HERNÁN MIGUEL
(COORDINADOR)

Causación, explicación y contrafácticos

AUTORES

Hernán Miguel
Phil Dowe
Rolando Núñez
Miguel Ángel Fuentes
Jorge Paruelo
Mario Casanueva López
Ximena González Grandón
Pablo Melogno
Paul Humphreys
María Cristina Di Gregori
Federico E. López
Roman Frigg
Carl Hoefer
Carolina Sartorio
José A. Díez Calzada

prometeo libros

Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Prometeo Libros 2014.

Roman Frigg y Carl Hoefer: *Determinismo y probabilidad desde una perspectiv e humeana*. En: Hernán Miguel (coordinador): Causación, Explicación y Contrafácticos. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Prometeo Libros 2014, pp. 193-226.

Determinismo y probabilidad desde una perspectiva de humeana

Roman Frigg y Carl Hoefer[1]

1. Introducción

En una primera mirada, el "azar determinista" es un oxímoron: un evento es azaroso o determinista, pero no ambos. Sin embargo, el mundo está lleno de eventos que parecen ser exactamente eso: azarosos y deterministas a la vez. Aparatos de apuestas simples, como las monedas y los dados, son ejemplos de ello. Por un lado, se rigen por leyes deterministas –las leyes de la mecánica clásica– y por lo tanto, dada la condición inicial de, digamos, el lanzamiento de una moneda, queda determinado si saldrá cara o cruz.[2] Por otro lado, comúnmente le asignamos probabilidades a los diferentes resultados de lanzar la moneda, y hacerlo ha demostrado su eficacia en la orientación de nuestras acciones. El mismo dilema también emerge en contextos menos mundanos. La mecánica estadística clásica (que sigue siendo una parte importante de la física moderna) asigna probabilidades a la ocurrencia de ciertos eventos –por ejemplo a la difusión de un gas que se limitaba originalmente a

[1] Los autores aparecen en orden alfabético, el papel es totalmente colaborativo. Para contactar con los autores, escribir a r.p.frigg@lse.ac.uk y carl.hoefer@uwo.ca.

[2] Basamos nuestra discusión en la definición clásica de determinismo de Earman (1986, cap. 2), según la cual un sistema es determinista si y sólo si dos copias idénticas de ese sistema están en el mismo estado en todo momento si están en el mismo estado en un instante. En lo que sigue también restringimos nuestra atención a las aplicaciones de la mecánica clásica en la que las ecuaciones de movimiento tienen soluciones únicas. En estos casos la dinámica del sistema es determinista, y el estado del sistema en el tiempo, junto con la dinámica, determina el estado del sistema en todos los otros momentos (anteriores y posteriores). Para una discusión de indeterminismo en mecánica clásica ver Earman (1986, cap. 3) y Norton (2006).

la mitad izquierda de un recipiente– pero al mismo tiempo supone que los sistemas relevantes son deterministas. ¿Cómo se puede resolver este aparente conflicto?

Una respuesta a este problema sería la de adoptar una interpretación epistémica de la probabilidad y considerar la probabilidad que atribuimos a eventos tales como obtener cara al lanzar la moneda o la difusión del gas al abrir el obturador, como un reflejo de nuestra ignorancia sobre los detalles de la situación en lugar de las propiedades físicas del propio sistema. Los resultados están realmente determinados, pero no sabemos qué resultado habrá, por lo que utilizamos probabilidades para cuantificar nuestra incertidumbre sobre lo que sucederá. No hay contradicción entre el determinismo y las probabilidades así entendidas.

Sin embargo, al menos cuando se presenta en esta forma no calificada (volvemos a las calificaciones más abajo), esto no es satisfactorio. Hay probabilidades fijas para que ciertos eventos se produzcan, eventos que son sometidos a pruebas experimentales y que, en muchos casos, se rigen por leyes probabilísticas (por ejemplo, las leyes de la mecánica estadística). Así que estas probabilidades parecen no tener nada que ver con el conocimiento, o incluso la existencia, de las criaturas conscientes que estudian estos sistemas: la probabilidad de que una moneda aterrice en cara es de 0,5 y es abrumadoramente probable que un gas se propague cuando la caja está abierta, sin importar lo que alguien crea acerca de estos eventos. Los valores de estas probabilidades están determinadas por la forma en que las cosas son, no por lo que creemos acerca de ellas.[3] En otras palabras, estas probabilidades son chances, no creencias.

Ésta es una conclusión no bienvenida porque el azar y el determinismo parecen ser incompatibles. En este artículo argumentamos que, al menos para un humeano, este problema puede ser resuelto ya que las probabilidades objetivas de Hume son compatibles con la existencia de leyes deterministas subyacentes –propia proclamación de Lewis a pesar suyo–.[4]

[3] Este punto se hace a menudo en el contexto de la mecánica estadística, véase, por ejemplo, Albert (2000, p. 64), Loewer (2001, p. 611) y Goldstein (2001, p. 48); ver también Hoefer (2007, pp. 557, 563-564) y Maudlin (2007, p. 281-282).

[4] Loewer (2001; 2004) ha presentado una conciliación entre el determinismo y el azar desde una perspectiva de Hume. Sin embargo, creemos que esta reconciliación es problemática por las razones expuestas en Frigg (2008b).

En nuestro análisis nos centramos en un ejemplo sencillo, el lanzamiento de una moneda, luego desarrollamos un enfoque humeano de *chance* y, a continuación, mostramos que en este enfoque hay un sentido no trivial en el que los giros de la moneda son eventos fortuitos, mientras que al mismo tiempo están regulados por leyes deterministas. Esto no es trabajo en vano. De hecho, como indicamos brevemente en la última sección, las chances son introducidas en la mecánica estadística esencialmente de la misma manera que en el caso de la moneda, por lo que la idea básica de azar determinista desarrollada aquí se puede llevar a la mecánica estadística sin más preámbulos.

2. Lanzando una moneda

El lanzamiento de una moneda es el ejemplo más utilizado de un proceso aleatorio, y estamos firmemente convencidos de que la probabilidad de obtener cara o cruz es 0.5. Al mismo tiempo, también estamos firmemente convencidos de que las monedas obedecen las leyes de la mecánica, y que por lo tanto su vuelo, así como la posición de cara o cruz en la que caerá, están determinados por las condiciones iniciales y las fuerzas que actúan sobre ellas. ¿Podemos mantener consistentemente ambas convicciones?

Esta pregunta se ha discutido desde el punto de vista de la física por Keller (1986a), y más tarde, basándose en el trabajo de Keller, por Diaconis (1998) y Diaconis, Holmes y Montgomery (2007). Creemos que este enfoque proporciona todos los ingredientes necesarios para explicar por qué la probabilidad de obtener cara es igual a 0,5 y por qué no hay un conflicto entre esto y el hecho de que las monedas se rigen por las leyes de la mecánica clásica. Sin embargo, la explicación que ofrecemos difiere de la de Keller y Diaconis. Revisaremos ahora con cierto detalle sus argumentos, ya que sirven como trampolín para nuestra propia discusión del azar en lanzamientos de moneda en la Sección 4.

Keller presenta el siguiente modelo mecánico de lanzamiento de moneda al aire. Consideremos una moneda circular de radio r, de espesor insignificante, y con distribución de masa homogénea. La única fuerza que actúa sobre la moneda después de ser lanzada es la gravedad lineal, y la superficie sobre la que cae es blanda para que la moneda no rebote. Además, la moneda se lanza hacia arriba en dirección vertical

con velocidad v a la altura inicial h (por encima de la superficie sobre la que eventualmente aterrizará), de modo que gira con velocidad angular ω alrededor de un eje horizontal a lo largo del diámetro de la moneda (es decir que descartamos precesión). Resolviendo las ecuaciones de Newton para esta situación (y suponiendo que la moneda se lanza en posición horizontal) se obtiene

$$x(t) = vt - \frac{gt^2}{2} + h \quad (1)$$

$$\phi(t) = \omega t\,, \quad (2)$$

donde $x(t)$ es la altura de la moneda en el momento y $\phi(t)$ es el ángulo de la moneda con respecto al plano. Usando el radio de la moneda se puede entonces determinar qué punto de la moneda toca la superficie primero, y junto con el supuesto de que la moneda no rebota, ello determina si la moneda aterriza en cara o cruz. Estos cálculos nos permiten determinar qué condiciones iniciales dan como resultado que la moneda aterrice en cara o en cruz, respectivamente, es decir, nos permiten determinar para cada cuádrupla (x_0, v, ϕ_0, ω) cómo aterrizará la moneda que tenga esta condición inicial. Se ha supuesto que todos los lanzamientos de monedas comienzan a partir de la altura h y que todas las monedas salen de la mano en posición horizontal (esto es, x_0=h ϕ_0=0), y por lo tanto diferentes lanzamientos varían en su velocidad vertical y su velocidad angular. Suponiendo que la moneda comienza en cara, las condiciones iniciales situadas en las zonas negras del gráfico que se muestra en la Figura 1 resultan en caras, mientras que los que se encuentran en las zonas blancas resultan en cruces. Por esta razón Keller llama a las rayas blancas y negras hiperbólicas en la Figura 1, "pre-imágenes de caras y cruces".

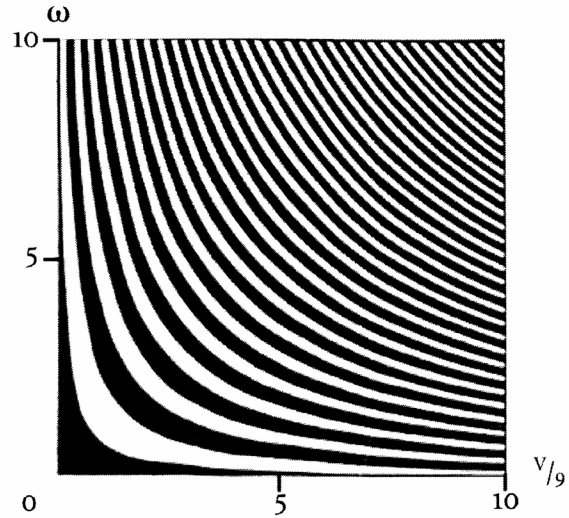

Figura 1. Las pre-imágenes de caras y cruces (Diaconis 1998, p. 803).

¿Qué se sigue de estas consideraciones acerca de la chance de obtener cara? Keller presenta un argumento en dos pasos. El primero es considerar la condición inicial como una variable aleatoria con una distribución de probabilidad continua $p(v, \omega)$ basándose en la región mostrada en la Figura 1 (es decir, $\omega \geq 0$ y $v \geq 0$). Así, la probabilidad de cruces, $p(H)$, está dada por

$$p(H) = \int_B \rho(v,\omega)dvd\omega, \quad (3)$$

donde B denota las regiones negras en $\omega \geq 0$ y $v \geq 0$. *Mutatis mutandis*, la ecuación (3) también da la probabilidad para cruces $p(T)$. El segundo paso consiste en mostrar que $p(H) = p(H) = 0.5$. Para este fin Keller demuestra un teorema de limitación, básicamente mostrando que si los límites de la región sobre la cual se calcula la integral en la ecuación (3) se desplaza hacia el infinito (es decir, si integramos sobre $B' = \{(v, \omega): v \geq k, \omega \geq k\}$ y dejamos que k tienda al infinito), entonces $p(H) = 0.5$ *sin importar qué* distribución $p(v, \omega)$ elijamos. Este resultado se hace intuitivamente plausible cuando nos damos cuenta de que las

áreas se adelgazan cuando los valores de ω y v aumentan (véase Fig. 1), por lo que la integral se vuelve menos sensible a las fluctuaciones en $p(v, \omega)$. Por lo tanto, en este límite existe una probabilidad única para caras.

Diaconis et al. (2007) generaliza este resultado relajando algunas de las suposiciones del modelado presentado y, a su vez, teniendo en cuenta la precesión de la moneda. Esto añade características interesantes para el modelo, pero ya que las principales características siguen siendo las mismas, nos mantendremos con el modelo simple discutido en esta sección.

Pasamos ahora a la discusión de la chance humeana y luego volveremos a la cuestión de cómo justificar $p(H) = 0.5$ en la Sección 4. La principal diferencia entre nuestro enfoque y el de Keller es que hacemos uso esencial de hechos acerca del "mosaico" humeano (es decir, la totalidad de los eventos que efectivamente ocurren –véase la sección 3.3–) y de ese modo evitamos apelar a un resultado limitador.

3. Chance objetiva humeana

En esta sección introducimos el concepto de chance objetiva humeana (COH), sobre el cual se basa nuestra reconciliación del determinismo con el azar. Los puntos de vista discutidos aquí son una extensión de los introducidos en Hoefer (2007), pero aquí se presentan de modo tal que se presta especial atención a aquellos aspectos de la teoría que se enfocan en la cuestión de la compatibilidad del determinismo con el azar.

3.1. Definiendo chance objetiva humeana

La definición de chance que se presenta en esta sección difiere de la definición canónica de Lewis (1994, p. 480). Por un lado, esto es una cuestión de presentación, pero por otro lado es también el resultado de corregir algunas omisiones y modificar algunas características centrales. Tres cambios son particularmente cruciales. En primer lugar, se corrige la omisión de cualquier referencia al Principio Principal (PP) en la definición de Lewis. En nuestra opinión PP es esencial para una comprensión de azar objetivo y por lo tanto tiene que aparecer en una forma u otra en su definición. En segundo lugar, nuestra definición es de chances o leyes probabilísticas, y no es una definición de las leyes de la naturaleza en general. Y, por último, por supuesto, nuestra definición permitirá que

haya probabilidades genuinas en un mundo que es en el fondo determinista. Volveremos a estos puntos en su momento.

Sea e un evento, por ejemplo, una moneda que haya salido cara o un dado que al caer muestre tres puntos.[5] Definimos chance de la siguiente manera.

Definición 1 (COH): La probabilidad de que el suceso e, $ch(e)$, es un número real en el intervalo [0, 1] tal que:

(1) la función *ch* satisface los axiomas de probabilidad,
(2) $ch(e)$ es el encastre[6] correcto para X en el Principio Principal, y
(3) la función *ch* superviene en el mosaico humeano de modo adecuado.

Las probabilidades así definidas son chances objetivas humeanas (COH); por razones de brevedad nos referimos a ellas simplemente como "chances". Utilizamos "TCOH" para referirnos a toda la teoría de la probabilidad que se presenta en esta sección. Los elementos de esta definición necesitan ser explicados, y proporcionar la explicación necesaria es la tarea de esta sección. Indiquemos brevemente lo que implica esta tarea.

La primera cláusula es sencilla, pero sin embargo no es del todo trivial. Lewis pensó que era un problema importante demostrar que las chances objetivas satisfacen los axiomas de probabilidad, y él argumentó extensamente que las chances, de hecho, tienen esta propiedad.[7] En nuestra opinión, no hay nada que probar aquí. TCOH *define* chance, y somos libres para construir en una definición lo que sea que parezca necesario. Una función que no satisface los axiomas de probabilidad, simplemente no puede ser una función para la chance y por lo tanto, simplemente requerimos que *ch* satisfaga los axiomas de probabilidad.

[5] Dos descargos son relevantes. Primero, nada de lo que sigue depende de una mejor caracterizacion de los eventos. Para una discusión acerca los diferentes modos de dar cuenta de los eventos véase Bennett (1988). Segundo, atribuimos chances a los eventos porque parece más natural para los casos que discutimos. Pero nada depende de ello; podemos, en cambio, tomar disposiciones. De hecho, como se hará claro en el contexto, en ciertas fórmulas que siguen, letras como e y X significarán proposiciones que describen eventos en vez de eventos. Esto no trae consecuencias a nuestra visión sobre la chance.

[6] N. del T.: "encastre" por "*plug-in*".

[7] Para una discusión de los argumentos de Lewis, ver Hoefer (2007, pp. 560-562).

La segunda cláusula debe desdoblarse en dos aspectos: necesitamos introducir PP, y tenemos que explicar qué hace que un encastre para X sea un encastre *correcto*. Mucho depende de esto, y una exposición cuidadosa es imprescindible. Por esta razón dedicamos subsecciones a cada punto (3.2 y 3.4).

La tercera cláusula también es problemática. Primero tenemos que introducir el mosaico humeano, luego decir lo que significa una función que superviene en el mosaico humeano, y entonces tenemos que explicar el concepto de supervenir en el mosaico humeano en el *sentido adecuado*. La segunda cláusula de la definición entra también aquí, ya que una parte importante de lo que significa "el sentido correcto" aquí quiere decir: de tal forma que permita un argumento sólido que justifique que PP se realice. Volvemos a estas cuestiones en la subsección 3.3.

3.2. Presentando el Principio Principal

Las probabilidades, en primer lugar, son guías para la acción. Buscamos probabilidades a la hora de tomar decisiones: si la probabilidad de lluvia de hoy es de 0,95 llevo mi paraguas conmigo, pero si es de 0,05, no lo hago. Como Lewis insistió, el requisito más importante y central en una teoría de la probabilidad es que permita ver cómo pueden jugar este papel de guía-de-la-acción. Este aspecto de las probabilidades está consagrado en el PP, que establece una conexión entre las probabilidades y la creencia que un agente racional debe asignar a ciertos eventos, en los que por "creencia" nos referimos a la probabilidad o grado de confianza de un agente. La idea intuitiva en PP es que la credibilidad de un agente racional sobre un evento e que se produzca debe ser igual a la probabilidad de e, siempre y cuando el actor no tenga conocimiento "inadmisible" en relación a que ocurra e.

Definición 2 (Principio Principal): Sea "*cr*" la creencia de un agente racional. El principio principal (PP) es la regla que

$$cr(e|X\&K) = x, \qquad (4)$$

donde X es la proposición de que la chance de que ocurra e es x (es decir, X = '$ch(e) = x$'), y K es conocimiento "admisible".

Antes de detallar lo que entendemos por conocimiento admisible, vamos a añadir algunas aclaraciones sobre el propósito de K. A primera vista, no parece claro por qué K debe aparecer en la ecuación (4) en absoluto, y aún queda mucho por decir acerca del rol que la función K está destinada a cumplir. La presencia de K no debería ser interpretada como una solicitud para recoger un tipo particular de conocimiento antes de que podamos utilizar PP. Por el contrario, siempre tenemos conocimiento acerca de situaciones, y K simplemente representa la suma de lo que *de facto* conocemos. Dependiendo de qué tipo de proposiciones contiene K, debemos o no usar la ecuación (4) para ajustar nuestras creencias. La prescripción es simple: si K no contiene ningún conocimiento inadmisible, entonces hay que utilizar la ecuación (4); si K contiene conocimiento inadmisible entonces no lo haga. En este último caso PP no dice nada acerca de cómo establecer nuestras creencias. Por lo tanto, la función de K es distinguir situaciones en las que deberíamos utilizar las probabilidades para orientar nuestra acción como lo especifica PP, de aquellas situaciones en las que no.[8]

La pregunta ahora es qué cuenta como conocimiento "admisible". La definición original de Lewis es:

> Las proposiciones admisibles son el tipo de información cuyo impacto en las creencias acerca de los resultados viene totalmente dado por el modo de creencia sobre las chances de esos resultados. (Lewis 1980, p. 92)

Esta definición ha dado lugar a controversia, y el propio Lewis la consideró como demasiado imprecisa, por lo que la reemplazó con una versión indexada en el tiempo con el fin de ser capaz de decir que todos los eventos pasados tienen probabilidad 0 ó 1. Para una discusión de la definición revisada de Lewis y la cuestión del tiempo ver Hoefer (2007, pp. 553-555 y 558-560). Aquí aprovechamos esta discusión y asumimos que estas correcciones no son sólo innecesarias, sino también incorrectas. Las probabilidades se adjuntan a las circunstancias (la "configuración

[8] En algunos casos donde se tiene conocimiento inadmisible, la información sobre el azar aún puede ser útil para establecer nuestro nivel de creencia, pero no hay una regla general para prescribir cómo debe usarse. En algunos casos extremos la información que $ch(e) = x$ puede ser en sí inadmisible; éstos son los llamados casos *socavadores*. Dejamos de lado este problema en este trabajo, véase Hoefer (1997) para más detalles sobre cómo se deben tratar.

de las chances") y no a mundos-en-tiempos-específicos. La definición original de admisibilidad que Lewis dio era esencialmente correcta. Las probabilidades son una guía para la acción *cuando no hay mejor información disponible*. Así que la esencia del requisito de admisibilidad es excluir la posesión del agente de otros conocimientos relevantes para la aparición de *e*, el tipo de conocimiento cuya posesión podría hacer que ya no fuera razonable o deseable establecer una creencia igual a la chance objetiva. Para utilizar el ejemplo usual (y tonto): si se tiene una bola de cristal de total confiabilidad que muestra los acontecimientos futuros, se podría tener conocimiento inadmisible sobre un evento azaroso como el lanzamiento de moneda dentro de una semana. Claramente, si la bola de cristal muestra que el lanzamiento de la moneda resulta en cruz, y se confía en las revelaciones de la bola, no sería razonable establecer la creencia sobre que caerá en cruz en 0.5 para ese lanzamiento; se tiene conocimiento inadmisible. Este ejemplo ayuda a que la idea de admisibilidad sea intuitivamente clara, y también apunta a un hecho muy importante en nuestro mundo: la evidencia inadmisible no es algo que normalmente tenemos –si la tuviésemos, entonces sería bastante inútil tener probabilidades–.

Sin embargo, es posible dar una definición un poco más precisa de admisibilidad (Hoefer 2008, cap. 2).

Definición 3 (admisibilidad): Una proposición *P* es admisible en relación a una proposición especificando-resultado *E* para una configuración de probabilidades *S* si y sólo si *P* contiene sólo el tipo de información cuyo impacto sobre la creencia razonable de *E*, si es que hay alguna, proviene en su totalidad por medio del impacto en la creencia de las probabilidades de esos resultados.

Esta definición deja en claro que la admisibilidad es relativa a la configuración de probabilidad (*chance set-up*) y sus posibles eventos-resultados. También es relativo al agente cuya función de creencia razonable se invoca en PP. La relatividad respecto al agente (relatividad-agente) que posee la admisibilidad puede ser más o menos extrema, dependiendo de cuán altamente limitada una función de creencia deba estar para contar como "razonable" o "racional". Para nuestros propósitos la relatividad-agente no es pertinente, y vamos a suponer que todos los agentes razonables están de acuerdo sobre si una proposición *P* debe o

no debe tener un impacto en la creencia de *E*, cuando se agrega *P* a un stock adicional de conocimientos previos *K*.

3.3. *Superveniencia humeana*

El *mosaico humeano* (MH) es el conjunto de todo lo que efectivamente sucede, es decir, todos los hechos que ocurren en todo momento. Hay una pregunta sobre qué credenciales debe tener algo para ser parte del mosaico. Nada en lo que sigue depende de cómo se resuelven los detalles de este asunto. Lo que importa es que las modalidades irreductibles, poderes, propensiones, conexiones necesarias, etc., no son parte de MH. Esto es lo "humeano" en la superveniencia humeana.

La idea principal de superveniencia humeana es que las chances están implicadas en el patrón general de eventos y procesos en el MH, es decir, las probabilidades están implicadas por lo que sucede en realidad. Una vez más podemos hacer una comparación con el frecuentismo efectivo, que satisface la superveniencia humeana de una manera particularmente simple: el patrón general de los eventos determina únicamente la frecuencia relativa de un evento, y por lo tanto su probabilidad. Por esta razón, las probabilidades frecuentistas no pueden diferir de un mundo a otro a menos que haya una diferencia en el MH. En otras palabras, el frecuentismo efectivo no tiene tolerancia a la frecuencia, y por lo tanto las probabilidades frecuentistas supervienen en hechos efectivos. Esto contrasta con las teorías de propensión, que tienen máxima tolerancia de frecuencia. COH satisface la superveniencia humeana también, pero no superviene *simplemente* ya que la relación entre los eventos que ocurrieron y las chances es más compleja: la TCOH postula que las probabilidades son números asignados a los eventos por las reglas de probabilidad que son parte de un *Mejor Sistema* de esas reglas, donde "mejor" significa que el sistema ofrece una combinación tan buena como los eventos efectivos permitirán de *simpleza*, *fuerza* y *ajuste*.

La idea de mejor sistema humeano de probabilidades se puede ilustrar con un experimento mental. Para ello, introduciremos una criatura ficticia, el Demonio de Lewis. A diferencia de los seres humanos que sólo pueden conocer una pequeña parte del mosaico humeano, el Demonio de Lewis conoce el mosaico completo. El demonio ahora formula todos los posibles sistemas de reglas de probabilidad con respecto a eventos

en el MH, es decir, las reglas que asignan probabilidades a eventos tales como obtener cara al lanzar una moneda al aire. En la mera formulación de tales normas, se asume que no hay una interpretación de la probabilidad. Las reglas en estos sistemas asignan números a los eventos. Estos números tienen que satisfacer los axiomas de probabilidad –es por eso que son "reglas de probabilidad"–, pero no se requiere nada más que esto en esta etapa. Entonces al demonio se le pide elegir el mejor entre estos sistemas, donde el mejor sistema es el que alcanza el mejor equilibrio entre sencillez, fuerza y ajuste. Las reglas de probabilidad del sistema que salga de esta competencia como el mejor sistema, entonces, por definición, se convierten en las "reglas de chances", y la chance de un tipo de evento *E* es simplemente el número que esta regla de chances le asigna. Es decir, las chances de que ciertos tipos de eventos se produzcan (dada la instanciación de condiciones de la configuración), simplemente son lo que las leyes probabilísticas del mejor sistema dicen que son.

Definición 4 (BS-superveniencia humeana): Una regla de probabilidad es BS-superveniente humeana en MH ("HBS-superviene en el MH") si y sólo si es parte de un Mejor Sistema, es decir, el sistema que logra el mejor equilibrio entre la simplicidad, la fuerza y el ajuste dado el MH.

La cláusula (3) en la Definición 1 ahora se puede hacer más precisa: la función *ch* HBS-superviene en el MH.

No es necesario decir que mucho depende de la forma en que entendemos sencillez, fuerza y ajuste. Antes de discutir estos conceptos con más detalle, vamos a ilustrar la idea principal de HBS-superveniencia con un ejemplo. La pregunta que tenemos que hacernos es cómo ciertos aspectos de los patrones de eventos en el MH pueden ser capturados mediante la adición de una regla de probabilidad acerca de lanzamientos de moneda. En este planeta, por lo menos, las monedas están presentes en todos lados, y acostumbramos a lanzarlas para que nos ayuden a tomar decisiones. Así que el evento-tipo al que llamamos "un buen lanzamiento de moneda al aire" se ha generalizado en el MH por aquí. Más aún, es un hecho, en primer lugar, que en el MH la frecuencia relativa de cada tipo discernible de aterrizaje de tal lado hacia arriba (cuando monedas de forma y diseño similar son lanzadas, o una moneda es lanzada repetidamente) es muy cercano a 0,5 y, segundo, que no hay patrones fácilmente discernidos de los resultados de los lanzamientos (no es el caso,

por ejemplo, que una secuencia de resultados consista en caras y cruces alternadas). La TCOH ahora nos invita a considerar todas las posibles reglas de probabilidad para una determinada clase de eventos y luego elegir la que alcanza el mejor balance entre simplicidad, fuerza y ajuste. Por supuesto, hay un número infinito de reglas. Una, por ejemplo, considera a $p(H)= 0,1$ y $p(T)= 0,9$; otra regla postula que $p(H)= p(T) = 0,5$, y otra regla dice que $p(H)$ es la frecuencia efectiva de caras y que $p(T)$ es la frecuencia efectiva de las cruces. Dado que la frecuencia de las caras y las cruces es de aproximadamente 0,5, la primera regla tiene mal ajuste, en cualquier rango su ajuste es peor que el ajuste de las otras dos. Pero, ¿cómo decidir entre la segunda y la tercera regla?

En este punto las consideraciones de fuerza entran en juego. De hecho, puede haber una regla de probabilidad aún mejor que podría ser parte del Mejor Sistema, que abarcaría las monedas y los dados y tetraedros y dodecaedros y otras figuras simétricas, sólidos lanzables/rodables. La regla diría que cuando tal y tal simetría sea encontrada en un objeto sólido de tamaño regular con n posibles caras que pueden aterrizar hacia arriba (o hacia abajo, pensando en un tetraedro), y cuando estos objetos son lanzados/rodados, las probabilidades de que cada cara distinta sea la que aterrice hacia arriba (o hacia abajo) es exactamente $1/n$. Dado lo que sabemos acerca de los dados y los tetraedros y ese tipo de figuras, es muy posible que esta norma pertenezca al Mejor Sistema, e implica la probabilidad de los lanzamientos de monedas. Por lo tanto, aumenta tanto la simplicidad y la fuerza sin mucha pérdida de ajuste, y por lo tanto en balance es mejor que el segundo sistema anterior (que establece la igualdad de probabilidades para frecuencias relativas). Por lo tanto, la probabilidad de cara justo en un lanzamiento de moneda parece ciertamente existir y ser 0,5, en el Mejor Sistema para nuestro mundo.

Volvemos ahora a la discusión de superveniencia humeana. La TCOH afirma que las chances objetivas son las probabilidades dadas por el Mejor Sistema general de reglas-de-probabilidad para nuestro mundo, y por lo tanto es crucial para entender la TCOH misma, así como las ventajas que ella tiene sobre otros enfoques acerca de la probabilidad, que tengamos la mayor y más firme comprensión que sea posible de los conceptos de simplicidad, la fuerza y ajuste.

Comencemos con la simplicidad. Éste es un concepto muy difícil de definir con precisión, y aún así, creemos que es suficiente lo que se puede decir sobre esto para marcar una tilde en la TCOH. A nuestro entender, la simplicidad tiene dos aspectos, *simplicidad en la formulación* y *simplicidad en derivación*. La primera es lo que se entiende en general cuando se proponen argumentos sobre la simplicidad: una relación lineal entre dos variables es más simple que un polinomio de orden 325, una ecuación diferencial de primer orden homogénea es más simple que una ecuación integral-diferencial no lineal, etc. No es fácil de definir qué regla general conduce a estos juicios, pero esto no representa un serio obstáculo para nosotros, porque no hay nada en lo que sigue que dependa de los juicios de simplicidad de este tipo (y aunque lo hubiera, no sería un desastre, ya que las intuiciones de la gente sobre este tema por lo general no son muy lejanas). Otro componente de la simplicidad en la formulación es cuántas reglas de probabilidad diferentes contiene un sistema. *Ceteris paribus*, cuanto menos reglas un sistema tiene, más simple es. El segundo aspecto de la simplicidad, *la simplicidad en la derivación*, se centra en los costes computacionales tomados en la obtención de un resultado deseado. La pregunta es: ¿cuántos pasos deductivos tenemos que hacer con el fin de derivar las conclusiones deseadas? Algunos sistemas permiten derivaciones más cortas que otros. Es importante no confundir simplicidad en este sentido con una noción subjetiva de derivación "fácil" o "difícil". El asunto en cuestión aquí es el número de pasos deductivos necesarios para derivar una conclusión, y esto es una cantidad completamente objetiva, la que podría ser cuantificada, por ejemplo, mediante el uso de una medida como la complejidad computacional de Kolmogorov (vagamente, la longitud del programa más corto capaz de derivar el resultado). Por lo tanto, los costos computacionales son un problema para los humanos y para el Demonio por igual –la diferencia está sólo en que el demonio no se preocupa por ellos porque tiene recursos ilimitados, mientras que nosotros no–.

La simplicidad siempre se puede mejorar mediante la eliminación del sistema de reglas de probabilidad perfectamente buenas. Sin embargo, en general, la mejora de la simplicidad de esta manera no es una buena estrategia, ya que conlleva un costo demasiado alto en términos de fuerza. La fuerza del sistema se mide por su ámbito de aplicación. Cuanto mayor sea el alcance del sistema, más fuerte es. En otras palabras, cuanto mayor

sea la parte del MH que el sistema es capaz de explicar, mejor será en términos de fuerza. El ejemplo anterior ilustra el punto: un sistema que sólo se refiere a las monedas es más débil que un sistema que abarca también otras configuraciones de probabilidad como la ruleta, los dados, etc.

El Mejor Sistema no sólo debe atribuir probabilidades a un montón de tipos de eventos, y hacerlo de una manera tan simple como sea posible, ¡sino que también debe atribuir las probabilidades *correctas*! Pero ¿cuáles son las probabilidades *correctas*? Cada sistema asigna probabilidades a los posibles cursos de historia, entre ellos el curso efectivo. Con Lewis, ahora postulamos que el ajuste del sistema se mide por la probabilidad que se le asigna al curso *efectivo* de la historia, es decir, cuán probable es que ocurran las cosas que efectivamente ocurren. Como ejemplo, considere un mosaico humeano que consiste en sólo diez resultados de una moneda al aire: *HHTHTTHHTT*. De ello se deduce inmediatamente que el primer sistema anterior ($p(H)= 0{,}1$ y $p(T)= 0.9$) tiene peor ajuste que el segundo ($p(H)= p(T)= 0.5$) ya que $0.1^5 0.9^5 < 0.5^{10}$. Este ejemplo también muestra que un sistema tiene un mejor ajuste cuando se mantiene cerca de las frecuencias efectivas, tal como intuitivamente esperaríamos.[9]

Así que la forma en que se evalúan los sistemas es objetiva y no se ha apelado a valores o limitaciones "pragmáticas" o específicamente "humanas". Sin embargo, aceptamos dos (no muy controvertidos) supuestos que aseguran que el Mejor Sistema, cualquiera que sea su forma concreta, comparte al menos algunas de las características esenciales con la ciencia tal como la conocemos nosotros, los humanos. El primer supuesto es el *pluralismo ontológico*, que niega que existan sólo entidades básicas/micro. Algunos reduccionistas testarudos niegan que exista nada excepto entidades micro básicas. Así, dirían que las sillas, ríos, gatos, árboles, etc., no existen. Negamos esto. Incluso si una moneda con el tiempo consiste en enjambre de átomos, esto no hace que la moneda sea irreal. Las monedas existen, no importa qué diga la microfísica acerca de su última constitución, y lo mismo para los ríos, las sillas y los gatos. Como Quine dijo una vez cuando se enfrentó con la afirmación de que no hay agua sino sólo H_2O: el agua sigue siendo agua, galón por galón (1986,

[9] Elga (2004) argumenta que esta definición de ajuste se encuentra con problemas si hay un número infinito de eventos azarosos, y sugiere una solución en base a la noción de una secuencia típica. Esta preocupación es ortogonal a los problemas tratados aquí, por lo que no seguiremos este aspecto.

p. 177). Por lo tanto, incluso en un mundo clásico, el MH consiste en mucho más que las partículas elementales y sus trayectorias.

El segundo supuesto es el *pluralismo lingüístico*, plantear que el idioma en que el Demonio formula los sistemas que posteriormente entran en la competencia de simplicidad-fuerza-ajuste contiene términos para tipos macroscópicos. Esto es, que el lenguaje tenga no sólo el vocabulario de la microfísica, sino que también contenga términos como "moneda" y "río". De modo que no sólo creemos que existen objetos macro, también equipamos el demonio con un lenguaje en el que se puede hablar de ellos como entidades *sui generis*. Para mayor información sobre el tema de la lengua utilizada en la formulación de las leyes, ver Lewis (1983).

3.4. *Justificación del Principio Principal*

Existe controversia no sólo sobre la formulación correcta del PP, sino también sobre su estatus. Strevens (1999) sostiene que no es más posible ofrecer un argumento sólido que justifique el PP que uno para justificar la inducción, y que por lo tanto, tenemos que aceptarlo como una suerte de primer principio. Pero no todo el mundo comparte este pesimismo. De hecho, creemos que las características únicas de COH permiten una demostración de que es irracional no aplicar el PP cuando se cumplen sus condiciones. El espacio impide un análisis completo aquí, así que nos limitaremos a presentar una breve versión del argumento; para una discusión en profundidad ver Hoefer 2008 (capítulo 4).

Como hemos visto en el último apartado, es el resultado de un cuidadoso análisis de lo que significa para la función *ch* supervenir en el MH de modo correcto, que cada vez que hay un gran número de casos de una configuración de chances en el mundo, la chance de un determinado resultado es cercana a la frecuencia relativa de ese resultado. Por esta razón, la TCOH puede ser entendida como una (mayor) sofisticación del frecuentismo finito, y el comprender por qué el PP se justifica para COH comienza por recordar esta afinidad.

Hay dos maneras de justificar el PP basado en esta afinidad, una "*a priori*" y otra "*consecuencialista*". La primera es similar a la justificación del PP que Howson y Urbach (1993) dan para el frecuentismo de von Mises. Un grado subjetivo de creencia le corresponde a las probabilidades en las que un agente siente que sería justa una apuesta a cada resultado

de una pregunta (E vs no-E). Un agente que no tiene información de inadmisibilidad pertinente de los resultados de una *larga serie* de casos de una configuración de probabilidad S debe tener el mismo grado de creencia en el resultado-E en cada ensayo –tener una *razón* para asignar un grado de creencia superior o inferior que x a E en un ensayo específico, sin dejar de creer que la chance objetiva de E sea x, automáticamente y por definición esto cuenta como un caso de poseer información inadmisible–. El agente toma apuestas en E en cada intento de una serie indefinidamente larga con probabilidades en desacuerdo con $p:(1-p)$ para ser justos. Suponemos que él apuesta por el mismo resultado en todos los intentos en la secuencia, es decir, ya sea por E en todos los intentos o por no-E en todos los intentos. Debido a que el agente cree que la apuesta será justa, él debe pensar que no hay ninguna ventaja en apostar por E en lugar de no-E (o viceversa), es decir, que debe ser indiferente sobre hacia qué lado de la apuesta se inclina. Por hipótesis existe la chance de obtener E en un intento, $ch(E)= q$. Por lo mencionado anteriormente sabemos que la frecuencia relativa de los E's en la secuencia es igual (o al menos muy cercana a) la chance de E. Es un simple resultado del cálculo de probabilidades que si los agentes no apuestan en conformidad con las frecuencias relativas (es decir, si sus probabilidades no son proporcionales a las frecuencias relativas), entonces una parte de los apostadores lo está haciendo mejor (es decir, alguien apostando a, por ejemplo, E en todos los intentos ganará dinero, mientras que alguien apostando a no-E en todos los intentos, perderá dinero). Esto no puede ser si el agente cree que la apuesta es justa. Así que si $p \neq q$, el agente tiene creencias contradictorias, lo que es irracional. Por lo tanto, la única asignación racional de probabilidades es $p = q$, como prescribe PP.

El argumento consecuencialista es más sencillo. Nos pide, en el espíritu del humeanismo, mirar al MH, que no sólo contiene los resultados de los intentos, sino también a los agentes haciendo las apuestas. Si miramos a todos los agentes haciendo apuestas a través de todo el mosaico y revisamos cómo lo están haciendo, veremos que los agentes que fijan sus creencias igual a las chances obtienen –en la mayoría de los lugares y tiempos, al menos– mejores resultados que los que adoptan creencias significativamente diferentes. En otras palabras, tanto en el dominio más amplio como en Las Vegas, si uno tiene que apostar en eventos arriesgados, uno lo hace mejor si se conocen las probabilidades

objetivas. Por esta razón, es racional que uno ajuste sus creencias a las chances objetivas, como PP requiere.[10]

3.5. *La epistemología de los COHs*

Cerremos esta sección con un breve comentario acerca de la epistemología de los COH. A primera vista, un enfoque de la probabilidad cuyos conceptos centrales son definidos en términos de todo lo que efectivamente sucede en cualquier momento y en cualquier locación espacial –el MH– y una criatura omnisciente –el Demonio de Lewis– puede parecerle a algunos como algo bastante desconectado de los esfuerzos humanos efectivos. Esta impresión es errónea. No hace falta señalar que la apelación al MH y al demonio de Lewis son idealizaciones, y del tipo de las que nos llevan más lejos de nuestra situación epistémica efectiva, ya que siempre ocurre que sólo podemos conocer lo que está ocurriendo en un período de tiempo muy limitado y en una parte relativamente limitada del espacio. Si bien es, por supuesto, indiscutible que nuestras capacidades epistémicas no están a la altura de las del demonio, negamos que esto convierta a la TCOH una *lalaland* epistémica.[11] En primer lugar, las limitaciones de la experiencia humana efectiva son un factor al que toda epistemología tiene que hacer frente. En particular, también las posiciones que creen en leyes y las probabilidades metafísicamente "gruesas" (universales, poderes causales, etc.) tienen que basar sus visiones sobre la naturaleza y el carácter de éstos en la experiencia efectiva, y existe la posibilidad de que los eventos futuros puedan probar que están equivocados. Cualquier punto de vista acerca de las leyes universales –humeanas o no– ha tenido que basar las afirmaciones acerca de estas leyes en nuestra limitada experiencia efectiva, y esto implica un salto inductivo. El cómo enfrentar este salto es por supuesto un *puzzle* de larga tradición filosófica en el que se ha vertido mucha tinta, y no hay un camino real para el éxito. El punto a destacar aquí es que los humeanos no son los únicos con este problema. En segundo lugar, el requisito de que sólo las propiedades ocurrentes sean parte del MH está en armonía con la práctica científica como la conocemos, ya que las propiedades ocurrentes

[10] Salvedades y detalles del argumento consecuencialista se discuten en Hoefer 2007 (sec. 5) y 2008 (capítulo 4).

[11] N. del T.: "lalaland" es un eufemismo por "estado inconsciente".

son lo que la ciencia puede observar. En este sentido, la TCOH está aún más cerca de la ciencia efectiva que los enfoques que postulan entidades modales que la ciencia no podrá nunca observar. En tercer lugar, las reglas que se le dan al Demonio tienen un obvio "sabor humano": el mismo Demonio omnisciente probablemente no se preocupe por la simpleza y la fuerza ya que de todos modos lo sabe todo. Estos requisitos son virtudes metateóricas que los humanos valoran en la ciencia y por lo tanto lo que se le pide al Demonio que haga, es finalmente ciencia al "estilo humano" lo mejor que se pueda. Por lo tanto, la actividad del demonio no es de naturaleza diferente a los esfuerzos de los científicos humanos, la diferencia es que él puede llevar a cabo a la perfección lo que nosotros podemos hacer sólo de manera inadecuada.

Cuando tenemos estos tres puntos en mente, entonces las COH ya no son tan remotas como inicialmente parecían ser. En la medida en que tenemos buenas razones para creer que una teoría científica en particular satisface el requisito de la TCOH y por lo tanto (quizás con ligeras modificaciones) formaría parte de un mejor sistema humeano, entonces también tenemos buenas razones para creer que las probabilidades que esta teoría brinda son COH's.

4. Lanzamiento de monedas para humeanos

Volvamos ahora a lanzar monedas. Una característica notable de la discusión hasta el momento es la falta de coincidencia casi completa entre cómo se trataron las probabilidades para el lanzamiento de monedas en las Secciones 2 y 3. El tratamiento en la Sección 2 se inició con un modelo mecánico determinista y trató de recuperar la regla de probabilidad del 50/50 de las leyes mecánicas más una distribución de probabilidad sobre las condiciones iniciales. El enfoque adoptado en la Sección 3 no menciona en absoluto la mecánica y en su lugar se centró el patrón de resultados en el MH. Al menos en un principio estos enfoques tienen poco en común y así surge la pregunta de si son compatibles, y si es así, cómo.

En esta sección argumentamos que son compatibles, y lo que es más, que en realidad son complementarios. Para llegar a esta conclusión es necesario analizar los dos enfoques y su estatus *vis-à-vis* con mayor detalle. Para facilitar el debate, nos referimos a la primera posición como

"mecanicismo" y a sus defensores como "mecanicistas", y a la segunda como "macro-estadísticas" y a sus defensores como "macro-estadísticos".

Los mecanicistas suelen argumentar que su punto de vista es privilegiado, ya que su enfoque se basa en leyes fundamentales: se supone que vivimos en un universo clásico y así el MH consta de las trayectorias de los objetos, entre ellas las trayectorias de las monedas, y la mecánica clásica es teoría fundamental de esta universo.[12] Las reglas de probabilidad, si es que las hay, tienen que ser formuladas en términos de las entidades fundamentales del MH y en el lenguaje de la teoría fundamental que las describe.[13] La ecuación (3) cumple los requisitos: es una regla que asigna probabilidades de obtener cara al lanzar una moneda al aire, y lo hace únicamente en términos de propiedades mecánicas básicas. La regla es simple, tiene buen ajuste, y en acuerdo con Keller (1986, pp. 194-196), muestra que fácilmente puede generalizarse a otras configuraciones de azar como la ruleta, de modo que también tiene fuerza. Así que tenemos buenas razones para creer que dentro de la clase de todas las reglas de probabilidad, la ecuación (3) es la que alcanza el mejor equilibrio entre sencillez, fuerza y ajuste, y por lo tanto las probabilidades que define son probabilidades en el sentido de la TCOH.

Los macro-estadísticos no están de acuerdo con este punto de vista por dos razones. La primera objeción es conceptual, la segunda técnica. La objeción conceptual es que tiene problemas con la visión reduccionista del mecanicista. Incluso si el mundo es clásico en el fondo y la mecánica clásica es la teoría fundamental del universo, no se sigue que todo lo que se puede decir sobre el MH tiene que decirse en el lenguaje de la teoría fundamental. Más específicamente, la macro-estadística adopta

[12] Aquellos que también sostienen el micro-reduccionismo –la idea de que la materia consiste en átomos y el comportamiento de los objetos macroscópicos como monedas finalmente tiene que ser explicado en términos del comportamiento de sus componentes micro– pueden sustituir la trayectoria de una moneda por el haz de trayectorias pertenecientes a los átomos que componen la moneda. *Mutatis mutandis*, los argumentos siguen siendo los mismos.

[13] Incidentalmente, un reduccionismo de este tipo también parece ser la posición de Lewis cuando insiste en una ontología que se refiere al MH como un conjunto de puntos del espacio-tiempo y cantidades de campo locales, y que lo que sea que se pueda decir acerca del MH tiene en última instancia que ser dicho en términos de la teoría fundamental que describe estos campos. Esto también es lo que en última instancia le llevó a negar la compatibilidad del determinismo con el azar –volveremos a esto con más detalle a continuación–.

un *pluralismo metodológico* (PM), la posición de que las reglas de probabilidad se pueden formular en un macro lenguaje perteneciente a un determinado nivel de discurso, y que las probabilidades así introducidas son COH's *sui generis* si las reglas de probabilidad en cuestión alcanzan el mejor equilibrio entre sencillez, fuerza y ajuste en relación con todas las demás reglas *formuladas en el mismo idioma*. Desde esta perspectiva, entonces, la regla de 1/n para los dispositivos de apuestas es una regla de probalidades *sui generis*, ya que logra un mejor equilibrio entre las tres virtudes metateóricas básicas que cualquier otra regla de probabilidad formulada en el lenguaje de monedas, ruedas, lanzamientos, etc. (volveremos a este principio en detalle a continuación).

La objeción técnica del macro-estadístico al mecanicismo se basa en el estatus y la forma matemática de la distribución $\rangle(v, \omega)$ en la ecuación (3). A nivel general, la preocupación es que el mecanicista "hace trampa". Ninguna probabilidad puede alguna vez salir de un enfoque puramente determinista ("si no introducimos probabilidades, no obtenemos probabilidades"), y el mecanicista simplemente los pone a la mano cuando introduce $p(v, \omega)$, lo que no está garantizado por (o relacionado con) ningún postulado de la mecánica. Por lo tanto, la introducción de $p(v, \omega)$ es una maniobra *ad hoc*, sin motivos desde el punto de vista de la mecánica. Y, como suele ocurrir con las maniobras ad hoc, bien podría generar más preguntas que respuestas. El primer problema con $p(v, \omega)$ es que no está claro lo que es una distribución *para*. La pregunta más básica que tenemos que hacer acerca de toda distribuciones de probabilidades es: ¿para qué probabilidades son estas probabilidades? Y no está claro cuál es la respuesta en el caso de la moneda. Podríamos considerar que está dando la probabilidad de un lanzamiento de moneda siendo las condiciones iniciales dentro de un rango determinado $\boldsymbol{v} + d\boldsymbol{v}$, $\omega + d\omega$. Pero nada en la mecánica puede fundamentar tal distribución.

El segundo problema tiene que ver con la forma matemática concreta de $p(v, \omega)$. El argumento de la limitación de Keller muestra que la forma matemática de $p(v, \omega)$ es inmaterial, y por lo tanto la cuestión de cuál $p(v, \omega)$ elegir queda obsoleta. Sin embargo, este argumento de la limitación no es de relevancia para lanzamientos de monedas *efectivos*. Diaconis ha demostrado en experimentos que para lanzamientos de moneda típicos la velocidad inicial ascendente v es aproximadamente de 5 mph y la frecuencia ω se encuentra entre 35 y 40 revoluciones por segundo (1998,

p. 802). ¡Esto está muy lejos del infinito! El problema es que una vez que se revoque el límite infinito, ya no es irrelevante cuál $p(v, \omega)$ uno elija. Entonces, ¿cuál $p(v, \omega)$ es el más adecuado para insertar en la ecuación (3)? Intuitivamente uno podría elegir una distribución uniforme. Por un lado es simple, por otro, daría (más o menos) una probabilidad de 0,5 para las caras, ya que, como se hace evidente a partir de la Figura 1, el negro y las rayas blancas ocupan aproximadamente la misma área. Pero, ¿por qué es la decisión correcta? Una respuesta que viene a la mente es justificar la distribución pareja con el principio de máxima entropía de Jaynes, que de hecho nos diría que hay que elegir una distribución pareja si se supone que no sabemos la condición inicial de la moneda. En el contexto de la TCOH esto es poco convincente. En la siguiente sección explicamos por qué y comparamos la TCOH con el bayesianismo objetivo más en general.

Ahora demos un paso atrás, evaluemos los argumentos de cada lado, y expliquemos cómo los dos puntos de vista finalmente se unen. Tome la insistencia del mecanicista sobre las leyes fundamentales primero. Él se opondrá al PM basándose en que la chance para obtener cara no es independiente de la microfísica del mundo. Seguramente, siguiendo el argumento, ¡debe haber alguna dependencia de allí! Si la física de nuestro mundo fuera muy diferente de lo que es, ¡entonces la chance de caras debería ser diferente también!

Hay un poco de verdad en esto, pero no hay que dejarse engañar. La física de nuestro mundo podría ser muy diferente, y sin embargo (por *cualquier* razón) el patrón de caras y cruces resultantes en el MH podría ser exactamente el mismo; en cuyo caso, las chances serían las mismas. O la física de nuestro mundo podría ser muy diferente de una forma que obligue a las probabilidades a ser diferentes (por ejemplo, podría ser una ley de la naturaleza que los trozos de metal con forma de cara son repelidos por la madera, de modo que los lanzamientos de monedas sobre pisos de madera nunca resulten en cruces). Pero en la mayoría de escenarios contrafácticos razonablemente imaginables, la física importará mucho menos que el patrón efectivo de los resultados en el MH. Los eventos a nivel-macro dependen ontológicamente de los hechos a nivel-micro –en el sentido compositivo obvio– pero en nuestro mundo no dependen de ellos constitutivamente (es decir, los hechos de probabilidades macro no se obtienen directamente o indirectamente de

la física fundamental, sino que dependen del patrón de macro eventos sin importar cómo sea la microfísica).

Una vez que notamos esto, también los otros problemas tienen soluciones elegantes. Podemos cortar el nudo gordiano en cuatro cortes.

En primer lugar, con el macro-estadístico afirmamos PM, de donde se sigue que las chances de macro eventos como los lanzamientos de una moneda dependerán del patrón de los resultados, no de los detalles de la física subyacente (justificamos PM más abajo).

En segundo lugar, coincidimos con el mecanicista en tomar muy en serio la dependencia ontológica. La pregunta es cómo tomar esto en cuenta, y es aquí donde entra un nuevo elemento. Compartimos con los mecanicistas la opinión de que la ecuación (3) –y similares ecuaciones– son importantes, pero las interpretamos de manera diferente. Esta ecuación no nos *da* las chances de las caras. No necesitamos que se nos dé nada –tenemos la chance, y la chance es (constitutivamente) independiente de la microfísica–. Por el contrario, vemos la ecuación (3) tanto como una "prueba de consistencia" como una explicación. Veamos este punto. Las diferentes partes de un Mejor Sistema tienen que ser consistentes entre sí (lo que no quiere decir que una tenga que ser derivable de la otra). Por esta razón, cada vez que las condiciones de configuración de una regla de probabilidad de nivel-macro y una regla de probabilidad de nivel-micro sean las mismas (extensionalmente equivalentes), entonces las probabilidades que ellas se atribuyen deben estar de acuerdo o estar muy cerca del acuerdo. Esto, por supuesto, no descarta la posibilidad de un ajuste menor. Por ejemplo, suponemos que adoptamos la regla de 50/50 para cara y cruz. Ahora sabemos con certeza que tenemos las relaciones reductivas bien y que tenemos la micro teoría correcta, y en base a éstas encontramos 49/51. Esto no es un conflicto real, porque hay cierta flexibilidad respecto a las probabilidades macro y, si hay muy buenas razones generales para hacer ajustes, el humeano puede hacerlo. Pero hay un punto de quiebre: si la teoría micro predice 80/20, tenemos que volver a la mesa de trabajo. El segundo elemento es la explicación. No queremos poner demasiado énfasis en esto, pero existe la intuición generalizada de que si un resultado macro se puede derivar de una teoría más fundamental, entonces hay explicación. Los que comparten esta intuición –entre ellos, nosotros– pueden ven la ecuación (3) como proveedora de una

explicación. Los que no, pueden renunciar a los objetivos explicativos y contentarse con el requisito de consistencia.

El tercer punto es que el mecanicista tiene que admitir que la introducción de $p(v, \omega)$ es un paso que va más allá de la mecánica y como tal, $p(v, \omega)$ tiene que justificarse en otro lugar. Pero lejos de ser un problema, en realidad esto es una ventaja. Cuando se piensa a "del modo la TCOH", inmediatamente tenemos una interpretación natural de $p(v, \omega)$: es la frecuencia relativa de ciertas condiciones iniciales. Por supuesto, todas las condiciones iniciales efectivas son una colección de puntos en el plano v-ω y no una distribución continua. Sin embargo, podría decirse que una distribución continua es mucho más simple (en el sentido de la simplicidad en la formulación) que una gran colección de puntos, y por lo tanto el humeano puede argumentar de manera convincente que ajustar una distribución continua adecuada a través de los puntos hace que el sistema sea más fuerte. Esta distribución es, pues, sólo un resumen elegante de las condiciones iniciales efectivas de todas las monedas lanzadas en MH.

En cuarto lugar, la intuición común de que hay algo epistémico acerca de la chance de obtener cierto resultado de la moneda en este lanzamiento –después de todo, hay una y sólo una condición inicial y dada esta condición inicial queda determinado el resultado– se aborda prestando mucha atención a la prescripción de la TCOH sobre cuándo utilizar las chances para orientar nuestra creencia. La información sobre la condición inicial precisa del lanzamiento de una moneda dada, es ciertamente inadmisible: esta información implica lógicamente el resultado del lanzamiento y por lo tanto, proporciona conocimientos sobre el resultado de un lanzamiento que no proviene de la información acerca de las probabilidades. El punto crucial es en que en situaciones típicas en las que lanzamos una moneda, simplemente no disponemos de datos inadmisibles, y es por eso que utilizamos probabilidades y el PP para fijar nuestro nivel de creencia. Así que usamos probabilidades cuando carecemos de un conocimiento mejor.

Vamos a ilustrar el punto de admisibilidad con un poco más de detalle. Tengamos en cuenta la situación que se describe en la Sección 2, y un agente *A* que sólo tiene el tipo usual de conocimiento en su *background K* y que tiene que decidir cómo apostar en el lanzamiento de una moneda. *A* debe aplicar el PP, claramente, y establecer sus creencias

para los resultados de caras y cruces a 0,5. Pero consideremos ahora al agente *L*, un demonio de Laplace en entrenamiento, que también debe decidir cómo apostar. *L* sabe todo lo que *A* sabe, pero –crucialmente– *L* también conoce exactamente el micro-estado del mundo (o una región local suficientemente grande de ella) justo antes del lanzamiento, y conoce las leyes de la mecánica newtoniana. ¿Debe *L* configurar sus creencias sobre los resultados de caras y cruces como iguales a 0.5? ¡Evidentemente no! Ella puede calcular, sobre la base de su conocimiento previo *K*, precisamente lo que va a suceder. Supongamos que calcula que de hecho la moneda caerá en cara. *L* tiene conocimiento inadmisible.[14] Ella tiene información relevante para determinar si la moneda caerá en cara (¡máximamente relevante!), y la información *no* es relevante por el hecho de contarle algo sobre las chances objetivas. Así que *L* no debe aplicar el PP; y esto es, intuitivamente, el veredicto correcto. La conclusión no es que las chances objetivas de obtener cara valen 1. La conclusión es que (teniendo en cuenta el pasado del estado y las leyes), la moneda *caerá* en cara, y cualquier persona que tenga conocimiento de estos hechos debería establecer su creencia en cara en el valor 1 (como las reglas de la probabilidad subjetiva requieren), y no en 0,5.[15] La verdad de las leyes deterministas implica que, dado un estado de cosas lo suficientemente completo en un momento específico (y tal vez las condiciones iniciales), los eventos futuros están totalmente determinados. Y esto implica que *si usted puede conseguir información* del estilo de la del demonio de Laplace, y si efectivamente puede calcular cualquier cosa con ella, entonces usted puede tener una mejor información con la que orientar sus creencias sobre eventos futuros que la que las COH otorgan. En otras palabras, lo que está implicado no es que no existen probabilidades objetivas, sino que ciertos seres de tipo divino pueden no tener ningún uso para ellas. Nosotros, los humanos, por desgracia, nunca hemos tenido ni tendremos ni tal información acerca de las condiciones iniciales, ni las habilidades

[14] De acuerdo a la definición oficial de admisibilidad de Lewis, la información acerca de las leyes de la naturaleza y acerca de los estados pasados del mundo es totalmente admisible, por lo que *L* no tiene información inadmisible. Esta adjudicación hace imposible para Lewis mantener chances no triviales si las leyes de la naturaleza son deterministas. Para una discusión sobre este punto, ver Hoefer (2007, pp. 553-555).

[15] Formalmente, $cr(H|XK) = 1$ se requiere por los axiomas de probabilidad, ya que $K \supset H$. Enfatizamos que no es correcto, en cambio, decir que $K \supset [Ch(H) = 1.0]$.

demoníacas para el cálculo. Para nosotros, es bueno que existan las probabilidades objetivas, y que las podemos llegar a conocer (y utilizar).[16]

Con estos puntos en mente, ahora podemos ver cómo el determinismo y las probabilidades objetivas no triviales son compatibles y podemos ver también que la cláusula de admisibilidad en el PP juega un papel crucial en esto.

Pasamos ahora a la defensa del PM, el que hasta ahora simplemente ha sido mencionado. ¿Por qué suscribirse a este principio? ¿Por qué un mejor sistema contendría algo así como reglas de probabilidades sobre monedas y otros macro objetos? Vamos a distinguir dos casos, un mundo en el que el reduccionismo fisicalista sobre las chances es cierto, y uno en el que es falso. El reduccionismo fisicalista sobre las chances es la afirmación de que todos los hechos-probables surgen fuera de las leyes de la física. El reduccionismo fisicalista generalmente (no sólo sobre las chances) es muy popular, en particular entre los físicos de partículas elementales, véase, por ejemplo, Weinberg (1994).

Si el reduccionismo de este tipo es falso, entonces es obvio que el mejor sistema contendría reglas sobre objetos macro: estas reglas no se siguen de las leyes básicas de la física, por lo que incluirlas en un sistema aumentará en gran medida su fuerza. El caso más difícil es si el reduccionismo sobre chances es cierto. Si las reglas sobre las monedas y las

[16] En una configuración de lanzamiento de moneda muy simplificada y regulada, sin duda, los seres no demoníacos con poderes epistémicos similares a los nuestros podrían ser capaces de ver una moneda en el aire y calcular rápidamente si saldrá cara o cruz. Esto requeriría la capacidad de juzgar con precisión el impulso inicial y la velocidad angular de la moneda y la capacidad de calcular (o tal vez simplemente juzgar con alta fiabilidad) si caen dentro de una banda de color negro o una blanca en la tabla de Diaconis. Algunos filósofos ven este tipo de posibilidad como una prueba de que en un contexto determinista, no hay ninguna chance objetiva real después de todo. Diremos más acerca de por qué vemos esta conclusión como equivocada a continuación. Pero esa cuestión aparte, vale la pena reconocer cuán raro y delicado es este tipo de habilidad "demoníaca del mundo real". Nuestro agente hipotético tiene que ver el comienzo del lanzamiento (no basta con ser conscientes del estado de cosas 1 segundo, o 1 minuto, antes del inicio del lanzamiento, como lo es para el demonio-L). Se trata de una especie bastante débil de habilidad predictiva, ya que las apuestas se realizan normalmente antes del lanzamiento y desde el punto de vista del sentido común, la mayor parte de lo azaroso de un lanzamiento de moneda reside en el proceso que conduce a la caída en sí. La gran mayoría de los eventos que consideramos intuitivamente azarosos son realmente impredecibles para los agentes como nosotros, aunque los mecanismos subyacentes sean deterministas.

ruletas no son más que aplicaciones complicadas de las leyes de la física, ¿por qué tendríamos estas reglas en nuestro mejor sistema?[17] Esto parece hacer que el sistema sea menos sencillo sin añadirle fuerza. La razón para incluirlas, sin embargo, es lo que anteriormente llamábamos simplicidad en la derivación: es sumamente costoso empezar desde los principios cada vez que se quiera hacer una predicción sobre el comportamiento de una ruleta. Así que el sistema se vuelve más sencillo en ese sentido si agregamos las reglas acerca de los macro objetos.

También hay un argumento más intuitivo de por qué esta independencia de las probabilidades de la microfísica es correcta. Es el postulado básico del humeanismo de que la chance de un determinado evento HBS superviene en el patrón de ocurrencia de eventos del mismo tipo en el MH, y como tal, esta chance es independiente de cómo estos eventos se refieren a otras características del MH. En nuestro ejemplo concreto esto significa que la probabilidad de obtener caras sólo depende del patrón de caras en el MH, o quizás del patrón de resultados en rodadas/lanzamientos de sólidos de n-lados con las simetrías apropiadas y no de la relación que "la obtención de caras" tiene con otras partes del MH, en particular, las propiedades mecánicas básicas de la materia. Como se señaló anteriormente, este tipo de patrones se pueden obtener incluso en mundos con micro-leyes radicalmente diferentes. Imaginemos un universo en el que la materia es un proceso continuo y obedece a algo así como las leyes de la física cartesiana; imaginemos que existen monedas en este universo y son lanzadas repetidamente. A pesar de que la física básica es muy diferente, supongamos que ocurre que el patrón general de resultados de rodadas/lanzamientos de este tipo de objetos de n-lados en el MH del universo continuo es muy similar al patrón en nuestro universo. ¿Cuál sería la probabilidad de caras en el universo continuo? Claramente estaría dado por la regla de 1/n, ya que ésta es la mejor regla relativa al MH, con independencia de la micro-constitución de la materia.

[17] Puede ser difícil ver cómo los hechos probabilísticos podrían seguirse de las leyes físicas fundamentales, o de las leyes más las condiciones iniciales, incluso si las leyes son totalmente deterministas. Creemos que aquí vale "si no se incluyen probabilidades, no se obtienen probabilidades". Pero uno podría postular una ley física fundamental de la probabilidad como un suplemento a las leyes deterministas, precisamente a fin de permitir la derivación de probabilidades para una variedad de tipos de eventos físicos, incluyendo tal vez eventos macro. La versión de Loewer del Mejor Sistema humeano hace precisamente esto, véase Loewer (2001).

5. Comparación con otros enfoques

En esta sección queremos indicar brevemente cómo se compara la TCOH con los enfoques de la probabilidad epistémico, frecuentista y de propensión y señalaremos dónde creemos que sus ventajas se encuentran.

El contraste entre la TCOH y las probabilidades epistémicas se explica mejor considerando una objeción potencial: imaginemos una criatura como nuestro demonio de Laplace en entrenamiento, es decir, una criatura con ojos superiores a los de los seres humanos, de hecho tan superior que puede ver exactamente la condición inicial de la moneda cuando es lanzada, y puede hacer todos los cálculos mecánicos mientras que la moneda sigue aún en el aire. Para esta criatura no hay nada incierto sobre el resultado del lanzamiento de una moneda: sabe si sale cara o cruz incluso antes de que la moneda toque el suelo. Esta criatura, continúa el argumento, no usa probabilidades, y esto demuestra que las probabilidades que *nosotros* utilizamos cuando apostamos en el resultado de lanzamientos de moneda son epistémicas: si tuviéramos los ojos y las habilidades matemáticas de la criatura de ficción no usaríamos probabilidades, y el que nosotros las usemos sólo se debe al hecho de que no conocemos las condiciones iniciales. Esto demuestra que estas probabilidades son simplemente una expresión de nuestra falta de conocimiento, y como tales son simples probabilidades bayesianas.

Nuestra respuesta a este desafío se aparta de la observación de que la locución "probabilidad epistémica" se utiliza con (al menos) dos significados diferentes. En el primer y más inocuo significado las probabilidades epistémicas sólo son probabilidades que usamos a falta de un mejor conocimiento, en donde "mejor" conocimiento es el conocimiento que nos daría información sobre la ocurrencia de un evento que va más allá de lo que las probabilidades pueden decirnos. El segundo significado de "probabilidad epistémica" se refiere a una probabilidad cuyo *valor* está determinado por nuestra ignorancia, y los enfoques en conflicto con la probabilidad epistémica difieren en la forma de entender esta relación de determinación. Los bayesianos subjetivos (o personalistas) ven el proceso de asignación de valores como limitado sólo por los axiomas de probabilidad (con el fin de evitar *dutch books*). Por lo tanto, diferentes bayesianos personalistas pueden, en principio, asignar probabilidades muy diferentes para un mismo evento. Los bayesianos objetivos piensan

que esto es inaceptable e imponen criterios de racionalidad para asegurar que todos los agentes racionales con la misma información lleguen a la misma asignación de probabilidad. El más importante de estos criterios de racionalidad es el principio de máxima entropía de Jaynes (que básicamente dice que debemos elegir la distribución de probabilidad que, después de haber tomado todos los hechos conocidos en cuenta, maximiza la entropía de Shannon). Lo que ambos enfoques tienen en común es que consideran a las probabilidades como la expresión de nuestra falta de conocimiento y a la forma precisa de la distribución de probabilidad como un reflejo del tipo de nuestra falta de conocimiento.

La segunda noción de probabilidad epistémica implica la primera, pero no al revés. Así que uno puede pensar que las probabilidades son epistémicas en el primer sentido, pero no en el segundo, y esto es exactamente lo que la TCOH hace. Estamos de acuerdo en que usamos probabilidades a falta de mejor (es decir, inadmisible) conocimiento: si tuviéramos ese conocimiento dejaríamos de lado las probabilidades y ajustaríamos nuestra creencia sobre el resultado de una prueba de acuerdo con esta información adicional. Sin embargo, la probabilidad en sí misma no es una expresión de nuestra falta de conocimiento, ni la forma de la distribución de la probabilidad sobre el resultado una expresión de los particulares modos en que somos ignorantes. Los valores de las probabilidades supervienen (en el sentido de superveniencia humeana) en el MH. De modo que los agentes no son libres de ajustar sus creencia en la forma que quieran mientras se respeten los axiomas de probabilidad (contra los bayesianos personalistas), ni las probabilidades son determinadas por una regla de racionalidad (contra el bayesianismo objetivo). ¡La TCOH toma las chances como determinadas por cómo es el mundo, y no por criterios de racionalidad! Por lo tanto las COH no son epistémicas en el segundo sentido.

El siguiente en la línea es el frecuentismo. Como hemos señalado anteriormente, la TCOH puede ser vista como una elaboración del frecuentismo finito, y por lo tanto las diferencias son más matizadas que las que existen entre la TCOH y los enfoques epistémicos. Sin embargo, pensamos que hay diferencias notables. Éstas son de dos tipos. Por un lado, hay diferencias generales entre los enfoques. Las más importantes son que la TCOH tiene una receta clara para el manejo de probabilidades con pocas o ninguna instancia en el Mosaico, tiene justificación para

redondear o suavizar los números, y para dar leyes que son funciones (como por ejemplo en la teoría cuántica); y la TCOH se articula más fácilmente con la epistemología, en particular de las ciencias teóricas (con énfasis en las leyes formuladas matemáticamente), que con el frecuentismo. Las limitaciones de espacio nos impiden extendernos en estas cuestiones aquí y referimos al lector a Hoefer (2008, cap. 3) para una discusión más amplia. Por otro lado, existen diferencias específicas en el manejo de una posible conciliación entre el determinismo y el azar. Un frecuentista podría argumentar que nuestra propuesta no es específica para COH y que se podría también utilizar en un entorno frecuentista: ya que el resultado –caras o cruces– está determinado por la condición inicial, lo que realmente impulsa la presente propuesta es que una regla de probabilidad de 50/50 a nivel de los resultados se sustituye por una regla de probabilidad similar sobre las condiciones iniciales blanco y negro, y esta movida, en la medida en que es exitosa, también está disponible para el frecuentista, quien pueden definir las frecuencias relativas para condiciones iniciales blanco y negro. De modo que la maquinaria de la TCOH no es necesaria para reconciliar el determinismo y las probabilidades en la forma en que se ha hecho aquí.

La contundencia de esta respuesta depende de qué versión del frecuentismo se adopte. Tomemos primero el frecuentismo finito. Es cierto que no hay nada en el frecuentismo finito que impida considerar las frecuencias finitas de las condiciones iniciales, y por lo tanto, en cierta medida el frecuentismo finito es una interpretación aceptable de la probabilidad que puede explicar la compatibilidad de la chance (entendida como frecuencia finita) con el determinismo en el misma manera que la TCOH. Sin embargo, el frecuentismo finito no es una interpretación aceptable de las probabilidades, como Hájek (1997) y otros han señalado. De hecho la TCOH puede ser vista como un intento de interpretar las probabilidades de una manera que preserva las ideas principales del frecuentismo finito pero sin cargar con las mismas dificultades.

La situación con el frecuentismo infinito –del que aquí consideramos la versión de von Mises (1939)– es más complicada. Si el determinismo es compatible o no con las probabilidades en el sentido de frecuencia relativa infinita depende de cómo es exactamente el mundo determinista. Hasta ahora nos hemos centrado únicamente en las leyes deterministas que rigen un lanzamiento de moneda individual y entonces, una reconciliación del determinismo *a ese nivel* con las probabilidades en el nivel macro esencialmente se reduce a la introducción de probabilidades sobre las condiciones iniciales. El frecuentista infinito ahora es capaz de señalar que puede introducir probabilidades sobre las condiciones iniciales tan bien como el defensor de la TCOH, y puesto que él también puede ayudarse a sí mismo con el PP (y todo lo que viene con él), también puede explicar de la misma manera que el proponente de la TCOH por qué seguimos usando posibilidades aunque la dinámica sea determinista.

Si esto es verdad o no, depende de las características globales del MH. Se desprende del axioma de aleatoriedad de von Mises[18] que los miembros sucesivos de un colectivo son probabilísticamente independientes (Gillies 2000, p. 106; Howson 1995, p. 15). Esta condición, como von Mises enfatiza (Von Mises 1939, cap. 6), no se satisface cuando los resultados sucesivos se producen en secuencia por el mismo dispositivo determinista. Por esta razón, la solidez de una interpretación frecuentista de las condiciones iniciales depende de las propiedades globales del MH. Si vivimos en un universo que no es globalmente determinista, en particular, si vivimos en un universo en el que las condiciones iniciales de los diferentes lanzamientos de moneda no están *ellas mismas* conectados por leyes deterministas, entonces es posible una interpretación frecuentista de las probabilidades sobre las condiciones iniciales y un frecuentista puede contar una historia acerca de la compatibilidad del "determinismo de lanzamiento de monedas" con probabilidades macro, que sea muy similar a la dada por la TCOH.

Sin embargo, hoy en día muchos creen que no vivimos en un universo así. En particular, escritores de mecánica estadística (véase, por ejemplo, Albert [2000] y Goldstein [2001] para articulaciones claras de este punto de vista) consideran al universo como un gran sistema mecánico gobernado por leyes deterministas. Este sistema se compone de todo lo que sucede, y en particular, contiene a la persona que decide lanzar una moneda y considera esta decisión así como el acto de preparación de la

[18] La teoría de Von Mises se basa en la idea de colectivo, una secuencia infinita *S* de atributos seleccionados de un conjunto finito o infinito numerable de atributos, que satisface los axiomas de convergencia y aleatoriedad. A grandes rasgos, la primera dice que para cada atributo la frecuencia relativa de ese atributo en *S* tiende hacia un límite finito, y la segunda requiere que no exista ninguna subsecuencia recursiva infinita específica de *S* en la que esto no sea cierto y en la que las frecuencias relativas difieran de aquellas en *S*.

moneda en la punta del dedo pulgar, como consecuencias deterministas de lo que ha sucedido antes. Éste no es el lugar para someter a escrutinio este punto de vista, lo importante es que si esta visión es correcta, entonces el hecho de que la moneda que he lanzado dos minutos antes tenía una condición inicial en particular es una consecuencia determinista del estado del universo en algún tiempo anterior, y por lo tanto se descarta una comprensión frecuentista de las probabilidades respecto de las condiciones iniciales. La TCOH, por el contrario, no se compromete con nada por el estilo del axioma de aleatoriedad y por lo tanto, en principio, no tiene problemas con una distribución de probabilidad sobre las condiciones iniciales de los lanzamientos de monedas, aun si están completamente determinadas por el pasado del universo.

Los enfoques de la propensión vienen en diferentes versiones, y una cuidadosa discusión de sólo los más importantes nos llevaría demasiado lejos.[19] Lo que todos los enfoques de la propensión tienen en común es la atribución de disposiciones o tendencias a los sistemas azarosos, disposiciones que en algún sentido están cuantificadas por las probabilidades objetivas que atribuimos a esos sistemas. Por lo tanto, un enfoque propensivista se compromete con la afirmación de que *exactamente el mismo* estado de una configuración de probabilidades puede dar lugar a resultados diferentes en intentos diferentes. Esto es incompatible con el determinismo, y referimos al lector a Clark (2001) para la discusión de varios intentos fallidos de conciliar las propensiones con el determinismo.

6. Envío

Como hemos indicado en la introducción, este trabajo es sobre algo más que monedas. De hecho, exactamente las mismas consideraciones se pueden utilizar para explicar las probabilidades en mecánica estadística (ME). Una exposición completa de esta teoría está más allá del alcance de este documento, pero nos gustaría traer la discusión a su fin indicando muy brevemente cómo los conocimientos adquiridos con el ejemplo de la moneda se trasladan a la ME.[20] Consideremos un sistema típico de ME, por ejemplo un gas en un recipiente. El gas se compone de alrededor de

[19] Para una discusión de los diferentes enfoques de la propensión ver Mellor (2005).

[20] Para una discusión detallada de la mecánica estadística ver Uffink (2006) y Frigg (2008a).

10^{23} moléculas. Estas moléculas rebotan bajo la influencia de las fuerzas ejercidas sobre ellas cuando chocan con las paredes del recipiente y entre ellas. El movimiento de cada molécula bajo estas fuerzas se rige por las leyes de la mecánica. Por esto, el gas es un sistema mecánico grande: su estado está totalmente especificado por un punto en su (6×10^{23}-dimensional) el espacio de las fases –en este contexto referido como su "microestado"– y su evolución en el tiempo está totalmente determinada por las leyes de la mecánica.

Al mismo tiempo, el sistema está siempre en un cierto macroestado, que se caracteriza por los valores de las variables macroscópicas, en el caso del gas, presión, temperatura y volumen. Es uno de los postulados fundamentales de la ME (Boltzmanniana) que el macro-estado de un sistema superviene en su micro-estado, lo que significa que un cambio en el macro-estado debe ir acompañado de un cambio en el micro-estado. Por ejemplo, no es posible cambiar la presión de un sistema y, al mismo tiempo, mantener su micro-estado constante. Por lo tanto, a cada micro-estado dado les corresponde exactamente un macro-estado. Esta relación de determinación, sin embargo, no es uno-a-uno. De hecho, muchos micro-estados diferentes pueden corresponder al mismo macro-estado. Ahora agrupamos todos los micro-estados correspondientes a un mismo macro-estado, lo que produce una compartimentación del espacio de las fases en regiones que no se solapan. Podemos entonces definir una función de la entropía (la llamada "entropía de Boltzmann") que asigna un valor de entropía particular, para cada macro-estado.

Los sistemas típicamente comienzan en un estado de baja entropía y luego evolucionan hacia el equilibrio, el macro-estado de máxima entropía. La segunda ley de la termodinámica nos dice que esto es lo que invariablemente debe ocurrir. Uno de los objetivos centrales de la ME es mostrar que la Segunda Ley –que es una ley puramente macroscópica– en realidad es una consecuencia del movimiento mecánico de las moléculas del gas, y lo hace mostrando que la tendencia al equilibrio es abrumadoramente probable. Y aquí es donde entramos en contacto con el ejemplo de la moneda. Para juzgar algo como muy probable, obviamente debemos introducir probabilidades. La ME hace esto introduciendo una medida de probabilidad uniforme en la región del espacio de las fases que corresponde al estado de baja entropía inicial del sistema, y a continuación apunta a mostrar que las micro condiciones que se encuentran

en trayectorias que finalmente llevan al equilibrio son abrumadoramente probables. La lógica de esto es como en el caso de la moneda, con la única diferencia de que clasificamos las condiciones iniciales en las que se comportan como la Segunda Ley requiere y las que no, en lugar de entre aquellas que dan como resultado caras y aquellas que dan como resultado cruces. Marquemos entonces con blanco aquellas que se comportan como esperamos y con negro las otras. A continuación, ponemos una medida sobre todas las condiciones iniciales del mismo tipo como ρ anteriormente. La diferencia sólo radica en los valores: ahora no esperamos una división de 50/50 entre el blanco y negro, sino más bien algo así como 99.9999/0.00001 (omitiendo muchos 9s y 0s aquí por razones de brevedad). Pero la idea básica es la misma: poner una distribución sobre las condiciones iniciales y mostrar que las probabilidades resultantes implicadas encajan bien con los patrones en los eventos efectivos. Y de hecho lo hacen, no sólo el patrón sin excepciones (esencialmente) de comportamiento acorde a la Segunda Ley de los fluidos macroscópicos, sino también las probabilidades no triviales para colecciones más pequeñas de partículas.

Así, que lo que hemos aprendido de la moneda ¡también resuelve el problema de interpretar las probabilidades en ME! Pueden ser acomodadas elegantemente en una teoría humeana de chances objetivas.

3. CONTRAFÁCTICOS