ejemplo, ciertamente es una colección de átomos, pero hay muchos niveles superiores de organización que se pierden por esa pobre descripción y las cuales son esenciales para definir que significamos con la palabra "persona." Viendo los sistemas complejos como una jerarquía de niveles organizacionales, la simple vista de causalidades de "lo particular a lo general" en término de partículas elementales interactuando una con otra, debe ser reemplazada por otra formulación mucho más sutil, en las cuales los niveles superiores pueden actuar hacia abajo sobre los niveles inferiores también.

En los niveles organizacionales más altos parece haber principios organizativos generales que supervisan el comportamiento de los sistemas complejos, principios que existen a lo largo de las leyes de la física (las cuales operan al nivel más bajo de las partículas elementales). Estos principios organizativos son consistentes con, pero no pueden ser reducidos a, o derivados de, las leyes de la física. Los científicos han entonces redescubierto la cualidad crucial de orden *contingente*.

Trazas de esta sutil e indirecta influencia pueden ser discernidas en la naturaleza progresiva de la evolución biológica, por ejemplo, y en la tendencia del universo de auto organizarse en una rica variedad de formas cada vez más complejas.

¿Tiene Dios que existir?

La historia de la teología no obstante no carece de intentos de probar que la inexistencia de Dios es lógicamente imposible. Este argumento conocido como el “argumento ontológico” se remonta a San Anselmo, y es algo como esto. Dios es definido como la cosa más grande posible. Ahora, cualquier cosa existente es obviamente más grande que la mera idea tal cosa. Por lo tanto un dios realmente existente es mayor que un dios imaginario. Pero como Dios es la mayor cosa imaginable, se deduce que debe existir.

El argumento ontológico presenta algunos problemas lógicos.

Un problema yace en el tratamiento de “existencia” como si fuera una propiedad de las cosas, como la masa o el color. Ya que el argumento obliga a uno a comparar el concepto de dioses que realmente existen con el de dioses que no existen realmente

Otro problema es que el argumento ontológico descansa en lo que los filósofos llaman una “proposición analítica.” Una proposición analítica es una cuya verdad (o falsedad) depende puramente del significado de las palabras involucradas. Las proposiciones que no caen en esta clase son llamadas “sintéticas”, porque hacen conexiones entre cosas que no están relacionadas meramente por definición. No obstante, por duro que Ud. trate, no podrá derivar una proposición sintética de una analítica.

Kant aseveraba que debería haber alguna proposición sintética verdadera *a priori* para algún proceso de pensamiento concerniente a un mundo objetivo. Esos *a priori* sintéticos deberían ser verdaderos independientemente de las características contingentes del mundo.

Desgraciadamente los filósofos no están convencidos aún que haya alguna proposición sintética *a priori*.

Aún si no hubiera proposiciones sintéticas que fueran necesarias, hay algunas que son inobjetables. Una cosa que tácitamente asumimos *a priori* en la búsqueda de alguna teoría física es que el proceso físico de dicha teoría exprese y de a conocer no sea prohibido por la teoría misma. Ningún principio físico que podamos conocer puede vedarse a sí mismo para nuestro conocimiento. Que todo principio físico deba satisfacer esta propiedad altamente restrictiva es una proposición sintética *a priori*, no porque sea necesariamente verdadera, sino porque no podemos evitar asumir que lo sea en la búsqueda del conocimiento de dicho principio.

Lo sintético *a priori* comienza a parecer como el requerimiento que todo principio físico cognoscible que forma parte del ‘Secreto del Universo’ debe no impedir la posibilidad de que lo conozcamos.

Las Opciones

El argumento ontológico parece ser un intento de definir la existencia de Dios partiendo de nada, y tal cosa en un sentido estrictamente lógico no puede tener éxito. Ud. no puede obtener de pura argumentación deductiva más de lo que puso en las premisas. El argumento no sirve para demostrar la imposibilidad formal estricta de la inexistencia de Dios.

¿Qué acerca del argumento cosmológico? Si aceptamos la contingencia del mundo, entonces una posible explicación es la existencia de un Dios trascendente. Luego tendremos que confrontar el tema si Dios es necesario o contingente. Si Dios es simplemente contingente ¿habremos ganado algo invocándolo, ya que su propia existencia y cualidades permanecen inexplicadas?

Alternativamente, uno podría abrazar la posición teísta clásica y argumentar que Dios es un ser necesario que creó un universo contingente como un acto de libre voluntad. Esto es, Dios no tiene elección sobre su propia existencia y cualidades, pero si tiene elección sobre el universo que crea. – como hemos visto, esta posición está cargada con dificultades filosóficas.

Lo que aparece fuerte y claro a través de estos análisis es la incompatibilidad fundamental de un Dios atemporal, inmutable y necesario con la noción de creatividad en la naturaleza, con un universo que cambia y evoluciona y produce lo genuinamente nuevo, un universo en el cual hay libre albedrío.

Un Dios que Juega a los Dados

Los argumentos para un mundo necesario son más débiles que para un ser necesario.

No se puede probar que el mundo sea racional, pero el éxito de la ciencia es una evidencia circunstancial fuerte a favor de ella.

Aceptando un universo contingente y un creador necesario surge la paradoja de reconciliar el ser con el devenir, lo cambiante y lo eterno. Esto sólo puede ser hecho mediante una situación de compromiso, la cual es introducir cierta estocasticidad en la naturaleza.

Al introducir estocasticidad se abandona parcialmente el principio de razón suficiente. Se puede objetar que, si uno está preparado para abandonar el principio de razón suficiente en alguna etapa, éste puede ser abandonado en otro lugar también.

Pero, a pesar que cada evento cuántico pueda ser genuinamente impredecible, un conjunto de tales eventos se ajusta a las predicciones estadísticas de la mecánica cuántica.

Una cosa es argumentar que cada evento en una selección de procesos caóticos son lo que son porque sí, y otra muy distinta es argumentar lo mismo de un proceso ordenado como las leyes de la física.●

Capítulo 8 - El Diseñador del Universo

Los SERES HUMANOS hemos sido siempre asombrados por la sutileza, majestad e intrincada organización del mundo físico. La marcha de los cuerpos celestes cruzando el cielo, el ritmo de las estaciones, el patrón de los copos de nieve, las miríadas de criaturas vivientes tan bien adaptadas a su ambiente – todas estas cosa parecen estar demasiado bien concertadas para ser un accidente sin sentido. hay una tendencia natural a atribuir el elaborado orden del universo a los trabajos intencionados de una Deidad.

El surgimiento de la ciencia sirvió para extender el rango de las maravillas de la naturaleza, de modo tal que hoy hemos descubierto orden desde la más recóndita hendidura del átomo a la más distante de las galaxias. Pero la ciencia ha provisto también su propia razón para tal orden. Ya no necesitamos explicaciones teológicas para los copos de nieve, ni aún para los organismos vivientes. Las leyes de la naturaleza son tales que la materia y la energía pueden organizarse a sí *mismas* en las complejas formas y sistemas que nos rodean. Aunque pudiera ser apresurado decir que los científicos entienden todo sobre esta auto organización, parece no haber razón fundamental por la cual, dadas las leyes de la física, todos los sistemas físicos conocidos no puedan ser explicados como el producto de procesos físicos ordinarios.

Algunas personas concluyen de esto que la ciencia le ha desprovisto al universo de todo misterio y propósito, y que la elaborada organización del mundo físico es o un accidente sin sentido o una consecuencia inevitable de las leyes de la física. “Cuanto más comprensible parece el universo, también más parece sin sentido”, creía el físico Steven Weinberg.¹⁴⁵ El biólogo Jacques Monod repitió este triste sentimiento: “El antiguo convenio está hecho pedazos: el hombre al final sabe que está solo en la insensible inmensidad del universo, de la cual ha emergido sólo por casualidad. Ni su destino ni su deber han sido escritos.”¹⁴⁶

Sin embargo no todos los científicos sacan la misma conclusión de los hechos. Aunque aceptan que la organización de la naturaleza pueden ser explicadas por las leyes de la física, junto con unas adecuadas condiciones iniciales cósmicas, algunos científicos reconocen que muchas de las estructuras y sistemas del universo dependen para su existencia de la *forma particular* de esas leyes y condiciones iniciales. Más aún, en algunos casos la existencia de complejidad en la naturaleza parece estar balanceada muy finamente, de modo tal que pequeños cambios en las formas de las leyes podría aparentemente impedir que esta complejidad aparezca. Un estudio cuidadoso que las leyes de la naturaleza son llamativamente afortunadas para la aparición de riqueza y variedad. En el caso de organismos vivientes, su existencia parece depender de un número de coincidencias fortuitas que algunos científicos reconocen como nada menos que asombrosas.

La Unidad del Universo

Hay varios aspectos diferentes de esta demanda de “demasiado bueno para ser verdad”. La primera de ellas concierne al ordenamiento del universo. Hay un sin fin de formas en la que el universo podría haber sido totalmente caótico. Podría no haber tenido leyes en lo absoluto, o meramente un revoltijo incoherente de leyes que causaran que la materia se comportara desordenadamente de una forma inestable. Alternativamente, el universo podría haber sido extremadamente simple al punto de carecer completamente de rasgos distintivos – por ejemplo, vacío de materia, o de movimiento. Uno podría también imaginarse en el cual las condiciones cambiaran de momento en una forma complicada o aleatoria, o aún en el cual todo abruptamente cese de existir. Parece no haber obstáculos lógicos a la idea de tales universos sin reglas. Pero el universo real no es así. Es altamente ordenado. Existen leyes de la física bien establecidas de causa efecto definidas. Hay confiabilidad en la operación de esas leyes. El curso de la naturaleza continúa siendo siempre el mismo, para usar la frase de David Hume. Este orden causal no sigue de la necesidad lógica, es una propiedad sintética del mundo, una para la cual podemos con derecho pedir alguna clase de explicación.

El mundo físico no solo meramente no muestra irregularidades arbitrarias, sino que es ordenado de una manera muy especial. Como expliqué en el capítulo 5, el universo está equilibrado entre los dos

¹⁴⁵ *The First Three Minutes* by Steven Weinberg (Andre Deutsch, London, 1977), p. 149

¹⁴⁶ *Chance and Necessity* by Jacques Monod, trans. A. Wainhouse (Collins, London, 1972), p. 167

extremos de simple orden regimentado (como el de un cristal) y la complejidad aleatoria (como un gas caótico). El mundo es innegablemente complejo, pero su complejidad es de una variedad *organizada*. Los estados del universo tienen “profundidad” para utilizar un término técnico introducido en el capítulo 5. Esa profundidad no fue construida en el universo en su origen. Ha emergido del caos primigenio en una secuencia de procesos auto organizativos que han progresivamente Enriquecido y complicado el universo a medida que evolucionaba. Es fácil imaginar un mundo que, aunque ordenado, sin embargo no posea la clase correcta de fuerzas o condiciones para que emerja una profundidad significante.

Hay otro orden en el cual el mundo físico es especial. Este concierne a la coherencia general y a la unidad de la naturaleza, y al mimo hecho de que podamos hablar con sentido del “universo” como un todo como un concepto totalmente abarcativo. El mundo contiene objetos y sistemas individuales, pero ellos están estructurados de modo tal, que tomados todos juntos, forman una totalidad unificada y consistente. Por ejemplo las variadas fuerzas de la naturaleza no son una conjunción casual de influencias dispares. Ellas encajan en una forma mutuamente sustentante que le conceden a la naturaleza estabilidad y armonía difíciles de capturar matemáticamente pero obvias para cualquiera que estudie al mundo en profundidad. He explicado anteriormente esta consistencia que surge de ese encastre mediante la analogía con los crucigramas.

Es particularmente impactante como procesos que ocurren en una escala microscópica – digamos, en física nuclear – parecen estar finamente ajustados para producir efectos interesantes y variados en una escala mucho mayor – por ejemplo en astrofísica. Por lo tanto vemos que la fuerza de la gravedad combinada con las propiedades termodinámicas y mecánicas del gas hidrógeno son tales que crean un gran número de bolas de gas. Las mismas son suficientemente grandes como disparar reacciones nucleares, pero no tan grandes como para colapsar rápidamente en agujeros negros. De esta manera nacen estrellas estables. Muchas estrellas grandes mueren de una forma espectacular explotando en las así llamadas supernovas. Parte de la fuerza explosiva deriva de la acción de una de las partículas subatómicas más elusivas de la naturaleza – el neutrino. Los neutrinos están casi enteramente desprovistos de propiedades físicas: el neutrino cósmico promedio podría penetrar muchos años luz de plomo sólido. No obstante estas fantasmales entidades pueden permanecer, bajo condiciones extremas cerca del centro de una masiva estrella moribunda, suficientemente empaquetados empujan para lanzar mucha del material estelar al espacio. Este detrito está Enriquecido con los elementos pesados de la clase de la cual el planeta Tierra está hecho. Podemos por lo tanto atribuir la existencia de planetas del tipo terrestre, con su enorme variedad de formas materiales y sistemas, a las cualidades de una partícula subatómica que podría nunca haber sido descubierta, por lo débil de su acción. El ciclo de vida de las estrellas provee sólo un ejemplo de la manera ingeniosa y aparentemente ideada en la cual los aspectos de gran y pequeña escala de la física están fuertemente interrelacionadas para producir una compleja variedad en la naturaleza.

Adicionalmente a este entretejido de los varios aspectos de la naturaleza, está la curiosa uniformidad de la misma. Las leyes de la física descubiertas en el laboratorio se aplican igualmente bien en los átomos de una galaxia distante. El electrón que forma la imagen en la pantalla de nuestro televisor, tiene exactamente la misma masa, carga y momento magnético que aquellos en la luna, o en el borde del universo observable. Más aún, esas cualidades persisten sin cambio detectable de un momento al siguiente. El momento magnético del electrón por ejemplo, puede ser medido con una exactitud de diez dígitos, aún a esta fantástica precisión, no se ha detectado variación en esta propiedad. Hay también buena evidencia que las propiedades básicas de la materia no han cambiado mucho, aún en la edad del universo.

Así como en la uniformidad de las leyes de la naturaleza, hay también uniformidad en la organización espacial del universo. A gran escala, materia y energía están distribuidas de un amanera extremadamente uniforme, y el universo parece estar expandiéndose a la misma velocidad en cualquier lugar y dirección. Esto significa que un ser alienígeno en otra galaxia vería una organización a gran escala muy parecida a la que vemos nosotros. Compartimos con otras galaxias la misma cosmografía y una historia cósmica en común. Como describí en el capítulo 2, los cosmólogos han intentado explicar esta uniformidad usando el así llamado escenario de universo inflacionario, el cual incluye un repentino salto en el tamaño del universo muy poco después de su nacimiento. Esto tendría el efecto de suavizar cualquier irregularidad inicial. Es importante darse cuenta, no obstante, que explicar la uniformidad en términos de mecanismos físicos no disminuye la extrañeza, ya que podríamos preguntarnos por qué las leyes de la naturaleza son tales que permiten trabajar a dicho mecanismo. El punto en este asunto no es el modo por el cual surgió una característica muy especial, sino que el mundo está estructurado para que la misma aparezca.

Finalmente, está la muy discutida simplicidad de las leyes. Con esto quiero decir que las leyes pueden ser expresadas en términos defunciones matemáticas simples (como la ley de la inversa del cuadrado). Nuevamente podemos imaginarlos mundo en los cuales hay regularidades, pero de una clase muy complicada, requiriendo una complicada combinación de diferentes factores matemáticos. Ya he discutido en el capítulo 6 el cargo hecho sobre que hemos desarrollado nuestra matemática precisamente para que el mundo parezca simple. Creo que la "irrazonable efectividad" de la matemática para describir al mundo es un indicativo que las regularidades de la naturaleza son de una clase muy especial.

La Vida Es Muy Difícil

He tratado de justificar que la existencia de un universo ordenado y coherente conteniendo estructuras complejas estables y organizadas requiere leyes y condiciones de una clase muy especial. Toda la evidencia sugiere que este no es un universo viejo, sino uno que está notablemente bien ajustado a la existencia de ciertas entidades interesantes y significativas (por ejemplo estrellas estables). En el capítulo 7 expliqué como este sentimiento ha sido formalizado por [Freeman Dyson](#) y otros en algo como un principio de máxima diversidad.

La situación se vuelve más intrigante aún cuando tenemos en cuenta la existencia de organismos vivos. El hecho que los sistemas biológicos tengan requerimientos muy especiales, y que esos requerimientos son, felizmente, son reunidos por la naturaleza, ha sido comentado al menos desde el siglo XVII. Fue sólo en el siglo XX, no obstante, con el desarrollo de la bioquímica, genética y biología molecular, que ha emergido una imagen completa. Ya en 1913 el distinguido bioquímico de Harvard, Lawrence Henderson escribió: "Las propiedades de la materia y el curso de la evolución cósmica son vistas ahora como íntimamente relacionadas con las estructuras de los seres vivos y sus actividades; ... los biólogos pueden ahora con derecho referirse al Universo en su misma esencia como biocéntrico."¹⁴⁷ Henderson fue conducido a esta sorprendente visión por su trabajo en la regulación de la acidez y alcalinidad en los organismos vivos, y por la forma en que dicha regulación depende crucialmente de propiedades bastante especiales de ciertas substancias químicas. Estaba también enormemente impresionado por como el agua, la cual tiene un número de propiedades anómalas, se incorpora en la vida a un nivel básico. Si esas substancias no hubieran existido, o si las leyes de la física hubieran sido algo diferentes de modo tal que esas substancias no mostraran esas propiedades especiales, entonces la vida (al menos como la conocemos) hubiera sido imposible. Henderson se refirió a esto como la "conveniencia del universo" porque la vida es demasiado grandiosa para ser accidental, y se preguntó qué clase de ley es capaz de explicar tal ajuste,

En la década del 60 el astrónomo Fred Hoyle notó que el elemento carbón, cuyas propiedades químicas peculiares lo hacen crucial para la vida terrestre, es fabricado desde el helio dentro de las grandes estrellas. Es liberado desde allí por las explosiones de las [supernovas](#), como discutimos en la sección previa. Mientras investigaba las reacciones nucleares que conducían a la formación del carbono en los núcleos estelares, Hoyle fue impactado por el hecho que las reacciones clave ocurrían sólo por un golpe de suerte. Los núcleos de carbono son hechos por un proceso bastante truculento incluyendo el encuentro simultáneo de tres núcleos de helio de alta velocidad, los cuales se unen. Debido a la rareza de un triple encuentro, la reacción puede progresar a una tasa de producción significante a ciertas energías bien definidas (llamadas "resonancias"), donde la tasa de reacción es substancialmente amplificada por efectos cuánticos. Por buena fortuna, una de esas resonancias corresponde justo a la clase de energías que los núcleos de helio tienen dentro de las grandes estrellas. Curiosamente, Hoyle no sabía esto en ese momento, pero predijo que así debería ser sobre la base que el carbono es un elemento abundante en la naturaleza. Los experimentos posteriores demostraron que tenía razón. Un estudio detallado demuestra otras "coincidencias" sin las cuales el carbono no hubiera sido ni producido ni preservado dentro de las estrellas. Hoyle estaba tan impresionado por esta "serie monstruosa de accidentes", que fue movido a comentar que era como si "las leyes de la física nuclear hubieran sido deliberadamente diseñadas teniendo en mente las consecuencias que producen dentro de las estrellas"¹⁴⁸. Más tarde expuso que el universo parecía como un trabajo "diseñado", como si alguien hubiera estado "manipulando" las leyes de la física.¹⁴⁹

¹⁴⁷ *The Fitness of the Environment* by L. J. Henderson (reprinted by Peter Smith, Gloucester, Mass., 1970), p. 312

¹⁴⁸ Quoted in *Religion and the Scientist* (ed. Mervyn Stockwood, SCM, London, 1959), p. 82.

¹⁴⁹ *The Intelligent Universe* by Fred Hoyle (Michael Joseph, London, 1983), p.128.

Estos ejemplos se presentan sólo como una muestra. Una larga lista de “accidentes afortunados” y “coincidencias” adicionales ha sido compilada desde entonces, la más notable por los astrofísicos Brandon Carter, Bernard Carr y Martín Rees. Puestas juntas proveen una evidencia impresionante de que la vida tal como la conocemos depende muy sensiblemente de la forma de las leyes de la física, y de algunos accidentes aparentemente fortuitos en los valores reales que la naturaleza ha elegido para las masas de varias partículas, intensidad de algunas fuerzas y así siguiendo. Como esos ejemplos han sido discutidos extensamente en otro lugar, no voy a listarlos aquí. Alcanza con decir que, si pudiéramos jugar a se Dios, y elegir valores a voluntad para esas cantidades girando un conjunto de perillas, encontraríamos que casi todos las posiciones de las perillas darían por resultado un universo inhabitable. En algunos casos parecería como si las diferentes perillas hubieran sido finamente sintonizadas con una enorme precisión para que el universo sea como es y la vida florezca. En su libro *Cosmic Coincidences* John Gribbin y Martin Rees concluyen: “Las condiciones en nuestro universo parecen realmente las únicas adecuadas para las formas de vidas como la nuestra.”¹⁵⁰

Es una verdad evidente que sólo podemos observar un universo que es consistente con nuestra propia existencia. Como he mencionado, esta conexión entre la capacidad humana de observar este universo y las leyes y condiciones del mismo se ha vuelto conocido, un tanto desafortunadamente, como el Principio Antrópico. En su forma trivial el Principio Antrópico no asevera que nuestra existencia de alguna manera *obliga* a las leyes de la física a tener la forma que tienen, ni tiene uno que concluir que las mismas fueron deliberadamente diseñadas con la gente en la mente. Por otro lado, el hecho que aún pequeños cambios en la forma de que las cosas son podría dar lugar a un universo inobservable es seguramente un hecho de profundo significado.

¿Ha Sido el Universo Diseñado por un Creador Inteligente?

Los primeros filósofos Griegos reconocieron que el orden y la armonía del cosmos demandaban una explicación, pero la idea que esas cualidades derivaban de un creador trabajando de acuerdo a un plan preconcebido fue bien formulada recién en la era Cristiana. En el siglo XIII, Aquino ofreció una visión en la que los cuerpos naturales actuaban como si fueran guiados hacia un objetivo definido o fin “como para obtener el mejor resultado.” Este ajuste de medios a fines implica, argumentaba Aquino, una intención. Pero viendo que los cuerpos naturales carecen de conciencia, ellos no pueden proveer esa intención por sí mismos. “Por lo tanto algún ser inteligente existe por el cual todas las cosas naturales están dirigidas a su fin; y a ese ser llamamos Dios.”¹⁵¹

El argumento de Aquino en el siglo XVII con el desarrollo de la ciencia mecánica. Las leyes de Newton explicaban el movimiento de los cuerpos materiales de una forma perfectamente adecuada en términos de inercia y fuerzas sin la necesidad de una supervisión divina. Esta explicación puramente mecanicista del mundo no dejaba ningún lugar para la teología (causas dirigidas hacia objetivos). La explicación para el comportamiento de los objetos se tiene que buscar en causas físicas próximas - por ejemplo fuerzas impresas sobre ellos por otros cuerpos. No obstante, este desplazamiento de la visión del mundo no puso fin completamente a la idea de que el mundo debía haber sido diseñado por un propósito. Newton mismo, como hemos visto creía que el sistema solar parecía demasiado ideado para haber surgido solamente por la acción de fuerzas ciegas: “Este magnífico sistema del sol, planetas y cometas podría proceder sólo del consejo y dominio de un Ser poderoso e inteligente.”¹⁵² Por lo tanto, aún dentro de una visión mecanicista del mundo, uno puede aún intrigarse sobre la forma en la cual los cuerpos materiales han sido dispuestos en el universo. Para muchos científicos es demasiado suponer que la sutiliza y la armonía de la organización de la naturaleza sea el resultado del azar.

Este punto de vista fue articulado por Robert Boyle, el de la famosa ley de Boyle:

La excelente invención del gran sistema del mundo, y especialmente el curioso tramoado de cuerpos y animales y el uso de sus sentidos y de otras partes, han sido los grandes motivos que en todas las edades y naciones indujeron a los filósofos a reconocer una Deidad como el autor de esas admirables estructuras.¹⁵³

¹⁵⁰ *Cosmic Coincidences* by John Gribbin and Martín Rees (Bantam Books, New York and London, 1989), p. 269

¹⁵¹ *Summa Theologiae* by Tomás Aquinas, pt. I ques. II art. 3.

¹⁵² *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* by Isaac Newton (1687), bk. III, General Scholium.

¹⁵³ “A Disquisition About the Final Causes of Natural Things”, in *Works by Robert Boyle* (London, 1744) vol. 4, p. 522.

Boyle introdujo la famosa comparación entre el universo y un mecanismo de relojería, el cual fue más elocuentemente elaborado por el teólogo William Paley en el siglo XVIII. Supongamos, argumentaba Paley, que Ud. Estuviera “cruzando un páramo” y apareciera un reloj yaciendo en el suelo. Al inspeccionarlo Ud. observa la intrincada organización de sus partes y como fueron dispuestas de una forma cooperativa para alcanzar un fin colectivo. Aún si Ud. nunca haya visto un reloj y no tenga idea de su función, aún estará inclinado a concluir de su inspección que es una invención diseñada para un propósito. Paley arguyó que, cuando consideramos la invención mucho más elaborada de la naturaleza, deberíamos alcanzar la misma conclusión aún con más fuerza.

La debilidad de este argumento, expuesta por Hume, es que procede por analogía. El universo mecanicista es análogo al reloj; el reloj tiene un diseñador, por lo tanto el universo debe tener un diseñador. Uno podría decir también que el universo es como un organismo, por lo tanto podría haberse desarrollado a partir de un feto en un útero cósmico. Claramente ningún argumento analógico puede establecer una prueba. Lo mejor que puede hacer es ofrecer soporte para una hipótesis. El grado de soporte dependerá de cuan persuasiva Ud. encuentre la analogía. Como señala John Leslie, si el mundo fuese esparcido con piezas de granito estampadas con la leyenda HECHO POR DIOS¹⁵⁴, como la marca del relojero ¿Seguro que Hume de ese mundo estaría convencido? “Se le podría preguntar si cada pieza concebible de aparente evidencia de divina actividad creativa, incluyendo digamos, mensajes escrito en las cadenas de estructuras moleculares naturales... sería minimizada por el comentario ‘¡Eso no es improbable!’”¹⁵⁵ Es concebible que exista evidencia clara de diseño en la naturaleza, pero que nos esté oculta de alguna manera. Quizá advirtamos la “marca del Arquitecto” cuando hayamos alcanzado cierto nivel de logros científicos. Este es el tema de la novela *Contacto* del astrónomo Carl Sagan, en la cual un mensaje está sutilmente incrustado en los dígitos de Pi (π) – un número que está incorporado dentro de la estructura misma del universo – y es sólo accesible mediante el uso de sofisticados análisis computacionales.

Está también el caso que la mayoría de la gente razonable acepta otros argumentos analógicos sobre el mundo. Un ejemplo concerniente a la existencia misma de un mundo físico. Nuestra experiencia inmediata se refiere siempre a nuestro mundo mental, un mundo de impresiones sensoriales. Usualmente pensamos que ese mundo es un mapa o modelo razonablemente confiable de un mundo físico real, que está “ahí afuera”, y distinguimos entre imágenes soñadas y físicas. Como un mapa o modelo es también sólo una analogía; en este caso una que usualmente estamos preparado para aceptar. Y aún un mayor salto de fe es requerido cuando concluimos que existen otras mentes además de las nuestras. Nuestra experiencia de otros seres humanos se deriva enteramente en nuestra interacción con sus cuerpos: no podemos percibir sus mentes directamente. Ciertamente otras personas se comportan *como si* compartieran nuestras experiencias mentales propias, pero nunca podremos saberlo. La conclusión de que otras mentes existen está basada enteramente en la analogía con nuestros propios comportamientos y experiencias.

El argumento del diseño no puede ser categorizado como correcto o incorrecto, sino meramente sugestivo en un mayor o menor grado. ¿Por lo tanto, cuán sugestivo es? Ningún científico podría coincidir con Newton hoy y declarar que el sistema solar está dispuesto demasiado adecuadamente para surgir naturalmente. Aunque el origen del sistema solar no está bien entendido, se conocen mecanismos existentes que podrían disponer los planetas en la forma ordenada en que se encuentra. No obstante, la organización general del universo ha sugerido a muchos astrónomos un elemento de diseño. Así James Jeans, quien proclamó que “el universo parece haber sido diseñado por un matemático puro”, también escribió:

Descubrimos que el universo muestra evidencia de un poder diseñador o controlador que tiene algo en común con nuestras propias mentes individuales – no hemos descubierto hasta ahora emoción, moralidad o apreciación estética, sino la tendencia a pesar en la forma la cual, por deseo de un mundo mejor, nosotros definimos como matemática.¹⁵⁶

Corrámonos de la astronomía por un momento. Los ejemplos más impactantes de “la invención de la naturaleza” se encuentran en el dominio de la biología, y es a estos que Paley dedicó mucha de su atención. En biología la adaptación de medios a fines es legendaria. Consideremos el ojo, por ejemplo. Es difícil de imaginar que este órgano no está pensado para proveer la facultad de ver. O que las alas

¹⁵⁴ MADE BY GOD en el original NT

¹⁵⁵ *Universes* by John Leslie (Routledge, London and New York, 1989), p. 160.

¹⁵⁶ *The Mysterious Universe* by James Jeans (Cambridge University Press, Cambridge, 1931), p. 137.

de un ave no están allí con el propósito de volar. Para Paley y muchos otros, tales adaptaciones intrincadas y exitosas anuncian una disposición providencial hecha por un diseñador inteligente. Desgraciadamente, todos conocemos la rápida muerte de este argumento. La teoría de la evolución de Darwin demostró decisivamente que la compleja organización eficientemente adaptada al ambiente puede aparecer como resultado de mutaciones aleatorias y selección natural. No es necesario ningún diseñador para producir un ojo o un ala. Tales órganos pueden aparecer como el resultado de un proceso natural perfectamente ordinario. Una celebración triunfalista de esta defunción está brillantemente presentada en *The Blind Watchmaker* del biólogo de Oxford Richard Dawkins.

El severo golpe al argumento del diseño ocasionado por Hume, Darwin y otros resultó en que éste haya sido más o menos abandonado completamente por los teólogos. Es del todo curioso, no obstante, que haya resucitado por un número de científicos en los años recientes. En su nueva forma el argumento no está dirigido a los objetos materiales del universo, sino a las leyes subyacentes, donde es inmune del ataque Darwiniano. Para ver por qué, permítanme primero explicar el carácter esencial de la evolución Darwiniana. En su corazón, la teoría de Darwin requiere de un ensamble o colección de individuos similares, sobre los cuales la selección puede actuar. Por ejemplo, consideremos como los osos polares se han podido mezclar tan bien con la nieve. Imaginemos una colección de osos marrones cazando o comiendo en un terreno nevado. Su presa fácilmente los podrá ver aproximarse y se largarán en una retirada apresurada. Los osos marrones pasarán tiempos difíciles. Luego por algún accidente genético, una osa marrón da a luz un oso blanco. El oso blanco tiene una vida mejor porque puede aproximarse sigilosamente a su presa sin ser notado tan fácilmente. Vive más tiempo que sus competidores marrones y produce más descendencia. Sus descendientes se alimentan mejor y producen más osos blancos. Antes que pase mucho tiempo los osos blancos son predominantes, tomando todo el alimento, y llevando los osos marrones a la extinción.

Es difícil imaginar que algo parecido a la historia precedente no esté cercano a la verdad. Pero nótese cuan crucial es que haya muchos osos para empezar. Un miembro de la manada nace accidentalmente blanco, y de esa manera gana una ventaja selectiva respecto de los demás. Todo el argumento depende de que la naturaleza sea capaz de seleccionar dentro de un conjunto de individuos competitivos similares. Cuando llevamos esto a las leyes de la física y a las condiciones cosmológicas iniciales, no obstante, no hay ningún conjunto de competidores. Las leyes y las condiciones iniciales son únicas para nuestro universo. (Volveré sobre la cuestión si puede existir un conjunto de universos con diferentes leyes en breve.) Si es el caso que la existencia de vida requiere que las leyes y las condiciones iniciales del universo estén finamente sintonizadas con gran precisión, y que esa sintonía fina de hecho se obtuvo, entonces la sugerencia del diseño parece obligatoria.

Pero antes de saltar a una conclusión, también consideraremos algunas objeciones. Primero, a veces se argumenta que, si la naturaleza no favoreciera la vida produciendo las condiciones adecuadas no estaríamos acá argumentando sobre esto. Esto es por supuesto cierto, pero difícilmente constituirá un contra argumento. El hecho es que *estamos* aquí, y aquí gracias a algunos arreglos muy afortunados. Nuestra existencia no puede por si misma explicar esos arreglos. Podríamos minimizar el tema con el comentario que ciertamente somos muy afortunados de que el universo justo poseyera las condiciones necesarias para que la vida florezca, pero que ello es un capricho sin sentido del destino. Nuevamente, es una cuestión de juicio personal. Supongamos que pudiera demostrarse que la vida sería imposible al menos que el ratio entre la masa del electrón y del protón estuviera dentro del 0,0000000001 por ciento de un número completamente independiente – digamos, una centésima parte del ratio de las densidades del agua y el mercurio a 18 grados centígrados (64,4 grados Fahrenheit). Aún el escéptico más testarudo estaría tentado seguramente a concluir que “algo está pasando” aquí.

Entonces, ¿cómo vamos a determinar cuán raras son estas condiciones? El problema es que no hay forma natural de cuantificar la improbabilidad “coincidencias” conocidas. ¿De qué rango podría ser seleccionado el valor de, digamos la intensidad de la fuerza nuclear (la cual fija la posición de las resonancias de Hoyle, por ejemplo)? Si el rango es infinito, entonces cualquier rango finito de valores podría ser considerado con una probabilidad cero de ser seleccionado. Pero entonces deberíamos ser igualmente sorprendidos no importa cuna débilmente los requerimientos para la vida restrinjan estos valores. Esta es seguramente un *reductio ad absurdum* de todo el argumento. Lo que hace falta es una metateoría – una teoría de teorías- que provea una probabilidad bien definida para un rango dado de valores de parámetros. Esa metateoría no está disponible, o siquiera ha sido propuesta de acuerdo a mi conocimiento. Hasta que esto ocurra el grado de “rareza” involucrado debe mantenerse enteramente subjetivo. ¡Sin embargo, es raro!

Otra objeción que a veces se plantea, es que la vida evoluciona para ajustarse a las condiciones prevalecientes, por lo tanto no es sorprendente después de todo encontrar vida tan bien adaptada a sus

circunstancias. Esto puede ser verdad en tanto a lo que el estado general del ambiente concierne. Cambios de clima moderados, por ejemplo, son posibles de ser acomodados. Sería ciertamente un error señalar a la Tierra y decir: "¡Miren cuán favorables son las condiciones para la vida! El clima es exacto, hay una completa provisión de oxígeno y agua, la fuerza de la gravedad es adecuada para los miembros, etc., etc. ¡Qué extraordinaria serie de coincidencias!" La Tierra es un planeta más entre una inmensa cantidad esparcida por nuestra galaxia y más allá. La vida puede surgir sólo en aquellos planetas donde las condiciones son adecuadas. Si la Tierra no hubiera sido uno de ellos, entonces este libro habría sido escrito en cambio en otra galaxia. No estamos acá preocupados con algo tan parroquial como la vida en la tierra. La cuestión es, ¿bajo qué condiciones podría la vida aparecer al menos en algún lugar del universo? Si la vida surge, sería inevitable encontrarla situada en un lugar adecuado.

El argumento de la singularidad que he discutido no se refiere a un nicho en particular, sino a las leyes mismas subyacentes de la física. Al menos que esas leyes cumplan ciertos requerimientos, la vida no hubiera siquiera comenzado. Obviamente la vida basada en el carbono no puede existir allí donde no hay carbono. ¿Pero qué decir acerca de formas alternativas de vida tan amadas por los escritores de ciencia ficción? Una vez más no podemos saber. Si las leyes de la física difirieran apenas de su forma actual, podrían aparecer nuevas posibilidades para la vida podrían aparecer para reemplazar la posibilidad perdida de la vida tal como la conocemos. En contra de esto está la visión generalizada de que los mecanismos biológicos son muy específicos y difíciles de operar, y sería improbable que emergieran por arreglo fortuito de la física. Pero hasta que tengamos un entendimiento apropiado del origen de la vida, o conocimiento de formas de vida alternativa en el universo, la pregunta permanecerá abierta.

La Ingeniosidad de la Naturaleza

Al retornar una vez más a la famosa expresión de Einstein de que "Dios es sutil pero no malicioso", ganamos una pista en otro aspecto intrigante del orden natural. Einstein expresó que para adquirir un entendimiento de la naturaleza uno debe ejercitarse una considerable habilidad matemática, introspección física e agudeza mental, debido a eso la meta de la comprensión es alcanzable. Éste es un tópico que discutí en un lenguaje algo diferentes en el capítulo 6, donde señalé que el mundo parecía estar construido en una manera que su descripción matemática no es trivial aunque permanece dentro de las capacidades del razonamiento humano.

He remarcado una o dos veces ya que es muy difícil comunicar el concepto de la sutileza matemática de la naturaleza a aquellos que no están familiarizados con la física matemática, pero para los científicos involucrados es suficientemente claro. Es quizás, más impactante en los tópicos de física de las partículas y teoría de campos, donde diversas ramas de matemática avanzada deben amalgamarse. Pongámolo de la forma más cruda: Ud. encuentra que una aplicación directa de la matemática lo lleva hasta un punto, luego es sorprendido. Alguna inconsistencia interna aparece, o bien la teoría produce resultado que se espera difieran del mundo real. Luego alguna persona inteligente, vienen y descubre un truco matemático – algún oscuro vericuento en un teorema, quizás, o una elegante reformulación del problema original en un lenguaje matemático enteramente nuevo – ¡y allí rápidamente todo cae en su lugar! Es imposible resistir la tentación de proclamar a la naturaleza al menos tan inteligente como el científico por detectar el truco y aprovecharlo. Uno a menudo oye a los físicos teóricos, hablando en un lenguaje altamente informal y coloquial de la forma que ellos lo hacen, promocionando su teoría particular con la expresión de que ¡es tan inteligente / sutil / elegante que es difícil imaginar a la naturaleza no aprovechándola!

Permítanme dar pequeño bosquejo de un ejemplo. En el capítulo 7 discutí los recientes intentos de unificación de las cuatro fuerzas fundamentales de la naturaleza. ¿Porqué debería la naturaleza desplegar cuatro fuerzas diferentes? ¿No podría ser más simple, más eficiente y más elegante tener tres, o puede ser dos o quizás una fuerza, pero con cuatro diferentes aspectos? De eso se están ocupando los físicos buscando similitudes entre las fuerzas para ver si es posible una amalgama matemática. En los años sesenta los candidatos prometedores fueron la fuerza electromagnética y la fuerza nuclear débil. Se supo que la fuerza electromagnética opera a través del intercambio de partículas llamadas "fotones." Esos fotones revoloteando ida y vuelta entre partículas eléctricamente cargadas como electrones y produciendo fuerzas en ellas. Cuando Ud. frota un globo y lo pega en el cielo raso, o siente el empuje y tirón de los imanes, Ud. está siendo testigo de esa red de fotones itinerantes haciendo invisiblemente su trabajo. Ud. puede pensar esos fotones son como mensajeros transportando noticias sobre la fuerza entre partículas de materia, las cuales deben responder a ellas.

Ahora los teóricos creen que algo similar ocurre dentro del núcleo cuando actúa la fuerza nuclear débil. Una partícula hipotética crípticamente conocida como W, fue inventada para actuar como mensajera análogamente al fotón. Pero, mientras que los fotones eran familiares en el laboratorio, nadie había nunca visto una W, por lo tanto la guía principal de la teoría era la matemática. La teoría fue re formulada de una manera que mostró su similitud con el electromagnetismo de la forma más sugestiva. Esta idea era que, si Ud. tiene dos esquemas matemáticos más o menos lo mismo, Ud. puede unirlos en un único esquema amalgamado. Parte de este proceso fue introducir una partícula mensajera adicional conocida como Z, la cual se parece al fotón aún más que W. El problema fue, aún en esta estructura matemática mejorada los dos esquemas – las teorías del electromagnetismo y de la fuerza débil – aún diferían en una forma básica. Aunque Z y el fotón compartían muchas propiedades, sus mensajes tienen que estar en los extremos opuestos del espectro. Esto es porque la masa de la partícula mensajera está relacionada de una manera con el rango de la fuerza: cuanto más masiva es la partícula mensajera, más corto es el rango de la fuerza correspondiente. Ahora, la fuerza electromagnética es de un rango ilimitado, requiriendo una partícula mensajera de masa cero, mientras que la fuerza débil está confinada a las distancias sub nucleares y requiere que sus partículas mensajeras sean tan masivas que superen a muchos átomos.

Permítanme decir algunas palabras acerca de la carencia de masa del fotón. La masa de una partícula está relacionada con su inercia. Cuanto menor la masa, menor la inercia, por lo tanto más rápidamente se acelerará cuando es empujada. Si un cuerpo tiene muy poca masa, un impulso dado le impartirá una gran velocidad. Si se imagina partícula con menos y menos masa su velocidad será mayor y mayor. Ud. podría pensar que una partícula con masa cero se movería a una velocidad infinita, pero no es así. La teoría de la relatividad prohíbe viajar más rápido que la luz, por lo tanto las partículas sin masa viajan a la velocidad de luz. Los fotones, siendo “partículas de luz”, son el ejemplo obvio. Por contraste, se predijo que las partículas W y Z tendrían que tener ochenta y noventa veces la masa de un protón (la partícula estable más pesada conocida), respectivamente.

El problema que los teóricos enfrentaron en los sesenta, fue el cómo combinar dos esquemas matemáticos elegantes describiendo las fuerzas electromagnéticas y nuclear débil si difieren tan marcadamente en un detalle tan importante. La solución apareció en 1967. Construida sobre la estructura matemática elaborada algún tiempo atrás por Sheldon Glashow, dos físicos teóricos, Abdus Salam y Steven Weinberg, independientemente vislumbraron una salida. La idea esencial fue esta. Supongamos que la gran masa de W y Z no es una cualidad primaria, sino algo adquirido como el resultado de la interacción con algo más; esto es, supongamos que esas partículas no han, para así decirlo, nacido masivas, sino que están transportando la carga de otro. La distinción es sutil, pero crucial. Esto significa que la masa no es atribuida a las leyes subyacentes de la física, sino al *estado particular* en que W y Z son halladas.

Una analogía podía hacer el punto más claro. Pare un lápiz sobre su punta y manténgalo vertical. Luego suéltelo. El lápiz se caerá apuntando hacia alguna dirección. Digamos hacia el nordeste. El lápiz alcanzó ese estado como resultado de la acción de la gravedad de la Tierra. Pero su “nordestidad” no es una cualidad intrínseca de la gravedad. La gravedad de la Tierra tiene ciertamente una “verticalidad” intrínseca, pero no una tendencia norte-sur o este-oeste o algo en el medio. La gravedad no hace distinciones entre direcciones horizontales. Por lo tanto la “nordestidad” del lápiz es meramente una propiedad incidental del sistema lápiz más gravedad que refleja el *estado particular* en que el lápiz resultó caer.

En el caso de W y Z, el rol de la gravedad es asumido nuevo campo hipotético, llamado el campo Higgs por Peter Higgs de la Universidad de Edimburgo. El campo Higgs interactúa con W y Z y causa que ellas “caigan” en un sentido simbólico. En vez de adquirir una “nordestidad” ellas adquieren masa –y mucha. Ahora queda abierto el camino para la unificación con la fuerza electromagnética, porque, en el fondo, W y Z son partículas “realmente” sin masa, como el fotón. Estos dos esquemas matemáticos pueden ser amalgamados, produciendo una descripción unificada de una sola fuerza “electrodébil.”

El resto, como se dice, es historia. Al principio de los años ochenta finalmente se produjeron partículas W y luego Z en los aceleradores del CERN¹⁵⁷, cerca de Ginebra. La teoría fue brillantemente confirmada. Se vio que dos fuerzas de la naturaleza eran en realidad dos facetas de una sola fuerza. El punto que quiero remarcar es que la naturaleza ha evidentemente aprovechado el vericueto en el argumento que no se puede juntar partículas con y sin masa. Se puede si se usa el mecanismo de Higgs. Hay una posdata en la historia. El campo de Higgs que es el que hace el trabajo importante,

¹⁵⁷ Centre for European Nuclear Research (CERN)

tiene su partícula asociada, llamada el “bosón de Higgs.” Verdaderamente es probable que sea muy masivo, lo que significa que hace falta muchísima energía para construirlo. Nadie ha detectado aún un bosón de Higgs, pero es el descubrimiento número uno en la lista esperando a que ocurra. Su producción será uno de los logros principales del nuevo acelerador planeado para el desierto de Texas a fines de los años noventa. Conocido como el “súpercolisionador súperconductor” (SSC)¹⁵⁸, esta máquina monstruosa tendrá una circunferencia de cincuenta millas¹⁵⁹, y acelerará protones y antiprotones a energías sin precedentes. Haces opuestos se harán colisionar, produciendo encuentros de una ferocidad asombrosa. La esperanza es que el SSC pueda empaquetar suficiente energía como para producir el bosón de Higgs. Pero los Americanos estarán compitiendo con los Europeos, quienes esperan que un Higgs pueda mostrarse en las maquinas del CERN. Por supuesto, hasta que uno sea encontrado, no podemos estar seguros que la naturaleza esté usando le mecanismo de Higgs. Quizás Ella haya encontrado una forma más inteligente aun. ¡Esperemos el acto final de este drama!.^{160 161}

Un Lugar para Todo y Todo en Su Lugar

Cuando los científicos se preguntan en su trabajo, “¿Por qué la naturaleza se toma esta molestia?” o “¿Cuál es el punto de esto?” parece que estuvieran adscribiendo al razonamiento inteligente de la naturaleza. Aunque usualmente piensan esas preguntas de una forma informal, no estricta, hay un contenido serio también. La experiencia nos ha mostrado que la naturaleza comparte nuestro sentido de la economía, eficiencia, belleza y sutileza matemática, y esta aproximación de la investigación paga dividendos (como el de la unificación de la fuerza débil y la electromagnética). Muchos físicos creen que detrás de las complejidades de los objetos yace una elegante y poderosa unidad, y se pueden hacer progresos explorando los “trucos” que la naturaleza ha explotado para generar un universo intrínsecamente complejo y diverso de su simplicidad subyacente.

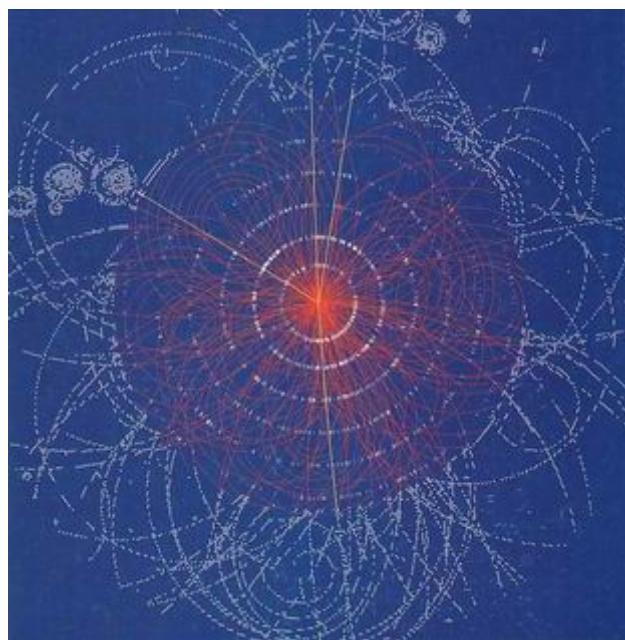
Hay, por ejemplo, un sentimiento no expresado, aunque más o menos universal entre los físicos que todo lo que existe en la naturaleza tiene que tomar “lugar” o rol como parte de un esquema más amplio,

¹⁵⁸ Superconducting Supercollider (SSC)

¹⁵⁹ 80 Km NT

¹⁶⁰ El 6 de Septiembre de 2000 BBC News publicó un artículo donde los científicos del CERN dicen haber encontrado evidencias del bosón, dicho artículo se puede ver en: <http://news.bbc.co.uk/1/hi/sci/tech/913637.stm> NT

¹⁶¹



La detección del bosón de Higgs puede parecerse a esta simulación por ordenador. El choque entre protones puede producir un Higgs que se desintegra en cuatro muones (líneas amarillas). Se producirían también partículas residuales (rojo). En seis capas cilíndricas (líneas blancas) de microcintas de silicio se registrará el lugar en que las partículas cargadas atraviesan las capas detectoras. Estas posiciones, combinadas con las obtenidas de un sistema (puntos blancos), permitirían reconstruir las trayectorias.

que la naturaleza no se da el gusto de despilfarrar manifestando entidades innecesarias, que la naturaleza no es arbitraria. Cada faceta de la realidad física debería unirse a las otras de una forma "natural" y lógica. Por lo tanto cuando la partícula conocida como el muon fue descubierta en 1937, el físico Isidor Rabi estaba sorprendido. "¿Quién ordenó esto?" exclamó. El muon es una partícula más o menos idéntica al electrón en todo respecto su masa, la cual es 206,8 veces mayor. Este hermano mayor del electrón es inestable, y decae después de un microsegundo o dos, por lo tanto no es una característica permanente de la materia. No obstante parece ser una partícula elemental de pleno derecho y no un compuesto de otras partículas. La reacción de Rabi es típica. ¿Para qué es el muon? ¿Porqué necesita la naturaleza otra clase de electrón, especialmente uno que desaparece tan rápidamente? ¿Cuán diferente sería el mundo si el muon simplemente no existiera?

El problema desde entonces se hizo más marcado. Ahora hay dos hermanos mayores conocidos. El segundo descubierto en 1974, es llamado el "tauon." Peor aún, también otras partículas poseen hermanos mayores altamente inestables. Los así llamados quarks – los ladrillos de la materia nuclear, como los protones y neutrones – tienen cada uno dos versiones más pesadas también. Hay también tres variedades de neutrinos. La situación es mostrada esquemáticamente en la tabla 1. Parece que todas las partículas conocidas de la materia pueden ser acomodadas en tres "generaciones." En la primer generación están el electrón, el electrón-neutrino y dos quarks llamados "up" y "down", los cuales todos juntos forman protones y neutrones. Las partículas en esta primera generación son esencialmente estables, y forman la materia ordinaria del universo que vemos. Los átomos de nuestro cuerpo, y el del sol y las estrellas, están formados por esta primera generación de partículas.

Tabla 1

<u>Generación</u>	<u>Leptones</u>	<u>Quarks</u>
Primera	electrón	down
	electrón-neutrino	up
Segunda	muon	strange
	muon-neutrino	charmed
Tercera	tauon	bottom
	tauon-neutrino	top

Las partículas conocidas de la materia están compuestas de doce entidades básicas. Seis de ellas, llamadas "leptones", son relativamente livianas e interactúan sólo débilmente. Las restantes seis, llamadas "quarks", son pesadas e interactúan fuertemente, y forman la materia nuclear. Las partículas pueden ser ordenadas en tres generaciones con propiedades similares.

La segunda generación parece ser un poco más que la duplicación de la primera. Aquí uno encuentra lo que sorprendió a Rabi. Esas partículas (con la posible excepción del neutrino) son inestables, pronto decaen en la primera generación de partículas. ¡Luego, prestén atención, la naturaleza lo hace nuevamente, y nos da aún otra réplica del patrón en la tercera generación! Ahora Ud. se estará preguntando si hay algún final en esta réplica. Quizás haya una infinidad de generaciones, y de lo que estamos siendo testigos es realmente de una simple repetición de patrones. La mayoría de los físicos están en desacuerdo. En 1989 el nuevo acelerador de partículas en el CERN, llamado Lep (de Large Electron-Position ring [gran anillo electrón - posición]), fue utilizado para examinar cuidadosamente el decaimiento de la partícula Z. Ahora Z decae en neutrinos, y la tasa de decaimiento depende del número de especies distintas de neutrinos, disponibles en la naturaleza, por lo tanto una medición cuidadosa de las tasas se puede utilizar para deducir el número de neutrinos. La respuesta es tres, lo que sugiere que hay sólo tres generaciones.¹⁶²

¹⁶² Agradezco la generosa colaboración del Dr. Ramón Leonardo Soto Moran (lsoto@infomed.sld.cl) la cual se adjunta:

Por lo tanto tenemos un interrogante. ¿Porqué tres? Una o infinito hubiera sido "natural", pero tres parece franca perversidad. Este "rompecabezas de las generaciones" ha sido el estímulo para algunos trabajos teóricos importantes. Los progresos más satisfactorios en la física de las partículas se ha producido por el uso de una rama de la matemática conocida como "teoría de grupos." Está muy conectada con el tema de la simetría, una de las manifestaciones "favoritas" de la naturaleza. La teoría de grupos puede ser usada para conectar aparentemente distintas partículas dentro de familias unificadas. Ahora hay reglas matemáticas definidas acerca de cómo esos grupos pueden ser representados y combinados, y cuantas de cada tipo de partículas describen. La esperanza es que una descripción basada en la teoría de grupos aparezca y sea útil en otros campos, pero que la misma también demande tres generaciones de partículas. El aparente despilfarro de la naturaleza será visto entonces como una consecuencia necesaria de alguna simetría unificadora más profunda.

Por supuesto, hasta que esa unificación más profunda sea demostrada, el problema de las generaciones parece ofrecer un contraejemplo al argumento que la naturaleza es sutilmente económica más que maliciosamente arbitraria. Pero tan confiado estoy que la naturaleza comparte nuestro sentido de la economía que estoy feliz de apostar que el problema de las generaciones será resuelto dentro de la próxima década o un poco más, y que su solución proveerá evidencia impactante adicional que la naturaleza se atiene al principio de "Un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar."

Hay un interesante corolario a este juego de las generaciones que refuerza mi punto de vista. No creo completamente en el contenido de la Tabla 1. En el momento que escribo, el quark "top" no ha sido definitivamente identificado todavía. En varias ocasiones ha sido "descubierto" sólo para ser

10 de Junio de 2003

El gran ideal de los físicos teóricos mayormente contemporáneos y de los físicos experimentales que se dedican a la física de las altas energías, ha sido y es, lograr una teoría unificada que explique las cuatro interacciones conocidas, a saber, las interacciones nucleares fuertes, las débiles, las electromagnéticas y la gravitatorias. Como lo anterior desde ningún ángulo es un problema sencillo, en lugar de partir por las síntesis de las fenomenologías, se ha tomado el camino del análisis de casos particulares (1). Así las cosas, la teoría desarrollada independientemente por Vaduz Salam (paquistaní, 1926 – 1996, premio Nobel en 1979) y Steven Weinberg, permitió unificar las interacciones Electromagnéticas con las débiles en el supuesto teórico de aquel entonces (1967), que las interacciones se verificaban a través de partículas tales como los bosones de Higgs (2), W^\pm y Z^0 .

Lo anterior para como están las cosas en esa rama del saber fue equivalente a "hablar con Dios", pero poco a poco se abrió campo la compresión de que "ver" experimentalmente estas partículas suponía re-acondicionar los grandes aceleradores existentes para lograr colisiones altamente energéticas donde se apreciara la "materialización" de éstas. (3).

Los últimos 20 años de la física de las altas energías y de la cosmología en sí misma han estado matizados de relevantes descubrimientos, así, los experimentos del CERN (laboratorio europeo de física de las partículas) (4), demostró la unificación de las fuerzas débiles y las electromagnéticas por encima de energías del orden de los 100,000 millones de electronvolt (100 GeV), pero la limitación radica precisamente en cómo hacer aceleradores cada vez más potentes. En la actualidad, que es lo más fresco en estos momentos, lo que se está haciendo es remodelar los aceleradores y dotarlos de ingenios electrónicos, mecánicos, etc. de tal modo que puedan conseguirse energías superiores.

Conviene, sin embargo que subraye la actuación del grupo de físicos bajo la dirección del Prof. Carlo Rubia quien en el CERN convirtió la teoría en elemento cierto, la duda en certidumbre al probar la existencia de los bosones vectoriales intermediarios de la fuerza electro-débil, es decir, los W^\pm y Z^0 . Lo anterior se refiere a una ilustración directa de su existencia ya que en el SLAC y en el Deutsches Elektronen Synchrotron (DESY), sólo pueden producirse partículas "virtuales" que ejercen los efectos del Z^0 .

Así las cosas, presenciamos una carrera de modernización de las instalaciones experimentales para poder confirmar los resultados teóricos que aquí van por adelante en este campo. Esta es la razón por la cual los primeros experimentos planificados para la etapa posterior al re-acondicionamiento estuvieron vinculados a la medición de constantes de acoplamiento y otras magnitudes que dejan fuera de toda duda la real existencia de tales partículas.

La realidad de los bosones de Higgs, en particular el Z^0 ya se usa hoy cotidianamente en experimentos de colisión entre e^+ y e^- (positrones y electrones) y ya se emplean estos resultados en aspectos más finos de la teoría como resulta ser la determinación del número de "generación" de quarks y leptones que son las estructuras últimas de la sustancia hasta hoy admitidas.

Por otra parte, ya los libros de texto (5, 6), actuales contemplan las ideas anteriores con mayor o menor grado de profundidad según a quien están orientados

- (1) Cline D. Schramm, N., Steigman, G. Neutrino Families: The Early Universe Metes Elementary Particles / Accelerator Physics Complements on Nuclear and Particle Science Vol. 17 No. 3 Pgs. 145-161. 1987.
- (2) Schmelling, M. <http://xxx.lanl.gov/abs/hep-ex/9701002>
- (3) Neeman, Y. The Particle Hunters. 2nd Edition. 1996.
- (4) Reoellin, J. Physics at the Collider. Proceedings of the 2nd Hellenic School on Elementary Particle Physics. Greece. 1985.
- (5) Mc Gervey, J. Introduction to Modern Physics. Academic Press, 1984.
- (6) Tipler, P., Llewellyn, R. W. H. Freeman and Company. N.Y. p. 652. 2000.

"extraviado" poco después. Ahora, Ud. se puede preguntar porqué los físicos están tan confiados de que el quark top existe ya que están preparados para gastar una significativa fracción de sus escasos recurso buscándolo. Supongamos que no existe. Supongamos que es realmente un error en la tabla (la cual es después de todo una construcción humana), por lo tanto no hay tres generaciones en absoluto, sino dos y tres cuartos. Bien, le resultaría muy difícil encontrar a un físico que realmente crea que la naturaleza pueda ser tan perversa, y cuando el quark top sea descubierto (como no tengo ninguna duda que eventualmente lo será), el mismo proveerá otro ejemplo de la naturaleza haciendo las cosas ordenadamente.

El problema de las generaciones es realmente parte del esquema de unificación mayor al cual he aludido, y que está siendo tomado por un pequeño ejército de teóricos. John Polkinghorne, quien fuera físico nuclear antes de abrazar el sacerdocio, escribió acerca de la confianza que los físicos tienen el siguiente paso del programa de unificación:

Mis colegas anteriores están trabajando en el esfuerzo de producir una teoría aún más abarcadora. ... Yo diría que en el presente sus esfuerzos tienen un aire de invención, aún de desesperación sobre ellos. Algunos hechos vitales o ideas parecen todavía estar ocultos. No obstante no tengo dudas que en ese curso algún entendimiento más profundo se alcanzará y un patrón más intrínseco será obtenido en la base de la realidad física.¹⁶³

Como he mencionado, la así llamada teoría de las supercuerdas es la moda actual, pero sin duda algo más vendrá pronto. Aunque delante yacen dificultades mayores, concuerdo con Polkinghorne. No puedo creer que esos problemas sean realmente insolubles, y la física de las partículas no pueda ser unificada. Todos los indicativos nos obligan a suponer que hay unidad en lugar de arbitrariedad detrás de todo, a pesar del rompedero de cabezas.

Como comentario final sobre la cuestión de la "necesidad" de todas esas partículas, hay un pensamiento curioso acerca de los muones, aunque ausentes de la materia ordinaria, realmente juegan un papel importante en la naturaleza después de todo. La mayoría de los rayos cósmicos que alcanzan la superficie de la Tierra son en efecto muones. Esos rayos forman parte de la radiación de base, y contribuyen a las mutaciones genéticas que derivan en el cambio evolutivo. Por lo tanto, como mínimo, y con un alcance limitado uno puede hallar un uso para los muones en biología. Esto provee otro ejemplo del afortunado encastre de lo grande y de lo pequeño que he mencionado en este capítulo.

¿Hay Necesidad de un Diseñador?

Espero que la discusión anterior haya convencido al lector que el mundo natural no es sólo cualquier confección de entidades y fuerzas, sino un esquema matemático maravillosamente ingenioso y unificado. Ahora, palabras como "ingenioso" e "inteligente" son innegablemente cualidades humanas, aunque uno no pueda evitar atribuir la mismas a la naturaleza también. ¿Este es sólo otro ejemplo de proyección sobre la naturaleza de nuestras propias categorías de pensamiento, o representa una cualidad genuina e intrínseca del mundo?

Hemos recorrido un largo camino desde el reloj de [Paley](#). Para retornar a mi analogía favorita una vez más, el mundo de la física de las partículas es más como un crucigrama que como un mecanismo de relojería. Cada nuevo descubrimiento es una pista, la cual encuentra su solución en alguna nueva conexión matemática. En la medida que los descubrimientos se ensamblan, más y más conexiones cruzadas se "llenan", y uno comienza a ver como emerge un patrón. En el presente quedan muchos blancos en el crucigrama, pero algo de su sutileza y consistencia puede vislumbrarse. Al contrario que los mecanismos, los cuales pueden lentamente con el tiempo evolucionar a formas más complejas u organizadas, las "palabras cruzadas" de la física de las partículas vienen terminadas. Las conexiones no evolucionan, están simplemente allí, en las leyes subyacentes. Debemos o aceptarlas como hechos brutos verdaderamente sorprendentes o buscar una explicación más profunda.

De acuerdo a la tradición Cristiana, esta explicación más profunda es que Dios ha diseñado la naturaleza con un considerable ingenio y habilidad, y entonces la empresa de la física de las partículas está descubriendo parte de ese diseño. Si uno fuera a aceptar esto, entonces la siguiente pregunta es: ¿Con qué propósito ha producido Dios este diseño? En la búsqueda de una respuesta tenemos que tener en cuenta las muchas "coincidencias" mencionadas anteriormente en conexión con el Principio Antrópico y los requerimientos para los organismos biológicos. La aparente "sintonía fina" de las leyes

¹⁶³ "The faith of a Physicist" by John Polkinghorne, *Physics Education* 22 (1987), p. 12.

de la naturaleza necesaria para posibilitar la evolución de la vida en el universo lleva la clara implicancia de que Dios ha diseñado el universo para permitir que la vida y la conciencia emerjan. Esto significaría que nuestra propia existencia en el universo formó una parte central del plan de Dios.

¿Pero necesariamente el diseño implica un diseñador? [John Leslie](#) ha argumentado que no. Recordemos que en su teoría de la creación, el universo existe como resultado de un “requerimiento ético.” Escribió: “Un mundo existente como resultado de una necesidad ética puede ser exactamente el mismo, exactamente tan rico como para parecer la evidencia del toque de un diseñador, sea o no que tal necesidad dependa de su influencia en un acto creativo dirigido por una inteligencia benevolente.”¹⁶⁴ Resumiendo, un buen universo nos parecería diseñado, aún no lo haya sido.

En *The Cosmic Blueprint*, escribí que el universo lucía como si se revelara de acuerdo a algún plan o anteproyecto. La idea es (parcialmente) capturada de una forma esquemática por la figura 12, donde el papel del anteproyecto (o programa cósmico de computadora, si prefiere) es interpretado por las leyes de la física, y representado por la máquina de hacer salchichas. La entrada es las condiciones iniciales cósmicas, y la salida es la complejidad organizada, o profundidad. Una variante de la imagen se muestra en la figura 13, donde la entrada es la materia y la salida es la mente. La característica esencial es que algo de *valor* emerge como el resultado de procesar la entrada de acuerdo a algún conjunto de reglas ingeniosas preexistentes. Estas reglas lucen *como* si fueran el producto de un diseño inteligente. Yo no veo como esto pueda ser negado. Si Ud. desea creer que realmente *ha habido* tal diseño, y que fue hecho por alguna clase de ser, debe permanecer como una cuestión de gusto personal. Mi única inclinación es suponer que cualidades como ingenio, economía, belleza, y demás, tienen una realidad trascendente – no son meramente el producto de la experiencia humana – y esas cualidades son reflejadas en la estructura del mundo natural. Si esas cualidades pueden por si mismas traer al universo a la existencia no lo sé. Si pudieran, uno podría concebir a Dios como una mera personificación mítica de tales cualidades creativas, más que como un agente independiente. Esto sería, por supuesto, improbable que satisfaga a alguien que siente tener una relación personal con Dios.

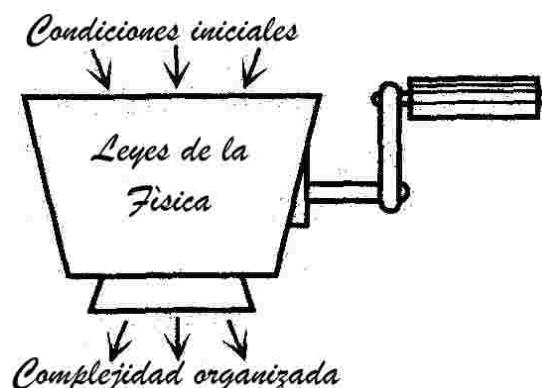


Figura 12. Representación simbólica de la evolución cósmica. El universo comienza en un estado relativamente simple y desprovisto de características, el cual es luego “procesado” por las leyes de la física para producir un estado que es rico en complejidad organizada.

¹⁶⁴ *Value and Existence* by John Leslie (Basil Blackwell, Oxford, 1979), p. 24

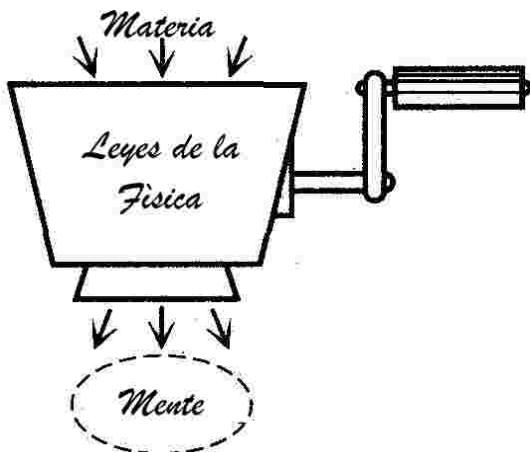


Figura 13. La evolución de la materia de la simplicidad a la complejidad representada en la figura 12 incluye la producción de organismos conscientes a partir de la materia inanimada.

Realidades Múltiples

Sin duda el desafío más serio al argumento del diseño proviene de la hipótesis alternativa de los [múltiples universos](#), o realidades múltiples. Introduce esta teoría en el capítulo 7 en conexión con el argumento cosmológico para la existencia de Dios. La idea básica es que el universo que nosotros vemos es sólo uno dentro de un vasto conjunto. Cuando fue desplegado como un ataque al argumento del diseño, la teoría proponía que todas las condiciones físicas estaban representadas en algún lugar del conjunto, y la razón por la cual nuestro propio y particular universo parecía diseñado, es que la vida (y por lo tanto la conciencia) sería capaz de aparecer sólo en aquellos universos que tuvieran la forma aparentemente inventada para tal fin. Por lo tanto no es sorprendente que nos encontremos en un universo tan propiciamente dispuesto para los requerimientos biológicos. Ha sido “antrópicamente seleccionado.”

Primero debemos preguntar qué evidencia hay de esos otros mundos. El filósofo George Gale ha compilado una lista de varias teorías físicas que de una forma u otra implican un conjunto de universos.¹⁶⁵ La teoría más frecuentemente discutida de múltiples universos concierne a la interpretación de la mecánica cuántica. Para ver cómo la incertidumbre cuántica conduce a la posibilidad de más de un mundo, consideraremos un ejemplo simple. Imagine un electrón solo inmerso en un campo magnético. El electrón posee un spin intrínseco que lo dota de un “momento magnético.” Habrá una energía de interacción del magnetismo del electrón con el campo magnético externo, y esta energía dependerá del ángulo entre la dirección del campo impuesto y la dirección del campo propio del electrón. Si los campos están alineados, la energía será baja; si son opuestos será alta; y para ángulos intermedios variará entre esos valores. Podemos efectivamente medir la orientación del electrón haciendo una medición de su energía de interacción. Lo que encontramos, y que es fundamental para las reglas de la mecánica cuántica, es que únicamente se observan *dos* valores de energía, correspondiendo, groseramente hablando, al momento magnético del electrón apuntando o bien a lo largo del campo magnético u oponiéndose a él.

Una situación interesante aparece ahora si deliberadamente preparamos el campo magnético del electrón para ser perpendicular al del campo impuesto. Es decir nos aseguramos que el electrón no está apuntando ni arriba ni abajo respecto del campo externo, sino atravesado al mismo. Matemáticamente, este arreglo es descripto representando al electrón por un estado que es una “superposición” de dos posibilidades. Es decir, el estado – de nuevo, groseramente hablando – es un híbrido de dos realidades superpuestas: spin-up y spin-down. Si ahora se hace una medición de la energía, se encontrarán siempre los resultados up o down, y ninguna mezcla extraña de ambos. Pero la incertidumbre inherente de la mecánica cuántica impide saber de antemano cual de esas dos posibilidades realmente prevalecerá. Las reglas de la mecánica cuántica permitirán, no obstante, asignar *probabilidades relativas* para cada una. Luego a la cruda versión de la teoría de los múltiples

¹⁶⁵ “Cosmological fecundity: Theories of Multiple Universes” by George Gale, in *Physical Cosmology and Philosophy* (ed. J. Leslie, Macmillan, London, 1990), p. 189

universos, cuando se efectúa una medición el universo se divide en dos copias, una en la cual el spin es up y otra en la cual es down.

Una versión más refinada prevé que hay siempre dos universos involucrados, que antes del experimento son idénticos en todos sus aspectos. El efecto del experimento es producir la diferenciación respecto de la dirección del spin del electrón. En el caso de que las probabilidades no sean iguales, uno puede imaginar que hay muchos mundos idénticos en proporción a la probabilidad relativa. Por ejemplo, si las probabilidades fueran 2/3 up y 1/3 down, uno podría imaginar tres universos iniciales, dos que permanecen idénticos y que tienen spin-up y el otro diferenciándose por tener spin-down. En general, uno necesitaría un infinito número de universos para cubrir todas las posibilidades.

Ahora, imagínese extendiendo esta idea de un simple electrón a todas las partículas cuánticas del universo. A través del cosmos, la incertidumbre inherente que enfrenta cada partícula cuántica está continuamente siendo resuelta por la diferenciación de la realidad en universos existentes cada vez más independientes. Esta imagen implica que todo lo que pueda ocurrir, ocurrirá. Esto es, cada conjunto de circunstancias que sean físicamente posibles (aunque no todas las que sean lógicamente posibles) se manifestará en algún lugar dentro de ese conjunto de infinitos universos.

Estos universos deben ser considerados de alguna manera “paralelos” o realidades coexistentes. Cualquier observador dado verá, por supuesto, sólo uno de ellos, pero debemos suponer que los estados conscientes del observador formarán parte del proceso de diferenciación, por lo tanto cada uno de esos mundos alternativos llevará copias de las mentes de los observadores. Es parte de la teoría que Ud. no pueda detectar esta “división” mental; cada copia de nosotros se siente única e integral. ¡No obstante, hay una asombrosa cantidad existente de copias de nosotros mismos! Aunque pueda parecer bizarra, la teoría es soportada, en una versión u otra, por un gran número de físicos como también algunos filósofos. Sus virtudes son particularmente convincentes para aquellos comprometidos en cosmología cuántica, donde las interpretaciones alternativas de la mecánica cuántica parecen aún menos satisfactorias. Debe ser dicho sin embargo, que la teoría tiene sus críticos, algunos de los cuales (por ejemplo Roger Penrose) desafía la exigencia que no notemos la división.

Esta no es la única conjectura para un conjunto de mundos. Otra, algo más fácil de visualizar, es que, lo que hemos llamado “el universo” pudiera ser sólo un pequeño parche de un sistema mucho más grande extendido en el espacio. Si pudiéramos ver más allá de los 10.000 o más millones de años luz accesibles a nuestros instrumentos, podríamos ver (según dice la teoría) otras regiones del universo que son muy diferentes del nuestro. No hay límite al número de dominios que podrían ser incluidos de esta forma, ya que el universo podría ser infinitamente grande. Estrictamente hablando, si definimos “universo” a aquello que es, entonces esta es una teoría de múltiples regiones más que una de múltiples universos, pero la distinción es irrelevante para nuestros propósitos.

La cuestión que tenemos que abordar es si la evidencia para el diseño puede ser tomada igualmente bien como evidencia para múltiples universos. En algunos aspectos la respuesta es indudablemente si. Por ejemplo, la organización espacial del cosmos a gran escala es importante para la vida. Si el universo fuera altamente irregular podría producir agujeros negros o gases turbulentos en vez de galaxias bien ordenadas conteniendo estrellas estables capaces de propiciar la vida en los planetas. Si Ud. imagina una variedad sin límite de mundos en los cuales la materia fue distribuida al azar, el caos generalmente prevalecería. Pero aquí o allí, sólo por casualidad, un oasis de orden podría aparecer, permitiendo que se formara la vida. Una adaptación del escenario del universo inflacionario sobre este lineamiento ha sido propuesta y estudiada por el físico Soviético Andrei Linde. Aunque el oasis de quietud fuera casi impensablemente raro, no sería una sorpresas que nos encontráramos habitando uno, porque no podríamos vivir en otro lugar. No estamos sorprendidos, después de todo, de encontrarnos atípicamente ubicados en la superficie de un planeta, cuando la sobrecogedora proporción del universo consiste de espacio casi vacío. Por lo tanto el orden cósmico no necesita ser atribuido al arreglo providencial de las cosas, sino, más bien, al inevitable efecto de selección conectado con nuestra propia existencia.

Este tipo de explicación puede aún ser extendido a alguna de las “coincidencias” de la física de las partículas. Discutí como el mecanismo de Higgs es invocado para explicar la forma en la cual las partículas W y Z adquieren sus masas. En las teorías de la unificación más elaboradas se introducen otros campos de Higgs para generar masas para todas las partículas, y también para fijar algunos otros parámetros de la teoría relacionados con la intensidad de las fuerzas. Ahora, como en la [analogía del lápiz que cae](#), el sistema puede caer en toda una variedad de estados (noreste, sudeste, sur sudeste, etc.), por tanto en ese mecanismo de Higgs más elaborado, las partículas pueden caer en diferentes

estados. Cuáles estados son adoptados dependería, aleatoriamente, de fluctuaciones cuánticas –por ejemplo de la incertidumbre inherente de la mecánica cuántica. En la teoría de múltiples universos uno puede suponer que cada elección posible es de alguna manera representada por un universo completo. Alternativamente diferentes elecciones podrían ocurrir en diferentes regiones del espacio. De esta manera uno podría presenciar un conjunto de sistemas cosmológicos en los cuales las masas y las fuerzas tomaran diferentes valores. Podría entonces ser posible argumentar que sólo donde esas cantidades asumen el valor “coincidental” necesario para la vida, podría esta formarse.

A pesar del poder de la teoría de los múltiples universos para explicar lo que de otra manera sería considerado hechos remarcablemente especiales sobre la naturaleza, la teoría enfrenta un número de serias objeciones. La primera de esas ya la he discutido en el capítulo 7, la cual es aquella llamada la navaja de Occam, que es introducir una vasta complejidad (en realidad infinita) para explicar las regularidades de sólo un universo. Encuentro que es una aproximación equivocada para explicar la peculiaridad de nuestro universo y científicamente cuestionable. Está también el problema obvio que la teoría puede explicar sólo aquellos aspectos de la naturaleza que son relevantes para la existencia de vida consciente; de otra manera no habría mecanismo de selección. Muchos de los ejemplos que he dado para el diseño, como el de la ingeniosidad y unidad de la física de las partículas, tienen poca conexión obvia con la biología. Recuerde que no es suficiente para una cuestión simplemente ser relevante para la biología, tiene que ser realmente crucial.

Otro punto que es a menudo pasado por alto es que, todas las teorías de los múltiples universos que derivan de la física real (como opuesto a simplemente fantasear sobre la existencia de otros mundos), las leyes de la física son las mismas en todos los mundos. La selección de universos ofrecidos está restringida a aquellos que son *físicamente* posibles, como opuesto a aquellos que pueden ser imaginados. Habrá muchos más universos que sean lógicamente posibles pero que contradigan las leyes de la física. En el ejemplo del electrón que tiene spin-up o spin-down, ambos mundos contienen un electrón con la misma carga eléctrica, obedeciendo las mismas leyes del electromagnetismo, etc. Por lo tanto, aunque tales teorías de múltiples universos provean una selección de *estados* alternativos del mundo, no pueden proveer una selección de *leyes*. Es verdad que la distinción entre características de la naturaleza que deben su existencia a una ley verdadera subyacente, y aquellas que pueden ser atribuidas a la selección de estados, no es siempre clara. Como hemos visto, ciertos parámetros, como las masas de las partículas, que previamente fueron fijadas dentro de la teoría como parte de leyes asumidas de la física, están ahora atribuidas a estados vía el mecanismo de Higgs. Pero este mecanismo puede trabajar sólo en una teoría equipada con su propio conjunto de leyes, y éstas contendrán más características a ser explicadas. Más aún, aunque las fluctuaciones cuánticas puedan causar que el mecanismo de Higgs opere diferente en diferentes universos, está lejos de ser claro en las teorías formuladas hasta el presente que todos los valores posibles de las masas de las partículas, intensidad de las fuerzas, etc., puedan ser obtenidos. Mayormente, el mecanismo de Higgs y similares llamados recursos quebradores de simetría producen un conjunto discreto – en verdad finito – de alternativas.

No es por lo tanto posible, como algunos físicos han sugerido, explicar la *legitimidad*¹⁶⁶ de la naturaleza de esta manera. ¿No podría ser posible, no obstante, extender la idea de los múltiples universos para abarcar diferentes leyes también? No hay objeción lógica a esto, sin embargo no hay tampoco justificación científica para ello. Pero supongamos que uno se entretenga con la existencia de una pila de alternativas aún más vasta para las cuales cualquier noción de ley, orden, o regularidad esté ausente. Aquí el caos rige totalmente. El comportamiento de estos mundos es totalmente aleatorio. Bien, de la misma manera que un mono jugando con una máquina de escribir podría eventualmente escribir Shakespeare, así en algún lugar entre la vasta pila de realidades habrá mundos que son parcialmente ordenados, sólo por casualidad. El razonamiento Antrópico entonces nos conduce a concluir que cualquier observador dado percibirá un mundo ordenado, increíblemente raro comparado con sus caóticos competidores. ¿Podría esto explicar nuestro mundo?

Yo pienso que la respuesta es claramente no. Permítanme repetir que el argumento antrópico trabaja sólo para aspectos de la naturaleza que son cruciales para la vida. Si hay una falta de leyes extrema, entonces el impresionante número de mundos inhabitados seleccionados aleatoriamente estarán ordenados sólo en formas que son esenciales para la preservación de la vida. No hay razón, por ejemplo, por la cual la carga del electrón deba permanecer absolutamente fija, o por la que diferentes electrones tengan que tener la misma carga. Pequeñas fluctuaciones en los valores de la carga

¹⁶⁶ Lawfulness en el original, entiéndase como tendencia a cumplir ciertas leyes NT

eléctrica no tendrían porqué ser amenazadores para la vida. ¿Pero que otra cosa mantiene fijo el valor – y fijo a una precisión asombrosa – sino es la ley de la física? Uno podría quizás imaginar un conjunto de universos con una selección de leyes, tales que cada universo venga con un conjunto completo y fijo de leyes. Podríamos entonces quizás usar el razonamiento antrópico para explicar porqué al menos algunas de las leyes que observamos son las que son. Pero esta teoría debe todavía presuponer el concepto de ley, y uno puede todavía preguntarse de donde vienen esas leyes, y como se “unen” al universo de una forma “eterna.”

Mi conclusión es que la teoría de los universos múltiples puede a lo sumo explicar solamente un limitado rango de características, y eso sólo si uno añade algún supuesto metafísico que parece no menos extravagante que el diseño. Al final la navaja de Occam me obliga a apostar mi dinero al diseño, pero, como siempre en temas de metafísica, la decisión es largamente una cuestión de gusto más que de juicio científico. Vale la pena notar, sin embargo, que es perfectamente consistente creer en ambos, un conjunto de universos y un Dios diseñador. Verdaderamente, como he discutido, las teorías plausibles de conjuntos de mundos todavía requieren una medida de explicación, como el carácter del universo en lo referente a atenerse a leyes y porqué existe un conjunto de universos en primer lugar. Debería también mencionar, que discusiones que comienzan con observaciones de un solo universo, y siguen haciendo inferencias sobre la improbabilidad de ésta o aquella característica, plantean problemas profundos concernientes a la naturaleza de la teoría de la probabilidad. Creo que esto ha sido satisfactoriamente tratado en el tratado de John Leslie, pero algunos comentaristas alegan que intentar argumentar hacia atrás “después del evento” – en este caso el evento es nuestra propia existencia – es falaz.

Darwinismo Cosmológico

Recientemente una interesante adaptación de la teoría de los múltiples universos ha sido propuesta por Lee Smolin en la cual evita alguna de las objeciones a los otros esquemas de múltiples universos previendo una conexión curiosa entre las necesidades de los organismos vivientes y la multiplicidad de muchos universos. En el capítulo 2 expliqué como la investigación de la cosmología cuántica sugería que “universos niño” podrían surgir espontáneamente como resultado de fluctuaciones cuánticas, y que uno podría vislumbrar un universo “madre” criando progenie de esta manera. Una circunstancia bajo la cual nuevos universos podrían nacer es la formación de un agujero negro. De acuerdo a la teoría clásica (pre cuántica) de la gravedad, un agujero negro oculta una singularidad, la cual puede ser considerada como una clase de borde del espacio–tiempo. En la versión cuántica, la singularidad es salvada de alguna manera. No sabemos como, pero podría ser que el límite preciso del espacio–tiempo sea reemplazado por una clase de túnel o garganta o cordón umbilical conectando nuestro universo con un nuevo universo niño. Como explicara en el capítulo 2, los efectos cuánticos podrían causar que el agujero negro eventualmente se evaporara cortando el cordón umbilical, enviando al universo niño a una carrera independiente.

El refinamiento de Smolin a esta especulación es que las condiciones extremas de la quasi singularidad tendrían el efecto de causar pequeñas variaciones aleatorias en las leyes de la física. En particular los valores de algunas de las constantes de la naturaleza, como las masas de las partículas, cargas y así siguiendo, podrían ser levemente distintas en el universo hijo de las que fueran en su madre. El universo hijo podría entonces evolucionar levemente distinto. Dadas suficientes generaciones, podrían ocurrir variaciones bastante amplias entre los diferentes universos. Es probable, no obstante, que esos que difieren sustancialmente del nuestro no evolucionen con estrellas como las nuestras (recordemos que las condiciones para la formación de estrellas son bastante especiales). Debido a que es más probable que los agujeros negros se formen de estrellas muertas, esos universos no producirían mucho agujeros negros, y por lo tanto no darían a luz muchos universos niños. Por contraste, esos universos con parámetros físicos apropiados para producir muchas estrellas podrían también formar muchos agujeros negros y así muchos universos poseyendo valores similares para esos parámetros. Esta diferencia en la fecundidad cósmica actuaría como un tipo de efecto de selección Darwiniana. Aunque los universos realmente no compiten, hay universos “exitosos” y “menos exitosos” por lo tanto la proporción de universos “exitosos” – en este caso fabricantes de estrellas eficientes – en la población total sería bastante grande. Smolin luego señala que la existencia de estrellas es un pre requisito para la formación de la vida. Por lo tanto las *mismas* condiciones que alientan la vida también alientan el nacimiento de otros universos propicios para la vida. En el esquema de Smolin, la vida no es una rareza extrema, como lo es en otras teorías de universos múltiples. En cambio la gran mayoría de los universos son habitables.

A pesar de su atractivo, no queda claro que la teoría de Smolin haga algún progreso al explicar la peculiaridad del universo. La conexión entre la selección biológica y cosmológica es una característica interesante, pero todavía podemos preguntarnos por qué las leyes de la naturaleza son tales que esa conexión ocurre. Cuan afortunado que los requerimientos de la vida coincidan con aquellos de los universos niños tan bien. Más aún, todavía requerimos la misma estructura básica en las leyes en todos esos universos para que la teoría tenga sentido. Que esas estructura básica también permita la formación de la vida permanece como un hecho remarcable¹⁶⁷ ●

¹⁶⁷ Notas del Dr. Ramón Leonardo Soto Moran 13 de Junio de 2003

- 1 La teoría del físico A. Linde (1986) sobre universos múltiples y como si no fuera poco, de universos eternamente jóvenes, a pesar de la fecha en que vio la luz no ha sido completamente superada, por tanto, sería bueno adicionar una nota aclaratoria sobre las ideas fundamentales de la misma que sería un claro complemento cuasi-gráfico del contenido de la presente lectura.
- 2 Si consideramos la teoría de Friedman en uno de sus casos particulares y que conduce nada más y nada menos que a la “implosión” de nuestro universo actual, no quedan ganas de seguir viviendo. Imaginemos que todo este derroche de creación que hemos presenciado y que todavía nos deslumbra en medida directa del desarrollo de la ciencia y la técnica actual, esté condenado al mismo supuesto comienzo de nuestro universo, es decir, un big bang periódico y regido por sabe Dios qué leyes. De ahí la importancia al menos figurativa y muy pero muy especulativa de pensar en las ideas mencionadas en el párrafo 1.
- 3 La chispa que hace arder una buena discusión sobre el supuesto “Darwinismo cosmológico”, no puede cegarnos en lo que respecta a posibles implicaciones como en su momento fue el tamaño desatino al que se llamó “Darwinismo social.” ¡Luego mucho ojo con eso!
- 4 Qué hay si de considerar que no estamos solos en este nuestro modesto, pequeño y quien sabe universo condenado a morir (todo esto haciendo uso mental de las teorías existentes), nos ponemos a pensar sobre los aspectos éticos de la comunicación entre civilizaciones de diferentes confines y entonces si, ¿por qué no hablar de un “Darwinismo ético”?
- 5 Como quiera que todo esto clasifica como “soberano ejercicio mental”, demuestra nuestra capacidad como género para validar la diferencia entre la mejor abeja y el peor arquitecto, con todo, y para que nadie se suicide antes de tiempo, bien debería mencionarse que al momento presento no hay teoría capaz de explicar los aspectos cuánticos y los gravitacionales (juntos) para estadios de un universo recién formado, lo que equivale a decir que en los tiempos menores que el tiempo de Plank, todavía no hay nada concreto que decir y que cuando sea posible, vaya Ud. a saber de qué estaremos hablando. ...

Capítulo 9 - El Misterio al Final del Universo

“He pensado siempre que es curioso que, mientras la mayoría de los científicos afirman evitar la religión, ésta realmente domina sus pensamientos más que a la de los clérigos”

Fred Hoyle

LA ESENCIA de este libro ha sido seguir la lógica de la racionalidad científica tan lejos como sea posible en la búsqueda de las últimas respuestas al misterio de la existencia. La idea que podría haber una explicación completa para todo – de modo tal que toda la física y la metafísica formarían un sistema explicativo cerrado – es atormentadora. ¿Pero qué confianza podemos tener que el objetivo de esta búsqueda no sea sólo una quimera?

El Poder de la Tortuga

En su famoso libro *Una Breve Historia del Tiempo* Stephen Hawking comienza contando una historia sobre una mujer que interrumpe una lectura sobre el universo para proclamar que ella sabe más. El mundo, declara, es realmente un disco plano descansando en la espalda de una tortuga gigante. Cuando el disertante le pregunta sobre qué descansa la tortuga, ella respondió, “¿Hay tortugas hasta el fondo!”

La historia simboliza el problema esencial que encaran todos aquellos que buscan la última respuesta al misterio de la existencia física. No gustaría explicar al mundo en términos de algo más fundamental, quizás un conjunto de causas, las cuales a su vez descansen sobre leyes o principios físicos, pero luego buscamos también alguna explicación para ese nivel más fundamental, y así siguiendo, ¿Tiene fin esa cadena de razonamientos? Es difícil estar satisfecho con una regresión al infinito. “¡Ninguna torre de tortugas!” proclama John Wheeler. “Ninguna estructura, ningún plan de organización, ningún esquema de ideas subyacente por otra estructura o nivel de ideas, subyacente por aún otro nivel, y aún otro, ad infinitum, hacia abajo, hacia la obscuridad sin fondo.”¹⁶⁸

¿Cuál es la alternativa? ¿Hay una “súper tortuga” auto soportada parada en la base de la torre? ¿Puede esta “súper tortuga” “auto soportarse” de alguna forma? Hemos visto como el filósofo Spinoza argumentó que el mundo no pudo haber sido de otra manera, que Dios no tuvo opción. El universo de Spinoza está soportado por la tortuga de la pura necesidad lógica. Aún aquellos que creen en la contingencia del mundo a menudo apelan al mismo razonamiento, argumentando que el mundo es explicado por Dios, y que Dios es lógicamente necesario. En el capítulo 7 revisé el problema que acompaña estos intentos de explicar la contingencia en términos de necesidad. El problema no es menos severo para aquellos que abolirían a Dios y argumentan a favor de una Teoría de Todo que pueda explicar el universo, y que además sea única y fundamentada en la necesidad lógica.

Parecería que la única alternativa es una torre infinita de tortugas o la existencia de una última súper tortuga, con la explicación de su existencia dentro de sí misma. Pero hay una tercera posibilidad: un lazo cerrado. Hay un pequeño y ameno libro llamado *Círculos Viciosos e Infinito*¹⁶⁹, con fotografías de anillos de gente (en vez de tortugas) cada una sentada en la falda de persona detrás, y a su vez soportando a la de adelante.¹⁷⁰ Este lazo cerrado de soporte mutuo simboliza la concepción del universo de John Wheeler. “La física hizo aparecer la participación del observador, ésta a su vez a la información; y la información a la física.”¹⁷¹ Esta sentencia más bien críptica está fundada en las ideas de la física cuántica, donde el observador y el mundo observado están estrechamente entrelazados: de allí la “participación del

¹⁶⁸ “Information, Physics, Quantum: The search for Links” by John Wheeler, in *Complexity, Entropy and the Physics of Information* (ed. Wojciech H Zurek Addison-Wesley, Redwood City, California, 1990), p. 8. See also n. 21 to ch. 7.

¹⁶⁹ *Vicious Circles and Infinity* en el original. NT.

¹⁷⁰ *Vicious Circles and Infinity: An Anthology of Paradoxes* by Patrick Hughes and Georges Brecht (Doubleday, New York 4975), Plate 15.

¹⁷¹ “Information” by Wheeler, p. 8

observador." La interpretación de Wheeler de la mecánica cuántica es que sólo a través de actos de observación la realidad física del mundo se materializa; y ese mismo mundo físico es el que genera a los observadores que son responsables por concretizar su existencia. Más aún, esta concretización se extiende aún a las mismas leyes de la física, por lo tanto Wheeler rechaza completamente la noción de leyes eternas: "Las leyes de la física no puede haber existido desde siempre y para siempre. Ellas deben haber devenido en existencia en el big bang."¹⁷² Por lo tanto en vez de apelar a leyes trascendentales que trajeron al universo a su existencia, Wheeler prefiere la imagen de un circuito "auto excitado", donde el universo se inicia a sí mismo en su existencia, con leyes y todo. El propio símbolo de Wheeler para este universo participativo de lazo cerrado se muestra en la figura 14. Tan prolijos como puedan ser estos sistemas realimentados, inevitablemente fallan por no tener una explicación completa de las cosas, uno todavía podría preguntarse: "¿Por qué este lazo?" o más aún "¿Porqué existe algún lazo en absoluto? Aún un lazo cerrado de tortugas auto soportadas invita a preguntar: "¿Porqué tortugas?"

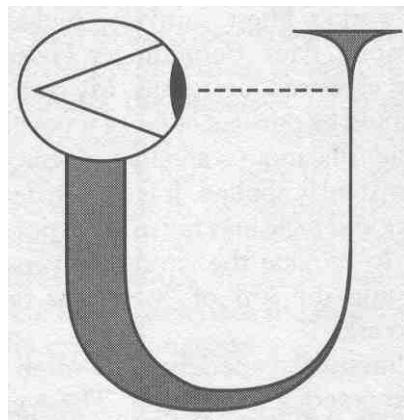


Figura 14. Representación simbólica de John Wheeler del "universo participativo" La gran U significa "universo", y el ojo de los observadores que emergen en alguna etapa, y luego miran atrás hacia el origen.

Los tres arreglos anteriores están fundados en la suposición de la racionalidad humana: es legítimo buscar "explicaciones" para las cosas, y que nosotros realmente entendemos algo sólo cuando está "explicado." Todavía tiene que admitirse que nuestro concepto de explicación racional probablemente deriva de nuestras observaciones del mundo y de nuestra herencia evolutiva. ¿Está claro que esto provee una guía adecuada cuando nos estamos enredando con preguntas fundamentales? ¿Podría ser el caso que la razón para la existencia no tenga explicación en el sentido usual? Esto no significa que el universo sea absurdo o sin sentido, sólo que un entendimiento de su existencia y propiedades, yacería fuera de las categorías del pensamiento racional humano. Hemos visto como la aplicación del razonamiento humano en su sentido más refinado y formal – el matemático – está no obstante lleno de paradojas e incertidumbre. El teorema de Gödel nos advierte que el método axiomático de hacer deducciones lógicas desde ciertas presunciones dadas no puede en general proveer un sistema sea a la vez probadamente completo y consistente. Habrá siempre verdades que están más allá, que no pueden ser alcanzadas desde un conjunto finito de axiomas. La búsqueda de un esquema lógico que provea una explicación completa y auto consistente de todo está condenada a fallar. como el número cabalístico de Chaitin, es algo que puede existir abstractamente "allá afuera" – verdaderamente podemos conocer su existencia y conocer pedazos de ella – pero no podemos saber su forma completa sobre la base del pensamiento racional.

Me parece que, en tanto insistimos en identificar "entendimiento" con "explicación racional" de las clases de cosas familiares en la ciencia, terminaremos inevitablemente con el problema de la tortuga: o una regresión infinita, o una super tortuga misteriosamente auto explicativa, o un anillo inexplicable anillo de tortugas. Habrá siempre misterio al final del universo. Puede ser, no obstante, que haya otras formas de entendimiento que satisfarán la mente inquisitiva. ¿Podrá tener sentido el universo si el problema de las

¹⁷² Ibid., p. 9.

tortugas? ¿Hay un camino al conocimiento - aún “conocimiento último” – que yazga afuera del camino de la investigación científica y del razonamiento lógico? Mucha gente asevera que si la hay. Es llamada misticismo.

Conocimiento Místico

Muchos científicos tienen una profunda desconfianza sobre el misticismo. No es sorprendente, ya que el pensamiento místico yace en el extremo opuesto del pensamiento racional, el cual es la base del método científico. También, el misticismo tiende a ser confundido con lo oculto, lo paranormal, y otras creencias marginales. De hecho mucho de los más grandes pensadores del mundo, incluyendo algunos científicos notables como Einstein, Pauli, Schrödinger, Heisenberg, Eddington y Jeans, han adherido al misticismo. Mi propio sentimiento es que el método científico debe ser perseguido tanto como sea posible. El misticismo no es un sustituto de la investigación científica y del razonamiento lógico mientras que este enfoque pueda ser aplicado consistentemente. Es solamente en las últimas y fundamentales preguntas en las cuales la lógica y la ciencia nos pueden fallar. No estoy diciendo que la ciencia y la lógica proveerán posiblemente respuestas erróneas, sino que pueden ser incapaces de responder la clase de “¿por qué?” (como opuesto de “¿cómo?”) que queremos preguntar.

La expresión “experiencia mística” es a menudo usada por gente religiosa o aquellos que practican meditación. Estas experiencias, que son sin duda suficientemente reales para aquellas personas que las experimentan, se dice que son difíciles de expresar en palabras. Los místicos frecuentemente hablan de una sensación sobrecogedora de estar en presencia del universo o de Dios, de vislumbrar una visión holística de la realidad, o estar en presencia de una influencia poderosa y cariñosa. Más importante aún es que los místicos pueden aprehender una *última realidad* en una sola experiencia, en contraste con la larga y tortuosa secuencia deductiva (explicada en el problema de la tortuga) del método lógico científico de investigación. A veces el camino místico parece involucrar un poco más que una sensación interna de paz – “una quietud gozosa y compasiva que yace más allá de la actividad de mentes ocupadas” fue la forma en que un físico colega una vez me lo describió. Einstein habló de un “sentimiento de religión cósmica” que inspiraba sus reflexiones sobre el orden y la armonía de la naturaleza. Algunos científicos, más notablemente los físicos Brian Josephson y David Bohm, creían que introspecciones místicas regularmente alcanzadas por prácticas de meditación silenciosa podrían ser una guía útil en la formulación de teorías científicas.

En otros casos las experiencias místicas parecen ser más directas y revelantes. Russell Stannard escribió sobre la impresión de enfrentar una fuerza dominante de alguna clase, “de una naturaleza de imponer respeto y reverencia. ... Hay un sentido de urgencia sobre eso; el poder es volcánico, reprimido, listo para ser liberado.”¹⁷³ El escritor de ciencia David Peat describe “un notable sentimiento de intensidad que parece inundar el mundo entero alrededor nuestro con sentido. ... Sentimos que estamos tocando algo universal y quizás eterno, de modo tal que el momento particular adquiere un carácter sublime y parece expandirse en el tiempo sin límite. Sentimos que todos los límites entre nosotros y el mundo externo se desvanecen, porque lo que estamos experimentando yace más allá de toda categoría y todo intento de ser capturado en el pensamiento lógico.”¹⁷⁴

El lenguaje utilizado para describir estas experiencias usualmente refleja la cultura de los individuos concernidos. Los místicos occidentales tienden a enfatizar la cualidad personal de la presencia, a menudo describiéndose a sí mismos como estando con alguien, usualmente con Dios, quien es diferente de ellos mismos pero con quien se siente una profunda unión. Hay por supuesto una larga tradición de tales experiencias religiosas en la Iglesia Cristiana y entre otras religiones occidentales. Los místicos orientales enfatizan la totalidad de la existencia y tienden a identificarse a ellos mismos más próximos a la presencia. El escritor Ken Wilber describe la experiencia mística Oriental en un lenguaje característicamente críptico:

En la conciencia mística, la Realidad es aprehendida directa e inmediatamente, significado sin mediación, ninguna elaboración simbólica, ninguna conceptualización, o abstracción, sujeto y

¹⁷³ *Grounds for Reasonable Belief* by Russell Stannard (Scottish Academic Press, Edinburgh, 1989), p. 169

¹⁷⁴ *The Philosopher's Stone: The Sciences of Synchronicity and Creativity* by F. David Peat (Bantam Doubleday, New York, 1991), in the press.

objeto se tornan uno en un acto atemporal y ubicuo que está más allá de todas y cada una de las formas de meditación. Los místicos universalmente hablan de contactar la realidad en su "semejanza", en su "mismidad", en su "quiedad", sin ningún intermediario; más allá de las palabras, símbolos, nombres, pensamientos, imágenes.¹⁷⁵

La esencia de la experiencia mística, entonces, es un tipo de atajo a la verdad, un contacto directo e inmediato con una última realidad percibida. De acuerdo a Rudy Rucker:

La enseñanza central del misticismo es esto: *La Realidad es Uno*. La práctica del misticismo consiste en encontrar vías de experimentar esta unidad directamente. El Uno ha sido llamado de varias formas, el Bien, Dios, el Cosmos, la Mente, el Vacío, o (quizás más neutralmente) el Absoluto. Ninguna puerta en el laberíntico castillo de la ciencia se abre directamente a lo Absoluto. Pero si uno entiende el laberinto suficientemente bien, es posible saltar fuera del sistema y experimentar el Absoluto por uno mismo. ... Pero, al final, el conocimiento místico es alcanzado de golpe o no se lo alcanza en lo absoluto. No hay un paso gradual. ...¹⁷⁶

En el capítulo 6 describí como algunos científicos y matemáticos aseguran haber tenido repentinias introspecciones reveladoras similares a aquellas experiencias místicas. Roger Penrose describe la inspiración matemática como una repentina irrupción en el reino Platónico. Rucker relata que Kurt Gödel también habló de "otra relación con la realidad", mediante la cual pudo percibir directamente objetos matemáticos, como el infinito. Gödel mismo fue aparentemente capaz de alcanzar esto mediante la adopción de prácticas meditativas, tales como cerrar los otros sentidos y yacer en un lugar tranquilo. Para otros científicos la experiencia reveladora ocurre espontáneamente, en el medio del clamor diario. Fred Hoyle relata que un incidente como ese le ocurrió mientras estaba manejando a través del norte de Inglaterra. "Tal como la revelación ocurrida a Pablo camino a Damasco, la mía ocurrió camino a Bower Moor.." Hoyle y su colaborador Jayant Narlikar estuvieron, a fines de los sesenta, trabajando en una teoría cosmológica del electromagnetismo que involucraba una matemática algo desalentadora. Un día, mientras estaban luchando con una integral particularmente complicada, Hoyle decidió tomarse unas vacaciones de Cambridge para reunirse con algunos colegas para caminar en las tierras altas escocesas.

A medida que las millas transcurrían volví mentalmente al problema de mecánica cuántica, de la manera confusa que habitualmente tengo para pensar las matemáticas en mi cabeza. Normalmente, tengo que escribir las cosas en un papel, y luego jugar con las ecuaciones e integrales de la mejor manera que pueda. Pero en algún lugar de Bowes Moor mi conocimiento de la matemática se clarificó, no un poco, no aún un montón, sino como si una inmensa luz brillante se hubiera encendido. ¿Cuánto me tomó convencerme totalmente que el problema estaba resuelto? Menos de cinco segundos. Sólo duró para estar seguro que antes que la claridad se desvaneciera tuviera lo suficiente de los pasos esenciales almacenados y disponibles en mi memoria. Es indicativo de la medida de la certidumbre que sentí que en los días sucesivos no me molesté en escribir nada en un papel. Cuando diez días más tarde, o algo así, retorne a Cambridge encontré posible escribir todo sin dificultad.¹⁷⁷

Hoyle también relata una conversación sobre el tópico de la revelación con Richard Feynman:

Algunos años atrás tuve una descripción gráfica de Dick Feynman de cómo se siente un momento de inspiración, y como es seguido de por una enorme sensación de euforia, que dura quizás dos o tres días. Le pregunté cuan a menudo le había ocurrido, a lo cual Feynman respondió 'cuatro', a lo cual ambos concordamos que doce días de euforia no era una gran recompensa por toda una vida de trabajo.¹⁷⁸

He mencionado la experiencia de Hoyle aquí en vez de hacerlo en el capítulo 6 porque él mismo la describe como un evento verdaderamente religioso (como opuesto a meramente platónico). Holyle cree que la organización del cosmos está regida por una "súper inteligencia" la cual quía su evolución a través de

¹⁷⁵ *Quantum Questions* (ed. Ken Wilber, New Science Library, Shambhala, Boulder, and London, 1984), p. 7

¹⁷⁶ *Infinity and Mind* by Rudy Rucker (Birkhauser, Boston 1982), pp47, 170.

¹⁷⁷ "The Universe: Past and Present Reflection" by Fred Hoyle, University of Cardiff report 70 (1981), p. 43

¹⁷⁸ Ibid., p. 42.

procesos cuánticos, una idea que he mencionado brevemente en el capítulo 7. Más aún, el de Hoyle es un Dios teológico (algo como el de Aristóteles o Teilhard de Chardin) dirigiendo al mundo a un estado final en el futuro infinito. Hoyle cree que actuando a escala cuántica esta súper inteligencia puede implantar ideas del futuro, ya completas en el cerebro humano. Esto, sugiere Hoyle, es el origen tanto de la inspiración matemática como musical.

El Infinito

En nuestra búsqueda de las últimas respuestas es difícil no ser conducido de una forma u otra al infinito. Ya sea este una infinita torre de tortugas, una infinidad de mundos paralelos, un conjunto infinito de proposiciones matemáticas o un Creador infinito, la existencia física seguramente no puede estar arraigada en algo infinito. Las religiones occidentales tienen una larga tradición en identificar a Dios con el Infinito, mientras que la filosofía oriental busca eliminar las diferencias entre el Uno y Muchos, e identificar el Vacío y el Infinito – cero e infinidad.

Cuando los primeros pensadores cristianos como Plotinus proclamaron que Dios es infinito, estaban primariamente preocupados en demostrar que Él no estaba limitado de alguna manera. El concepto matemático de infinidad era para esa época todavía bastante vago. Se creía generalmente la infinidad era un límite hacia el cual una enumeración podía tender, pero que en realidad es inalcanzable. Aún Aquino, quien concedió a Dios una naturaleza infinita, no estaba preparado para aceptar que la infinidad tenía más que una existencia potencial, como opuesto a una existencia real. Un Dios omnipotente “no puede hacer algo absolutamente ilimitado”, mantenía.

La creencia que el infinito era paradójico y contradictorio en sí mismo persistió hasta el siglo XIX. En esta etapa el matemático Georg Cantor, mientras investigaba problemas de trigonometría, finalmente tuvo éxito en proporcionar una demostración lógica y rigurosa de la auto consistencia del infinito real. Cantor pasó malos momentos con sus pares, fue despreciado por algunos matemáticos eminentes y tomado como loco. En efecto sufría de una enfermedad mental. Pero eventualmente las reglas para la manipulación consistente de números infinitos, aunque a menudo extrañas y anti intuitivas, llegaron a ser aceptadas. En verdad mucha de la matemática del siglo XX está basada en el concepto del infinito (o infinitesimal).

Si el infinito puede ser asido y manipulado usando pensamiento racional, ¿abre esto el camino a entender la explicación última de las cosas sin necesidad del misticismo? No, no lo hace. Para ver por qué, debemos echar un vistazo al concepto de infinito más de cerca.

Una de las sorpresas del trabajo de Cantor es que no hay sólo un infinito, sino una multitud de ellos. Por ejemplo, el conjunto de todos los números enteros y de los fraccionarios, son ambos infinitos. Uno siente intuitivamente que hay mas fracciones que enteros, pero no es tan así. Por otro lado, el conjunto de todos los decimales es más grande que el conjunto de todas las fracciones, o todos los enteros. Uno podría preguntarse ¿Hay un infinito más grande? Bien, ¿Qué pasa si combinamos todos los conjuntos infinitos juntos en un en un súper conjunto? La clase de todos los conjuntos posibles ha sido llamada el Absoluto de Cantor. Hay un problema. Esta entidad no es en sí misma un conjunto, porque si lo fuera por definición debería incluirse a si misma. Pero los conjuntos auto referenciales caen dentro de la paradoja de Russell.

Y aquí encontramos una vez más los límites “Gödelianos” al pensamiento racional – el misterio al final del universo. No podemos conocer el Absoluto de Cantor, o cualquier otro Absoluto, por medios racionales, para cualquier Absoluto, siendo una Unidad y por lo tanto completo dentro de sí mismo, debe auto incluirse. Como Rucker señalara en conexión con el Paisaje Mental – la clase de todos los conjuntos de ideas – “Si el Paisaje Mental es un Uno, entonces es un miembro de sí mismo, y por lo tanto sólo puede ser conocido a través de una iluminación o visión mística. Ningún pensamiento racional es miembro de sí mismo, por tanto ningún pensamiento racional puede atar el Paisaje Mental en un Uno.”¹⁷⁹

¹⁷⁹ *Infinity* by Rucker, p. 48.

¿Qué es el Hombre?

"No me siento como un alienígeno en este universo."

Freeman Dyson

¿Significa la franca admisión de la desesperanza discutida en la sección anterior que todo el razonamiento metafísico no tiene valor? ¿Deberíamos adoptar el enfoque pragmático ateísta que se conforma con tomar al universo como dado, y seguir catalogando sus propiedades? No hay duda que muchos científicos se oponen temperamentalmente a cualquier forma de metafísica y argumentos místicos. Desdeñan la noción que puede existir un Dios, o aún un principio o fundamento creativo impersonal que pudiera sostener la realidad y proveerla de sus aspectos contingentes menos arbitrariamente. Personalmente yo no comparto su desdén. Aunque muchas teorías metafísicas y teístas parezcan inventadas o infantiles, no son obviamente más absurdas que la creencia que el universo existe, y que existe de la forma que es, sin razón. Parece que al menos vale la pena tratar de construir una teoría metafísica que reduzca algo la arbitrariedad del mundo. Pero al final una explicación racional del mundo en el sentido de un sistema cerrado y completo de verdades lógicas es casi ciertamente imposible. Estamos impedidos de alcanzar el conocimiento último, de la última explicación, por varias reglas del razonamiento que nos alientan a buscar tal explicación en primer lugar. Si deseamos progresar más allá debemos abrazar un concepto diferente de la "compresión" de aquella de la explicación racional. Posiblemente la vía mística sea un camino a tal entendimiento. Yo nunca he tenido una experiencia mística, pero mantengo la mente abierta sobre el valor de tales experiencias. Puede ser que ellas provean la única ruta más allá de los límites a los cuales la ciencia y la filosofía puede llevarnos, el único camino posible a lo Último.

El tema central que he explorado en este libro es que a través de la ciencia, nosotros, seres humanos, somos capaces de aprehender al menos algo de los secretos de la naturaleza. Hemos descifrado parte del código cósmico. Por qué podría ser, Por qué el *Homo Sapiens* debería cargar la chispa de la racionalidad que provee la llave del universo, es un profundo enigma. Nosotros que somos niños del universo – polvo de estrellas animado – podemos no obstante reflexionar sobre la naturaleza del mismo universo, aún hasta el extremo de vislumbrar las reglas con las que funciona. Como hemos sido conectados a esta dimensión cósmica es un misterio. Pero la conexión no puede ser negada.

¿Qué significa esto? ¿Qué es el Hombre para ser parte de este privilegio? No puedo creer que nuestra existencia en este universo sea fortuita, un accidente de la historia, un bache incidental en el gran drama cósmico. Estamos involucrados demasiado íntimamente. Las especies físicas *Homo* pueden no significar nada, pero la existencia de la mente en algunos organismos sobre algunos planetas del universo es seguramente un hecho de fundamental significado. A través de los seres conscientes el universo ha generado auto conciencia. Esto no puede ser un detalle trivial, un subproducto menor de fuerzas sin propósito y sin sentido. Hay una verdadera razón de que nosotros estemos aquí •

Bibliografía Seleccionada

- Barbour, Ian G. *Religion in an Age of Science* (SCM Press, London, 1990).
- Barrow, John. *The World Within the World* (Clarendon Press, Oxford, 1988).
- Barrow, John. *Theories of Everything: The Quest for Ultimate Explanation* (Oxford University Press, Oxford, 1991).
- Barrow, John D., and Tipler, Frank J. *The Anthropic Cosmological Principle* (Clarendon Press, Oxford, 1986).
- Birch, Charles. *On Purpose* (New South Wales University Press, Kensington, 1990).
- Bohm, David. *Wholeness and the Implicate Order* (Routledge & Kegan Paul, London, 1980).
- Coveney, Peter, and Highfield, Roger. *The Arrow of Time* (W. H. Allen, London, 1990).
- Craig, William Lane. *The Cosmological Argument from Plato to Leibniz* (Macmillan, London, 1980).
- Drees, Wim B. *Beyond the Big Bang: Quantum Cosmologies and God* (Open Court, La Salle, Illinois, 1990).
- Dyson, Freeman. *Disturbing the Universe* (Harper & Row, New York, 1979).
- Ferris, Timothy. *Coming of Age in the Milky Way* (Morrow, New York, 1988).
- French, A. P., ed. *Einstein: A Centenary Volume* (Heinemann, London, 1979).
- Gleick, James. *Chaos: Making a New Science* (Viking, New York, 1987).
- Harrison, Edward R. *Cosmology* (Cambridge University Press, Cambridge, 1981).
- Hawking, Stephen W. *A Brief History of Time* (Bantam, London and New York, 1988).
- Langton, Christopher G., ed. *Artificial Life* (Addison-Wesley, Reading, Mass., 1989).
- Leslie, John. *Value and Existence* (Basil Blackwell, Oxford, 1979).
- Leslie, John. *Universes* (Routledge, London and New York, 1989).
- Leslie, John, ed. *Physical Cosmology and Philosophy* (Macmillan, London, 1990).
- Lovell, Bernard. *Man's Relation to the Universe* (Freeman, New York, 1975).
- MacKay, Donald M. *The Clockwork Image* (Inter-Varsity Press, London, 1974).
- McPherson, Thomas. *The Argument from Design* (Macmillan, London, 1972).
- Mickens, Ronald E., ed. *Mathematics and Science* (World Scientific Press, Singapore, 1990).
- Monod, Jacques. *Chance and Necessity*, trans. A. Wainhouse (Collins, London, 1972).
- Morris, Richard. *Time's Arrows* (Simon and Schuster, New York, 1984).
- Morris, Richard. *The Edges of Science* (Prentice-Hall Press, New York, 1990).
- Pagels, Heinz. *The Dreams of Reason* (Simon and Schuster, New York, 1988).
- Pais, Abraham. *Subtle Is the Lord: The Science and the Life of Albert Einstein* (Clarendon Press, Oxford, 1982).
- Peacocke, A. R., ed. *The Sciences and Theology in the Twentieth Century* (Oriel, Stocksfield, England, 1981).
- Penrose, Roger. *The Emperor's New Mind. Concerning Computers, Minds and the Laws of Physics* (Oxford University Press, Oxford, 1989).

- Pike, Nelson. *God and Timelessness* (Routledge & Kegan Paul, London, 1970).
- Poundstone, William. *The Recursive Universe* (Oxford University Press, Oxford 1985).
- Prigogine, Ilya, and Stengers, Isabelle. *Order Out of Chaos* (Heinemann, London 1984).
- Rowe, William. *The Cosmological Argument* (Princeton University Press, Princeton, 1975).
- Rucker, Rudy. *Infinity and the Mind* (Birkhauser, Boston, 1982).
- Russell, Robert John; Stoeger, William R.; and Coyne, George V., eds. *Physics, Philosophy and Theology: A Common Quest for Understanding* (Vatican Observatory, Vatican City State, 1988).
- Silesius, Angelus. *The Book of Angelus Silesius*, trans. Frederick Franck (Vintage Books, New York, 1976).
- Silk, Joseph. *The Big Bang* (Freeman, New York, 1980).
- Stannard, Russell. *Grounds for Reasonable Belief* (Scottish Academic Press, Edinburgh, 1989).
- Swinburne, Richard. *The Coherence of Theism* (Clarendon Press, Oxford, 1977).
- Torrance, Thomas. *Divine and Contingent Order* (Oxford University Press, Oxford, 1981).
- Trusted, Jennifer. *Physics and Metaphysics: Facts and Faith* (Routledge, London, 1991).
- Ward, Keith. Rational Theology and the Creativity of God (Pilgrim Press, New York, 1982).
- Ward, Keith. *The Turn of the Tide* (BBC Publications, London, 1986)
- Weinberg, Steven. *The First Three Minutes* (Andre Deutsch, London, 1977).
- Wilber, Ken, ed. *Quantum Questions* (New Science Library, Shambhala, Boulder, and London, 1984).
- Zurek, Wojciech H., ed. *Complexity, Entropy and the Physics of Information* (Addison-Wesley, Redwood City, California, 1990).●