

dad: sea una regularidad con probabilidades ineliminables menores a uno, o una regularidad en la que dichos factores probabilísticos están ausentes. No hay lugar, en otras palabras, para la pretensión de que dos universos democriteanos sean exactamente iguales en cada vóxel/tiempo, pero que uno de ellos sea determinista y el otro indeterminista.¹

Queda clara pues la diferencia entre los universos democriteanos deterministas e indeterministas, pero para comprender exactamente lo que ésta significa (y lo que no significa!) lo mejor será mimar un poco más nuestras saturadas imaginaciones y considerar una imagen modelo aún más simplificada del determinismo. En primer lugar, cambiemos las tres dimensiones por dos (de vóxels a píxels), y concedámonos también la opción de Quine de que haya sólo blanco y negro, de modo que en cada momento dado un píxel esté simplemente en posición de ENCENDIDO o APAGADO. Acabamos de aterrizar en el plano donde se despliegan los impresionantes diseños del Juego de la Vida de Conway. Este audaz modelo extraordinariamente simplificado del determinismo fue desarrollado en la década de 1960 por el matemático británico John Horton Conway. La Vida de Conway ilustra vividamente las mismas ideas que nos interesan a nosotros sin necesidad de ningún conocimiento técnico de biología ni de física, ni de ningún conocimiento matemático más allá de la aritmética más sencilla.

DE LA FÍSICA AL DISEÑO EN EL MUNDO VIDA DE CONWAY

La complejidad de un ser vivo individual menos su capacidad de anticipación (en relación con su entorno) es igual a la incertidumbre del entorno menos su sensibilidad (con relación a ese ser vivo en particular).

JORGE WAGENSBERG, «Complexity versus Uncertainty»

1. En realidad, por definición, no puede haber dos universos democriteanos exactamente iguales en todos y cada uno de sus vóxel/tiempo. Una de las virtudes de la simplificación de Quine es que nos permite considerar los universos como si fueran ediciones de libros: cuando todos los elementos están en los mismos lugares y en los mismos momentos, existe una *identidad*. La propuesta de Quine para acotar nuestras reflexiones sobre los mundos posibles también pasa por alto la dudosa idea de que debamos conocer la *identidad* de los átomos individuales —no sólo su tipo: carbón u oro— para comparar el contenido de los vóxels entre un universo y otro. (Aviso para expertos: no entro a considerar la tradición de los mundos estándar posibles; también evito problemas familiares en relación con la identidad transmundana.)

Capítulo 2

Una herramienta para pensar el determinismo

El determinismo consiste en la tesis de que «en cada momento dado hay exactamente un único futuro físicamente posible» (Van Inwagen, 1983, pág. 3). Podría pensarse que no es una idea particularmente difícil, pero sorprende ver cuán frecuentes son los errores sobre este punto, incluso entre autores muy rigurosos. En primer lugar, muchos pensadores asumen que el determinismo implica la inevitabilidad. No es así. En segundo lugar, muchos consideran evidente que el *indeterminismo* —la negación del determinismo— nos daría cierta libertad en cuanto agentes, cierta capacidad de maniobra, cierto margen, que simplemente no existiría en un universo determinista. Tampoco es así. En tercer lugar, se supone comúnmente que en un mundo determinista no hay *verdaderas* opciones, sino que éstas son sólo aparentes. Esto es falso. ¿*En serio?* Acabo de contradecir tres ideas tan centrales en los debates sobre la libertad, y tan raramente cuestionadas, que muchos lectores deben suponer que estoy de broma, o que uso estas palabras en algún sentido esotérico. No es el caso; lo que digo es que la compatencia con la que acostumbraban a tratarse estos temas, sin apenas entrar en ningún tipo de argumentación, es en sí misma un gran error.

ALGUNAS SIMPLIFICACIONES ÚTILES

Estas falsas nociones se encuentran en la base de todos los errores conceptuales relacionados con el libre albedrío y la libertad en general, de modo que, antes de poder hacer ningún avance en nuestra comprensión de cómo pudo evolucionar la libertad (en un universo que bien podría ser determinista), necesitamos equiparnos con algunos instrumentos de corrección, algunas herramientas para pensar que nos hagan menos vulnerables a los cantos de sirena de esas poderosas ilusiones. (Si siete usted ayer-

sión hacia la argumentación filosófica sobre el determinismo, la causalidad, la posibilidad, la necesidad y el indeterminismo de la física cuántica, será mejor que pase directamente al capítulo 5, pero en tal caso debe usted renegar de cualquier dependencia intelectual respecto a aquellas tres proposiciones «evidentes», por más intuitivas que le parezcan, y aceptar como artículo de fe mis palabras cuando le aseguro que dichas proposiciones son erróneas que han llevado por el mal camino miles de debates sobre el tema. Sin embargo, casi puedo garantizarle que es imposible mantener dicha resolución, de modo que será mejor que se sumerja en mis demostraciones de estos tres errores, que tienen sus sorpresas y sus recompensas, y no presuponen ningún conocimiento previo de la materia.)

En la novela de Thomas Pynchon *El arco iris de la gravedad*, uno de los personajes pronuncia un notable discurso:

Pero habías caído en una ilusión más grande, y más peligrosa. La ilusión del control. Que A podía hacer B. Pero eso era falso. Completamente. Nadie puede hacer nada. Las cosas simplemente pasan (Pynchon, 1973, pág. 34).

El personaje de Pynchon llega a la conclusión de que como los átomos no pueden hacer nada, y como las personas están hechas de átomos, en realidad las personas tampoco pueden hacer nada. No hay duda de que tiene razón cuando dice que existe una diferencia entre el hacer y el mero ocurrir, y también tiene razón cuando dice que nuestros intentos de comprender esta diferencia se ven amenazados por una peligrosa ilusión, pero interpreta esta ilusión al revés. El error no es tratar a las personas como si no estuvieran compuestas de multitud de átomos en relación con los cuales las cosas ocurren (como es el caso), sino *prácticamente* lo contrario: es tratar a los átomos como si fueran pequeñas personas que hacen cosas (lo que no es el caso). Ese error surge cuando extendemos las categorías que aplicamos a los agentes especialmente evolucionados al mundo más amplio de la física. El mundo en el que vivimos es el mundo de la acción, y cuando tratamos de imponer las nociones de este mundo al mundo de la física «inanimada» nos creamos un problema que fácilmente puede inducirnos a error.

La formulación adecuada de este aspecto de las complejas relaciones entre la física fundamental y la biología resulta intimidante, pero por fortuna existe una versión *módulo* de aquella relación que sirve perfectamente a nuestros propósitos. La diferencia entre un modelo y una herramienta desaparece si el modelo nos ayuda a comprender cosas que de otro modo nos resultarían demasiado complejas. La ciencia usa modelos a me-

Algunos de los universos democriteanos tienen reglas de transición deterministas, y otros no. Consideremos el conjunto de los universos en los que especificamos que siempre que un átomo esté rodeado por vóxeles va a tener una probabilidad de desaparecer de uno entre treinta y seis (en caso contrario, se mantiene en su sitio al instante siguiente). En tales universos es como si la Naturaleza lanzara un dado cada vez que uno de estos átomos se encuentra aislado de este modo; si sale un uno, el átomo «muerde»; en cualquier otro caso, vive otro instante y la Naturaleza lanza otra vez el dado, a menos que el átomo tenga ahora un vecino. Ésta sería una física *indeterminista*, que no especifica lo que ocurrirá a continuación en todos los aspectos, sino que deja algunas transiciones a la mera probabilidad. El demonio de Laplace debería esperar para ver cómo cae el dado antes de seguir adelante con su predicción del futuro. Otros conjuntos de universos obedecen a reglas de transición que no dejan nada al azar, que especifican exactamente qué vóxeles están ocupados por qué átomos en el momento siguiente. Ésos son los universos deterministas. Por supuesto, hay cuatrillos de variantes posibles en los universos democriteanos, algunas de ellas con reglas de transición deterministas y otras con reglas indeterministas.

¿Cómo podemos saber qué reglas de transición gobiernan un determinado universo democriteano? Podemos *estipular* una regla y luego considerar lo que podría o debería ser cierto si todos los miembros del conjunto obedecieran la regla, pero si nos dieran a estudiar un único universo democriteano, lo único que podríamos hacer es examinar la historia completa de sus vóxeles y ver qué regularidades se mantienen, si es que se mantiene alguna. Podemos subdividir la tarea en sus partes naturales y buscar regularidades que se cumplan en los orígenes para luego ver si se siguen manteniendo durante todo el tiempo posterior. Aun teniendo presente el inquietante descubrimiento de Hume de que nunca podremos demostrar que el futuro será igual al pasado, podemos tratar de encontrar todas las regularidades que podamos y hacer la enorme pero tentadora apuesta —¿qué podemos perder?— de que el futuro será igual al pasado, de que no estamos en uno de esos extraños universos que al principio parecen ponérmolos todo muy fácil, pero que se desmadran tras un período más o menos largo de regularidad.

Así pues, hemos encontrado una manera de dividir los universos democriteanos en deterministas, indeterministas y los que no son más que basura, que es como podríamos llamar a todos los universos *nihilistas* que no guardan ningún tipo de regularidad permanente en las transiciones. Nótese que, desde esta perspectiva, todo cuanto distingue el determinismo del indeterminismo es el hecho de exhibir un tipo u otro de regulari-

contradicción alguna en estos mundos: simplemente resulta que no «obedecen» a la misma física que se mantiene inmutable en los universos del conjunto A. La idea de Hume puede formularse del siguiente modo: por más hechos que podamos reunir sobre el pasado del universo donde nos encontramos, nunca podremos probar, desde un punto de vista lógico, que estamos en un universo del conjunto A, pues para cada universo del conjunto A existe un Vasto número de universos del conjunto B que son idénticos a él en cada vóxel/tiempo hasta el 17 de septiembre de 2004, y luego divergen de él en toda clase de sentidos sorprendentes o fatales.

Tal como señaló Hume, *esperamos* que la física que se ha cumplido hasta ahora en nuestro mundo siga cumpliéndose en el futuro, pero no podemos demostrar por pura lógica que seguiremos rigiéndonos por ella. Hemos llegado muy lejos en el descubrimiento de las regularidades que se han venido cumpliendo en el pasado en nuestro universo, e incluso hemos aprendido a hacer predicciones en tiempo real en relación con las estaciones, las mareas, la caída de los objetos, lo que uno encontrará si cava un agujero aquí o disecciona eso de allí, o bien si calienta esto y mezcla eso otro con agua, y otras cosas por el estilo. Tales transiciones son tan regulares, tan carentes de excepciones en nuestra experiencia, que hemos sido capaces de codificarlas y proyectarlas con la imaginación en el futuro. Hasta ahora nos ha salido bien; ha funcionado a las mil maravillas, pero no hay garantía lógica de que siga funcionando. Sin embargo, tenemos razones para creer que habitamos un universo donde este proceso de descubrimiento seguirá adelante *más o menos* indefinidamente, y producirá predicciones cada vez más específicas, fiables, detalladas y precisas, sobre la base de las regularidades que observamos. En otras palabras, podemos tomarnos a nosotros mismos como aproximaciones finitas e imperfectas del demonio de Laplace, pero no podemos demostrar, lógicamente, que nuestro éxito se va a mantener, sin presuponer las regularidades mismas cuya universalidad y eternidad pretendemos demostrar. Y existen otras razones, tal como veremos, para concluir que existen límites absolutos para nuestra capacidad de predecir el futuro. Si estos límites tienen alguna implicación respecto a nuestra autoimagen como agentes que toman decisiones y elecciones «libres», por las que se nos puede considerar propiamente responsables, es una de las resbaladizas cuestiones que vamos a tratar más adelante, y a la que nos vamos acercando con cautela, tratando de aclarar primero las cuestiones más sencillas. Nuestra forma de acercarnos gradualmente a nuestro tema, el *determinismo*, será ir definiendo un Vasto pero desvaneciente vecindario en el aún más Vasto espacio de los universos lógicamente posibles.

nudo y saca grandes beneficios de ellos. Nadie ha visto nunca un átomo, pero todos sabemos el «aspecto» que tiene: un pequeño sistema solar, con un núcleo como un racimo apretado de uvas rodeado de electrones que orbitan en diferentes trayectorias con sus pequeños halos. Este viejo conocido, el modelo Bohr (figura 2.1), es sin duda una versión en gran medida simplificada y distorsionada, pero en muchos casos resulta de gran ayuda para comprender la estructura básica de la materia.

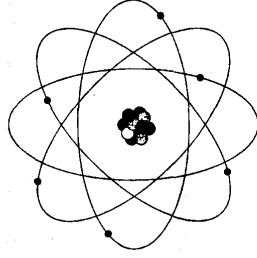


FIGURA 2.1. El átomo de Bohr.

Otro modelo cada vez más familiar para nuestra imaginación común es la gigantesca construcción de una doble hélice con multitud de escalones: el modelo Crick-Watson de la molécula de ADN (figura 2.2). También se trata de una útil simplificación.



FIGURA 2.2. La doble hélice del ADN.

Hace casi dos siglos el físico y matemático francés Pierre-Simon Laplace nos ofreció una imagen sencilla y vívida del determinismo, la cual ha orientado desde entonces nuestros modos de pensar y con ello también nuestras teorías y debates.

Si hubiera un intelecto que en cualquier momento dado conociera todas las fuerzas que animan la Naturaleza y las posiciones respectivas de los seres que la integran, y fuera lo bastante vasto como para someter todos sus datos a análisis, podría condensar en una sencilla fórmula el movimiento tanto de los principales cuerpos del universo como el de sus átomos más pequeños: para un intelecto así no podría haber nada incierto; y el futuro estaría tan presente ante sus ojos como el pasado (Laplace, 1814).

Dadle a este intelecto omnisciente, a menudo llamado el *demonio de Laplace*, una instantánea completa del «estado del universo» que muestre la localización exacta (y la trayectoria, masa y velocidad) de todas las partículas en aquel instante, y el demonio, con la ayuda de las leyes de la física, podrá anticipar cada colisión, cada rebote, cada roce que vaya a producirse en el instante siguiente, y actualizar la instantánea para ofrecer una nueva descripción del estado del universo, y así sucesivamente, hasta la eternidad.

En la figura 2.3, la instantánea se concentra en un momento $t1$ y en sólo tres de los átomos del mundo, junto con sus diversas trayectorias, y el demonio usa esta información para predecir la colisión y el rebote de dos

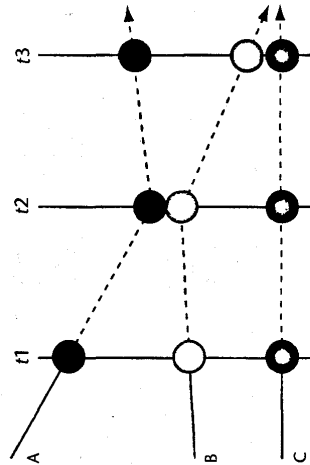


FIGURA 2.3. La instantánea de Laplace.

siguiente, un átomo sólo puede moverse a un vóxel vecino, o podemos permitir saltos más largos. Podríamos decir que la materia *puede* ser aniquilada —o creada— bajo tales o cuales condiciones: por ejemplo, podemos tener la regla de que siempre que haya dos átomos de oro dispuestos uno encima del otro, en el instante siguiente desaparecerán, y en el vóxel inferior aparecerá un átomo de plata. Tales reglas de transición son el equivalente a las leyes fundamentales de la física para cada universo imaginario y es útil verlas como conjuntos de universos en los que se cumplen estas regularidades, con independencia de las otras diferencias que pudieran haber entre ellos. Supongamos, por ejemplo, que queremos «mantener una física constante» pero variar las «condiciones iniciales», es decir, el estado del universo en su momento inicial. Para ello debemos considerar el conjunto de universos en los que se cumple siempre una determinada regla o conjunto de reglas de transición, pero donde las descripciones de estado de partida sean tan distintas como queramos. Esto viene a ser lo mismo que limitar nuestra atención, en la Biblioteca de Babel, a los libros escritos en inglés (gramatical); hay regularidades en la transición de carácter a carácter («a» antes de «e» excepto después de «x»... y *Toda pregunta comienza con mayúscula y termina con signo de interrogación...*), pero los temas tratados cubren todas las variaciones posibles.

Una mejor analogía entre la Biblioteca de Babel de Borges y nuestra Biblioteca de Demócrito se basa en la existencia, dentro de la Biblioteca de Babel, de un Vasto número de libros que comienzan bien —por ejemplo novelas, libros de historia o de química— pero luego degeneran repentinamente en una ensalada sin sentido, un galimatías tipográfico. Por cada libro que puede leerse de cubierta a cubierta para gusto y provecho del lector, hay un Vasto número de volúmenes que comienzan bien, con las regularidades en la gramática, vocabulario, trama, desarrollo de los personajes y demás que constituyen los requisitos previos del *tener sentido*, y luego degeneran en una falta total de estructura. No hay ninguna garantía *lógica* de que un libro que comienza bien vaya a continuar bien. Lo mismo puede decirse de la Biblioteca de Demócrito. Tal era la idea de David Hume, ya en el siglo XVIII, cuando observó que por más que el sol se haya levantado cada día hasta ahora, *no hay contradicción* en suponer que mañana sucederá algo distinto, y que el sol no se levantará. Para expresar su observación en términos de la Biblioteca de Demócrito, digamos que existe un conjunto de universos, A, en los que el sol *siempre* se levanta, y un conjunto de universos, B, en los que el sol se levanta *hasta [digamos] el 17 de septiembre de 2004, en cuyo momento sucede algo distinto*. No hay

grandes que las cantidades astronómicas. Lo usé para describir el número no infinito de libros que habría en la imaginaria Biblioteca de Babel de Borges, integrada por el conjunto de todos los libros posibles, y, por extensión, para describir el número de genomas que habría en la Biblioteca de Mendel, integrada por el conjunto de todos los genomas posibles. También acuñé el término *Vanishing* [«desVanecientes»] para definir, por ejemplo, el subconjunto de los libros *legibles*, casi inapreciable dentro de la Biblioteca de Babel. Llamemos al conjunto de todos los universos democriteanos posibles, es decir, al conjunto todas las combinaciones lógicamente posibles de átomos en el espacio y el tiempo, la Biblioteca de Demócrito. La Biblioteca de Demócrito es inconcebiblemente grande, por mucho que nos limitemos a un conjunto finito de parámetros (tipos de átomos, duraciones, etc.). Las cosas se ponen más interesantes cuando nos fijamos en subconjuntos concretos de la Biblioteca. Algunos universos de la Biblioteca de Demócrito están prácticamente vacíos, y otros están llenos de cosas; algunos experimentan gran cantidad de cambios a lo largo del tiempo y otros son estáticos (la misma descripción de estado, repetida eternamente). En algunos los cambios son completamente azarosos (en cada instante los átomos individuales aparecen y desaparecen como si fueran confeti); otros, en cambio, muestran pautas de regularidad y, por lo tanto, de predictibilidad. ¿Por qué algunos universos exhiben pautas? Simplemente porque la Biblioteca de Demócrito contiene todos los universos lógicamente posibles, de modo que en una u otra parte encontraremos *toda pauta posible*; la única regla es que cada descripción de estado debe ser completa y consistente (sólo un átomo por vóxel).

En cuanto comenzamos a imponer reglas adicionales respecto a qué puede estar al lado de qué, y respecto a qué descripciones de estado distintas pueden ir después de otras en el tiempo, podemos llegar a subconjuntos más interesantes dentro de la Biblioteca. Por ejemplo, podemos prohibir la «aniquilación de la materia» por una regla que diga que cada átomo que existe en el tiempo t debe existir en algún sitio en el tiempo $t+1$, aunque puede moverse a otro vóxel si ese vóxel está vacío. Esto garantiza que el universo nunca pierda átomos con el paso del tiempo. (Dicho con mayor precisión, lo «prohibimos» al ignorar el Vasto número de universos que no obedecen a esta regla y limitar nuestra atención a los Vastos pero desVanecientes subconjuntos de aquellos que sí la obedecen: «Considera el conjunto C de universos en los que la siguiente regla se cumple siempre...»). Podríamos establecer un límite de velocidad (como por ejemplo la velocidad de la luz) al añadir que, entre un momento y el

de ellos en $t2$, lo que lleva a nuevas posiciones en $t3$, y así sucesivamente. Un universo es *determinista* si existen reglas de transición (las leyes de la física) que *determinan exactamente* qué estado sucederá a cualquier estado particular que se describa. Si existe la menor desviación o incertidumbre, el universo es indeterminista.

En su formulación actual, este sencillo esquema contiene demasiados cabos sueltos: ¿cuán exacta debe ser la descripción de un estado?, ¿debemos realizar la proyección de todas las partículas atómicas?, ¿exactamente qué propiedades de las partículas debemos incluir en la descripción? Podemos resolver estas cuestiones mediante la adopción de otra idea simplificadora, la propuesta de W. V. O. Quine (1969) de restringir nuestra atención a universos imaginarios simples que él llama universos «democriteanos», en honor de Demócrito, el más inventivo de los antiguos atomistas griegos. Un universo democriteano consiste en unos cuantos «átomos» que se mueven por el «espacio». Eso es todo. Los átomos del universo democriteano no son átomos modernos llenos de complejidades cuánticas, sino verdaderos átomos *a-tómicos* (indivisibles, que no es posible partir), pequeños puntos uniformes de materia que no contienen partes, como los que postulaba Demócrito. El espacio que habitan debe ser también ultra-sencillo, para lo cual debemos *digitalizarlo*. La pantalla del ordenador es un buen ejemplo de un *plano* digitalizado, una estructura bidimensional de cientos de líneas y columnas de pequeños *píxeles*, o cuadros, cada uno de los cuales muestra en cada momento un color dentro de una serie finita de colores distintos. Si queremos digitalizar un espacio, un volumen tridimensional, necesitamos cubos (*vóxeles*, en el lenguaje de los gráficos informáticos). Imaginemos un universo compuesto por una infinita cuadrícula de pequeños vóxeles cúbicos, todos ellos completamente vacíos o completamente llenos (y conteniendo exactamente un átomo). Cada vóxel tiene una localización única o dirección en la cuadrícula, definida por sus tres coordenadas espaciales $\{x, y, z\}$. Del mismo modo que cualquier sistema de gráficos informáticos en color dispone de una cierta gama de valores —diferentes tonos de color— que pueden aplicarse a cada píxel, en un universo democriteano todos los vóxeles que no están vacíos (valor 0) contienen un átomo tomado de una gama limitada de átomos diferentes. Tal vez nos sea útil imaginarlos como diferentes colores: oro, plata, negro (carbón) y amarillo (sulfuro). Del mismo modo que podemos definir el conjunto de todas las imágenes posibles en una pantalla de ordenador (para cada sistema concreto de píxeles y colores) como el conjunto de todas las permutaciones de las aplicaciones de los colores definidos a los pí-

xels, podemos definir el conjunto de todos los momentos del universo democriteano como el conjunto de todas las permutaciones de las aplicaciones de los diversos tipos de átomos a todos los vóxeles.

Si lo que queremos es darle al demonio de Laplace una instantánea «completa» a partir de la cual trabajar, sabemos exactamente lo que debemos proporcionarle: la descripción de un estado dentro de un universo democriteano, que contenga el listado de los valores de todos los vóxeles en un momento dado. Así, un fragmento de la descripción de estado D_k tendría el siguiente aspecto:

en el tiempo t :
 vóxel {2, 6, 7} = plata,
 vóxel {2, 6, 8} = oro,
 vóxel {2, 6, 9} = 0,
 ... y así sucesivamente

No debemos preocuparnos por lo «detallado» que deba ser nuestra descripción, puesto que un universo democriteano tiene un límite definido, una diferencia mínima, y podemos comparar cualesquiera descripciones de estado del universo y descubrir las diferencias que pueda haber en el contenido de sus respectivos vóxeles. Mientras haya un número finito de elementos distintos (oro, plata, carbón, sulfuro...) podemos ordenar todas las descripciones de estado —alfabéticamente, por ejemplo— en función del vóxel y el elemento que lo ocupa. La descripción de estado 1 es el universo vacío en el tiempo t ; la descripción de estado 2 es igual que 1 excepto en que tiene un único átomo de aluminio que ocupa el vóxel {0, 0, 0}; la descripción 3 traslada este solitario átomo de aluminio al vóxel {0, 0, 1}; y así sucesivamente, hasta la última descripción (en orden alfabético), en la que el universo está lleno —todos los vóxeles— de zinc. Incorporaremos ahora el tiempo, la cuarta dimensión. Supongamos que en el siguiente «instante», el átomo de oro de {2, 6, 8} en D_k se mueve un vóxel hacia el este. Luego en D_{k+1} ,

en el tiempo $t+1$:
 ...
 vóxel {3, 6, 8} = oro.

Pensemos en cada «instante» de tiempo como un *frame* en una animación informática, que especifica el color o valor de cada vóxel en aquel

momento. Esta digitalización del espacio y el tiempo nos permite determinar las diferencias y los parecidos, y decir cuándo dos universos, o dos regiones o períodos de dichos universos, son exactamente iguales. Se puede resumir la historia de todo un universo democriteano con una sucesión de descripciones de estado, una para cada «instante», con independencia de lo que pueda durar dicho universo desde su Big Bang hasta su Muerte Caliente (o cualquier cosa que sustituya este principio y este final en tales mundos imaginarios). En otras palabras, un universo democriteano es como un vídeo digital, de cierta duración, en tres dimensiones. Podemos cortar el tiempo tan fino como queramos: treinta *frames* por segundo (como una película) o treinta billones de *frames* por segundo, dependiendo de cuáles sean nuestros propósitos. El tamaño de los vóxeles es mínimo: un átomo indivisible por vóxel, no más. Quine propuso una simplificación ulterior: imaginemos que todos los átomos son iguales (como si fueran electrones), de modo que podamos tratar cada vóxel como vacío (valor = 0) o lleno (valor = 1). Esta opción es como sustituir una pantalla en color por una pantalla en blanco y negro, una simplificación útil para ciertos propósitos, como veremos, pero no necesaria.

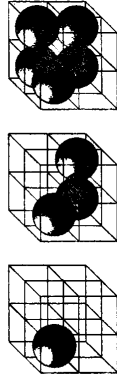


FIGURA 2.4. Tres de los 256 estados distintos de un universo democriteano de 8 vóxeles.

¿Cuántas maneras distintas hay de llenar los vóxeles con colores (o sólo con 0 y 1)? Por más que el tamaño de nuestro universo sea no sólo finito, sino positivamente pequeño, el número de posibilidades se multiplica muy rápidamente. Un universo que consista en sólo ocho vóxeles (un cubo de dos por dos) y un solo tipo de átomo (vacío o lleno, 0 o 1), y que dure sólo 3 «instantes», tiene ya más de 16 millones de variaciones distintas ($2^8 = 256$ descripciones distintas, que pueden agruparse en 256^3 series distintas de tres). Un segundo de un universo contenido en un cubo de azúcar (al ritmo *lento* de 30 *frames* por segundo y suponiendo que el cubo tenga sólo un millón de átomos de ancho) daría un número de estados inimaginable.

En *La peligrosa idea de Darwin*, introduje el término *Vast* [«Vasto»] para referirme a aquellos números que, aunque finitos, son mucho más