



THEORIA. Revista de Teoría, Historia y

Fundamentos de la Ciencia

ISSN: 0495-4548

theoria@ehu.es

Universidad del País Vasco/Euskal Herriko

Unibertsitatea

España

ESPINOZA, Miguel

La reducción de lo posible. René Thom y el determinismo causal

THEORIA. Revista de Teoría, Historia y Fundamentos de la Ciencia, vol. 22, núm. 2, 2007, pp. 233-

251

Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea

Donostia-San Sebastián, España

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=339730803006>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

La reducción de lo posible.
René Thom y el determinismo causal
(*The reduction of the possible. René Thom and causal determinism*)

Miguel ESPINOZA

Manuscrito recibido: 18.09.2006

Versión final: 06.03.2007

BIBLID [0495-4548 (2007) 22: 59; pp. 233-251]

RESUMEN. La tesis principal de este ensayo estípula que el determinismo causal es una propiedad de la naturaleza y el primer principio de la inteligibilidad natural. Se expresa, por ejemplo, en la frase de Lucrecio: “Nada surge de la nada ni va hacia la nada”. Todo lo que existe es efecto de una red de causas y es a su vez causa de otras cosas. Se sigue que la teoría científica orientada hacia la inteligibilidad —diferente de la ciencia positivista y pragmática— es la búsqueda de determinismo causal. El desarrollo de esta tesis utiliza como hilo conductor el pensamiento de René Thom. Esto significa que el determinismo causal se examina en su relación con (I) la estabilidad y la inestabilidad, (II) el desafío de la mecánica cuántica, (III) las raíces aporéticas de la ciencia tal como la dualidad determinismo-indeterminismo, y finalmente (IV) en su relación con el método para ponerlo de manifiesto, es decir la reducción de lo posible —estrategia que es, en este dominio, una de las ideas más originales de Thom.

Descriptores: determinismo causal, inteligibilidad natural, explicación científica, René Thom, ciencia y metafísica realista.

ABSTRACT. *The main thesis of this essay is that causal determinism is a property of nature and the main principle of natural intelligibility. It can be expressed in Lucretius' words: "Nothing comes out of nothing or passes into nothing". Everything is the effect of a web of causes and is, in its turn, cause of something else. It follows that the essence of an intelligibility-oriented scientific theory—which is different from science in a positivist or pragmatist sense—is the search for causal determinism. The development of this thesis is guided by René Thom's thought. This means that causal determinism is analysed, first, in its relation to stability and instability; second, in its relation to the prima facie indeterminism of quantum mechanics; third, in its relation to the aporetic roots of science such as the duality determinism—indeterminism; and, finally, in its relation to the method which allows science to follow the causal determinist ideal: the reduction of the possible—a strategy which is, in this field, one of Thom's most original ideas.*

Keywords: causal determinism, natural intelligibility, scientific explanation, René Thom, science and realist metaphysics.

¿Está el mundo sujeto a un determinismo riguroso o hay acaso un “azar” irreducible a toda descripción? Planteado así, el problema es evidentemente metafísico y sólo una opción igualmente metafísica puede resolverlo. En tanto que filósofo, el científico puede dejar la pregunta abierta, pero en tanto que científico tiene la obligación de principio —so pena de contradicción interna— de adoptar una posición determinista y de postular que nada en la naturaleza es incognoscible a priori.

René Thom

1. Determinismo y estabilidad estructural

El interés por la causalidad y el determinismo se despertó temprano en el René Thom filósofo y su preocupación por estos problemas llegó a la cúspide de su filosofía en el momento de su controversia con los “sectarios del caos” (Thom 1990a, pp. 62-63). Thom emplea a veces la expresión “determinismo causal” y otras veces dice simple-



mente “determinismo”. Como veremos, estas nociones no son sinónimas y hay que saber que cuando Thom dice “determinismo” lo que está implícito es el determinismo causal porque él estaría de acuerdo para reconocer que no se concibe cómo nuestras previsiones unívocas, exactas o estadísticas son posibles a menos que haya una ontología subyacente causalmente estructurada y por lo tanto estable. Coherente con su constatación de que el mundo es más bien estable que inestable, de que está más bien ordenado que desordenado, Thom piensa que el mundo es conocible gracias al determinismo causal¹. Y al contrario, el postulado de que la ciencia se acomoda a la creatividad y a la libertad si y solamente si el científico ubica el azar entre los principios del mundo, le parece una seudosolución, la prueba de que no se ha entendido la naturaleza del trabajo científico. Piénsese, por ejemplo, en el azar ciego o *dinamen* de Epicuro, o más cerca de nosotros en el tiempo, en el tiquismo de Ch. S. Peirce.

Como Aristóteles y D'Arcy Thompson, a quienes aprecia como sus principales precursores en biología teórica, Thom está fascinado por las formas, por su nacimiento, desarrollo y desaparición. Una de sus creencias es que la explicación de la forma es el problema principal del espíritu humano y que, en este dominio, todo es asunto de geometría, de cinemática y de dinámica. D'Arcy Thompson escribe: “No hay ninguna razón para que las formas materiales de la materia viva escapen a los conceptos [del sistema material de las fuerzas mecánicas] ... células y tejidos, conchas y huesos, hojas y flores son diferentes parcelas de materia; es en conformidad con las leyes de la física que sus partículas constitutivas han sido ubicadas, moldeadas, que han adoptado la forma adecuada... Los problemas de forma de la materia viva son ante todo problemas matemáticos y sus problemas de crecimiento son problemas de física” (Thompson 1961, pp. 7-8).

Nuestro universo no es caótico, los seres que lo componen “son formas, estructuras dotadas de una cierta estabilidad” (Thom, 1977, cap. 1)² ¿Cómo creer en el azar ontológico o en la existencia de lo aleatorio *in re* si nuestro mundo está ordenado de tal manera que nos reconocemos, si reconocemos los objetos de nuestro entorno, si una forma no se construye de cualquier manera, si su desarrollo obedece a leyes, si los principios organizadores de órganos y de organismos deben someterse a las leyes de la mecánica, de la física y de la química para dirigir los elementos y las fuerzas? ¿Serían acaso posibles las analogías y las inducciones en un mundo desordenado? Y por supuesto las analogías y las inducciones existen porque sin ellas no habría ni aprendizaje animal ni aprendizaje humano. No hay vida sin permanencia. “El solipsista más convencido, si continúa viviendo y actuando, debe necesariamente someterse al orden de las cosas exteriores, admitir su invariabilidad estructural para usarlas; ¿qué significa esto, sino que les reconoce, gracias a este hecho, una cierta realidad?” (Thom, 1977, p. 11).

En el estudio de las formas se impone el concepto de estabilidad estructural, la insensibilidad ante las pequeñas perturbaciones: “un proceso (P) es estructuralmente estable si una leve variación de las condiciones iniciales conduce a un proceso (P') iso-

¹ De manera independiente yo estipulé en mi *Théorie du déterminisme causal* (2006) que la filosofía subyacente a este libro es la idea según la cual el determinismo causal es el primer principio de la inteligibilidad natural. (Ver, por ejemplo, pp. 6 y 56.)

² Sobre la estabilidad se puede estudiar también A. Liapounoff (1988).

morfo a (P) en el sentido en que una pequeña perturbación sobre el espaciotiempo — un ϵ -homeomorfismo, en geometría — transforma de nuevo el proceso (P') en (P)” (Thom, 1980, p. 12). Si somos capaces de descubrir una forma, si podemos representarnos un objeto, es porque son estructuralmente estables. El mundo no sería lo que es si la mayoría de las formas u objetos de nuestro entorno, después de la menor perturbación, llegara a ser otra cosa, o, peor aún, si se aniquilara. La estabilidad estructural es así condición de existencia y de conocimiento. El yo al cual nos identificamos, el objeto que percibimos, ambos existen en la medida en que son estructuralmente estables. Para conocer un fenómeno hay que manipularlo y modificar sus parámetros, y al final del proceso el fenómeno debe ser reconocible.

Nótese que los fenómenos estudiados por la mecánica cuántica no son, aparentemente, estructuralmente estables puesto que la observación los transforma. En este campo lo observado se encuentra en la intersección o superposición de los fenómenos cuánticos y de los aparatos de medida (clásicos) por lo que el efecto de estos aparatos no es completamente eliminable. En tales circunstancias se entiende lo que quiere decir Thom cuando apunta que la estabilidad estructural es un concepto clave en la interpretación de los fenómenos de toda disciplina, excepto tal vez en mecánica cuántica: “En todo proceso natural aparece una especie de escala natural más allá de la cual la estabilidad estructural y la posibilidad de calcular llegan a ser incompatibles. En mecánica planetaria, esta escala tiene una duración tal que la incompatibilidad no es sensible; en mecánica cuántica, al contrario, la escala es de una pequeñez tal que la incompatibilidad es inmediatamente sensible; la física actual ha sacrificado la estabilidad estructural al cálculo y yo quisiera creer que no tendrá que arrepentirse de esta elección” (Thom, 1977, pp. 31-32). Que la estabilidad sea condición de existencia y de conocimiento no sorprende a los filósofos: este concepto es el heredero de la identidad que era la condición de existencia y de conocimiento para Parménides, lección asimilada por Platón y fuente de su Teoría de las Formas. ¿Cómo apreciar la existencia de algo sumamente efímero, y qué hay que hacer, qué estrategia adoptar para conocerlo? El esfuerzo por conocer, en este caso, ¿vale la pena?

Veamos ahora algunos de los vínculos principales entre esta reflexión sobre la estabilidad y nuestro problema específico del determinismo.

2. Inestabilidad, determinismo e indeterminismo

El núcleo del ataque thomiano, que llegó a estar personalizado contra los sectarios del caos, del azar y del indeterminismo³, se encuentra ya desde el comienzo de *Estabilidad estructural y morfogénesis* (1972) y consiste en la idea de que la ciencia y el indeterminismo se excluyen mutuamente. Hemos observado que nuestro entorno es una sucesión de formas y de objetos que son, por lo general, estructuralmente estables. No vivimos a sobresaltos (en condiciones normales) como si estuviéramos en una selva inhóspita, yendo de sorpresa en sorpresa, ni en un mundo mágico donde nada dura. La estabili-

³ Thom se refiere sobre todo, aunque no exclusivamente, a intelectuales franceses de la segunda mitad del siglo XX tales como Jacques Monod, Edgar Morin, Henri Atlan y Michel Serres. Otros “sectarios del caos” son Patrick Suppes y uno de los más eminentes es, evidentemente, Ilya Prigogine.

dad estructural y el orden natural nos llevan a pensar que nuestro mundo está causalmente determinado. Yo pienso que la estabilidad estructural y el determinismo causal no tienen exactamente el mismo contenido porque el concepto de determinismo causal es más vasto: todo lo estructuralmente estable está causalmente determinado, pero no todo lo que está causalmente determinado es estructuralmente estable. Un punto de bifurcación en el que un período estable de un sistema se termina y otro período estable comienza no es un punto estable, pero, por una parte, afirmo que sería irracional pensar que en ese punto toda influencia causal desaparece repentinamente, y por otra parte es imposible probar que el punto de bifurcación no está determinado causalmente ya que tal prueba requeriría el conocimiento exhaustivo del mundo. La inestabilidad estructural no implica el indeterminismo causal.

“Ningún criterio experimental permitirá distinguir un fenómeno estructuralmente inestable y determinado de un fenómeno fundamentalmente indeterminado. Por eso, cuando se vacía el problema del determinismo de su trasfondo filosófico, se reduce, en el plano de los fenómenos, a la afirmación siguiente, difícilmente discutible: hay fenómenos más o menos determinados; el carácter más o menos determinado de un proceso se expresa esencialmente por la continuidad más o menos lisa (diferenciable) de la evolución de este proceso en función de las condiciones iniciales” (Thom, 1977, p. 123). El contexto no deja duda de que por “proceso más o menos determinado” Thom quiere decir aquí “más o menos previsible”. Se trata en consecuencia de una situación epistemológica —de nuestra capacidad de describir y sobre todo de prever— que no prejuza nada acerca de la situación ontológica —de cómo son las cosas en realidad. Thom no lo dice en el contexto de *Estabilidad estructural y morfogénesis*, pero está claro que la observación según la cual “ningún criterio experimental permitirá distinguir un fenómeno estructuralmente inestable y determinado de un fenómeno fundamentalmente indeterminado” neutraliza y deja sin valor operatorio nada menos que la pretendida base empírica del discurso sobre la existencia del indeterminismo en las cosas.

Los géneros de probabilidades que se encuentran en la termodinámica o en la mecánica cuántica (la probabilidad en mecánica cuántica no es del mismo género que aquélla de la termodinámica) ya no son, para un científico como Ilya Prigogine, lo que eran para Pierre-Simon Laplace, la expresión de nuestra ignorancia: para el químico ruso las probabilidades existen en las cosas mismas. ¿La prueba? Hay sistemas inestables, es decir sistemas cuyos modelos exhiben una combinación de estados deterministas y probabilistas. Se los puede modelizar mediante una serie de bifurcaciones. Algunas ecuaciones diferenciales admiten soluciones inestables, hay entonces una bifurcación. Recordemos que una solución de una ecuación diferencial es estable si una variación muy pequeña en las condiciones iniciales o de frontera genera cambios muy pequeños en el desarrollo de la solución. He aquí un ejemplo de bifurcación. Sea la ecuación diferencial $y'' = ay$ donde a es el parámetro. Si $a > 0$, entonces la solución es exponencial. Llamémosla solución A . Si $a = 0$, entonces la solución es una recta, es el caso límite (solución B). Si $a < 0$, entonces la solución es sinusoidal (solución C). Una variación infinitesimal de a hace pasar de A a C . Otro ejemplo: una bolita ubicada en el fondo de una esfera está en equilibrio estable mientras la esfera comienza a girar

lentamente, pero hay un umbral de velocidad a partir del cual el equilibrio al fondo de la esfera ya no es estable y aparece otra posición de equilibrio a cierta distancia del fondo, y es ahora esta nueva posición la que es estable. Así, en el punto de bifurcación el sistema llega a ser inestable y emerge entonces un par de nuevas soluciones. Los estadios deterministas en el desarrollo de un sistema son aquéllos en los cuales se encuentran soluciones únicas, mientras que los estadios probabilistas consisten en soluciones múltiples. Cuando se habla de ramificación se quiere decir que cada rama puede a su vez escindirse, ser el lugar de una nueva bifurcación, lo que produce una “historia” que explicaría la irreversibilidad de muchos fenómenos: el hecho de que un proceso se encuentre en un estadio dado implica que ya atravesó tal y cual estadio. “Incluso si conocemos el estado inicial del sistema, los procesos que lo han constituido y las condiciones límites, no podemos prever cuál de los regímenes de actividad elegirá el sistema” (Prigogine 1996, p. 84). La propiedad notable de estos sistemas es su sensibilidad: “... pequeñas modificaciones en la naturaleza del sistema conducen a una elección preferencial de una rama en vez de otra” (Prigogine, 1994, p. 31). Uno de los primeros ejemplos de azar que se le ocurre a Poincaré es el equilibrio inestable. Para prever el desarrollo de un sistema —recordemos al “demonio” laplaciano— hay que conocer con exactitud el estado inicial y las leyes de evolución del sistema; ahora bien, “puede suceder que diferencias ínfimas en las condiciones iniciales engendren diferencias muy grandes en los fenómenos finales” escribe Poincaré en su artículo “El azar” de 1907; “la previsión llega a ser imposible y tenemos el fenómeno fortuito”.

Tres observaciones: en primer lugar, los sistemas inestables introducen una gran complicación para la previsión y por lo tanto para el determinismo epistemológico. Pero éste puede progresar, al menos en algunos dominios como en la previsión del tiempo meteorológico, a medida que mejora la eficacia de los algoritmos. Para todo algoritmo llega un momento en que pierde su eficacia y se cae, en consecuencia, en el indeterminismo; y si los algoritmos se perfeccionan, entonces lo que estaba indeterminado llega a estar gradualmente determinado, hasta alcanzar un nuevo límite, y así sucesivamente. Nótese que en estos casos el indeterminismo no es lo opuesto del determinismo sino su límite provvisorio en continuidad con el determinismo. En segundo lugar, la dificultad que se encuentra en la previsión de la evolución de un sistema inestable no significa que el sistema esté desordenado en sí puesto que el descubrimiento de atractores —de seres geométricos— muestra la existencia de estructuras algebraico-geométricas y sugiere que tales seres y estructuras existen probablemente incluso en los sectores en los cuales todavía no se los ha encontrado —optimismo panmatemático. En tercer lugar, los científicos no afirman que los puntos donde los sistemas se muestran sensibles —los puntos de bifurcación— son, si se me permite la expresión, hoyos en las redes de las relaciones causales: hay quiebres de simetría o de causalidad, pero no se tiene el derecho a afirmar que en esos puntos las causas, imperceptibles tal vez, quebradas y múltiples, estén reducidas a nada. La idea de que todas las causas físicas se aniquilan simultáneamente en un punto dado es, como se sabe, un postulado central del dualismo anticuado del cuerpo y de la mente: el mundo físico estaría regido por la causalidad mientras que la conciencia sería un proceso o una función inmaterial y absolutamente libre. Yo pienso, por mi parte, que sólo una especie de monismo neu-

tro es razonable porque si hay interacción causal entre el cerebro y la mente —para referirme ahora sólo a este género de dualismo dada su popularidad— entonces el cerebro y la mente se encuentran en un estado de continuidad espacial y temporal, lo que significa que pertenecen a una sola y misma sustancia, a un solo y mismo mundo, como William James ya lo hizo notar.

Una conclusión clara e ineludible de las distinciones “sistema inestable y por lo tanto imprevisible”/“sistema realmente determinado”, “incapacidad de prever/determinismo ontológico” es que la retórica según la cual la realidad en sí está indeterminada no se justifica. A las afirmaciones tajantes como las de Richard Feynman, de Patrick Suppes y de tantos otros de que el determinismo causal *in re* está muerto porque la mecánica cuántica así lo prueba, hay que oponer observaciones como las de Grete Hermann o Max Born. Ella hace notar que en ese campo hay una causalidad que se puede describir “hacia atrás”: lo que se registra en los instrumentos de medida es el efecto de un proceso causal. Ahora bien, tal proceso causal conocible solamente a posteriori es imprevisible porque la visión corpuscular y la visión ondulatoria de las partículas se limitan mutuamente poniendo límites definitivos a la previsión mediante el cálculo —es lo registrado con exactitud por las relaciones de indeterminación de Heisenberg— (Hermann, 1935, p. 93). Y Max Born expresa su propia opinión diciendo que él renuncia al determinismo en el dominio del átomo, pero agrega lúcida y honestamente que se trata “de una posición filosófica para la justificación de la cual los argumentos físicos solos son insuficientes” (Born, 1926).

3. Magia o geometría: el desafío de la mecánica cuántica

Casi todas las acepciones de los términos “azar” e “indeterminismo”, siendo manifestaciones de nuestra ignorancia de causas, son compatibles con la visión determinista y causal del mundo. Por ejemplo, según la definición de A. A. Cournot, el azar es el encuentro de series o de líneas causales independientes (generalizando podríamos decir que el azar es el encuentro de sectores causales independientes), lo que significa que la razón del encuentro no se ve en ninguna de las series. Pero se trata de series o de redes *causales*, lo que sugiere que si se considera la situación desde un punto de vista global y no local, si se toma la distancia apropiada, se verá que el encuentro de series causales era necesario y previsible. Recordemos el ejemplo tan mencionado del transeúnte a quien le cae una teja en la cabeza: el transeúnte no previó el accidente porque no vio a tiempo o que pasaba en el techo, el techador no se dio cuenta a tiempo de “las coordenadas” del transeúnte. Pero no hay encuentro por azar ni para las leyes de la naturaleza, ni para el observador ubicado en el punto de vista apropiado. Adoptar un punto de vista global apropiado: éste es, en efecto, como lo enseña la historia de la ciencia, una de las mejores maneras de avanzar que tiene el conocimiento, de ganarle terreno a lo ininteligible: primero está la sorpresa ante lo azaroso de un fenómeno, ante lo que nos impresiona como una excepción al orden del mundo, pero al ensanchar la visión, se termina por darse cuenta de que lo fortuito era sólo una apariencia, el resultado del punto de vista local.

Para algunas personas existe al menos una excepción al determinismo causal y ésta se encontraría la mecánica cuántica. Cabría mencionar (I) la supuesta espontaneidad

del salto cuántico, (II) la interpretación ortodoxa de las relaciones de indeterminación y (III) la concepción objetivista de las probabilidades. La estructura última del mundo sería estadística y no causal. Que la estructura última es causal es lo que se suponía en mecánica clásica. Ahora bien, según Thom, “las regularidades estadísticas expresadas en las leyes de la mecánica cuántica no pueden ser sino el reflejo de invariantes estructurales subyacentes (como en una partida de cara o cruz, la simetría rigurosa de la moneda con que se juega se expresa en la igualdad asintótica del número de las caras y de las cruces)” (Thom, 1980, p. 12).

Impresionados por el indeterminismo epistemológico de esta nueva mecánica, varios científicos y filósofos, entre otras razones probablemente por no tomar suficiente distancia con respecto a la ciencia de su tiempo, llegan a convencerse de que el determinismo causal no es una condición de la ciencia. Abandonan la búsqueda de inteligibilidad y se concentran en los aspectos utilitarios del saber. Esa es la actitud positivista y pragmática. Los realistas, por su parte, se dan cuenta de que la física ya no es lo que fue: una filosofía natural, una actividad intelectual dotada de alcance ontológico. No es inútil hacer notar que la física relativista, cuyo espíritu es clásico, intenta hacer contribuciones ontológicas fundamentales sobre nada menos que el espacio, el tiempo, la materia y la energía. El realista siente mucho que la mecánica cuántica —como lo dice por ejemplo Emile Meyerson en su memoria sobre el determinismo y la física cuántica de 1933— sea incapaz de ofrecer lo que la humanidad siempre espera de ella: “una imagen física del mundo” (Meyerson, 1933). Ahora bien, el pesimismo o la falta de confianza en la física no es la reacción de Thom para quien el determinismo es una condición de la ciencia. Y acerca del desafío de la mecánica cuántica —temible porque según muchos ahí se encontraría la única prueba de un indeterminismo ontológico— el geómetra propone varios comentarios que no habría que descartar sin mayor consideración, sea prejuzgando que el único programa de investigación para esta teoría es aquél de la interpretación positivista ortodoxa, sea dictando que la mecánica cuántica es una ciencia revolucionaria cuyo indeterminismo marca necesariamente una ruptura con el determinismo buscado en la ciencia clásica. Si se quiere evitar el dogmatismo, no hay que asfixiar las ideas diferentes de las que dominan en un momento dado, y según el testimonio de algunos especialistas, por lo menos desde los años 1930 la física institucional se ha mostrado dogmática en este sentido.

Una de las distinciones recurrentes hechas por Thom opone la ciencia a la magia. La magia se caracteriza no solamente por la creencia en fórmulas eficaces, sino también por la creencia en la acción a distancia, lo que significa una modificación de la topología usual del espaciotiempo. Los enlaces entre las cartas locales que definen el espacio estarían modificadas por la voluntad de los magos o de los brujos. Esa no puede ser la visión científica puesto que ella presupone el reconocimiento de un espaciotiempo único, válido universalmente. Con la ciencia se intenta explicar el nacimiento y la evolución de las formas, y la explicación implica la descripción de un proceso localmente y de manera continua. Si existe un espacio único, entonces toda propagación causal requiere tiempo para transitar, lo que excluye la acción instantánea a distancia del dominio de lo inteligible. La actitud científica, al contrario de la actitud mágica, exige la localidad y rechaza la acción a distancia. La actitud de Einstein, dice Thom,

por su exigencia de localidad, aparece como el modo de actuar científico por excelencia. Digamos, por nuestra parte, que el espacio tiene un rol privilegiado en la comprensión del mundo porque gracias a su ambigüedad —espacio en tanto que entidad real, espacio en tanto que concepto matemático— sirve de puente entre el “mundo externo” y el pensamiento. Así la ciencia del espacio, la geometría, está en el centro de la inteligibilidad, y *La deducción relativista* de Emile Meyerson es una ilustración magistral de esta observación (Meyerson, 1925). “Los grandes éxitos prácticos de la ciencia han estado vinculados siempre a la explotación de acciones aparentemente no-locales”, afirma Thom. Ejemplos: la ley de la atracción de Newton, luego en electromagnetismo, la interacción coulombiana entre dos cargas eléctricas y la acción de un imán sobre una corriente son aparentemente acciones a distancia. “Al contrario, las teorías localizantes, a pesar de su interés teórico, casi no tienen aplicaciones prácticas en ellas mismas (piénsese en la teoría general de la relatividad, por ejemplo)” (Thom, 1980, pp. 132-138).

Volvamos a la mecánica cuántica: en ella “y en la teoría cuántica de campos los efectos no pueden ser apreciados sino estadísticamente, y la propagación está definida no sobre el espacio mismo, sino en un espacio funcional, lo que trae como consecuencia un carácter de causalidad no-local sobre el espacio de partida” (Thom, 1988, p. 45). Dirac, en el prefacio a los *Principios de la mecánica cuántica*, “rechaza como si fuera algo desdeñable la imposibilidad de dar un contenido intuitivo a los conceptos de base de la mecánica cuántica. Pero yo no estoy seguro de que en un universo donde todos los fenómenos estuvieran regidos por un esquema matemáticamente coherente, pero desprovisto de un contenido descriptible con imágenes, el espíritu humano estaría plenamente satisfecho. ¿No estaríamos entonces acaso en plena magia? Desprovisto de toda clase de intelección, es decir de interpretación geométrica del esquema dado, o bien intentará el hombre crearse, a pesar de todo, por medio de imágenes apropiadas, una justificación intuitiva del esquema dado, o bien zozobrará en una incomprendición resignada que la costumbre transformará en indiferencia... Magia o geometría, ése es el dilema que plantea toda tentativa de explicación científica... Los espíritus preocupados por la comprensión nunca tendrán, con respecto a las teorías cualitativas y descriptivas, desde los presocráticos hasta Descartes, la actitud despectiva del cientificismo cuantitativo” (Thom, 1977, pp. 5-6). Está claro que aparte de la aplicación general de esta observación sobre las teorías cualitativas, Thom tiene en mente el destino de su propia Teoría de Catástrofes: por su sustancial componente topológico se la clasifica como una teoría cualitativa de la analogía natural, y porque además, salvo excepción, no proporciona una previsión cuantitativa, algunos epistemólogos la han considerado no-científica.

Desde el punto de vista de la inteligibilidad, varios científicos han criticado la manera en que se ha desarrollado la mecánica cuántica, y el reproche principal concierne, como podía esperarse, la oscuridad de varios de los conceptos básicos. Los entes cuánticos presentan un comportamiento ondulatorio y corpuscular, lo que es raro desde el punto de vista clásico, aquél que nuestra experiencia humana normal comparte con la física clásica. El doble comportamiento ondulatorio y corpuscular es la fuente de las relaciones de indeterminación de Heisenberg. ¿Y cómo entender que un comportamiento tan sorprendente, constituido de aspectos incompatibles, sea erigido

nada menos que en principio, el principio de complementariedad? Se ha hecho observar que la complementariedad presupone la compatibilidad, la coherencia: son complementarios, por ejemplo, los órganos de los animales herbívoros. Nuestros predecesores no habrían aceptado que una oscuridad se erija en principio puesto que un principio es clásicamente una fuente de inteligibilidad, la cual, gracias a la deducción, se transmite necesariamente a las proposiciones derivadas. Si las bases de la mecánica cuántica son oscuras (el principio de complementariedad no es el único ejemplo), entonces la oscuridad será transmitida al resto de la teoría —no se puede dar lo que no se tiene⁴.

Una de las observaciones de Thom sobre las bases de la mecánica cuántica recurre a la ontología thomiana de “saliencias” o formas salientes (*saillances*) y de “pregnancies” o formas pregnantes, significativas o imponentes (*prégnances*) (Thom, 1988, cap. 1). Esta distinción corresponde en parte (veremos inmediatamente por qué en parte solamente) a la distinción física entre los sistemas (átomos y moléculas, por ejemplo) y las fuerzas o interacciones. Los sistemas tienen una frontera y por lo tanto tienen un interior y un entorno, y son sensibles a cierto tipo de fuerzas o interacciones con los otros sistemas del entorno. Pero de hecho el origen de la ontología thomiana es biológico, y por eso la distinción física entre sistemas y fuerzas corresponde sólo parcialmente a la distinción entre saliencias y pregnancias: las formas salientes son formas u objetos vividos que se separan del fondo continuo, del espacio-sustrato en el cual habita la forma. La forma saliente tiene una frontera y un interior; su impacto sobre el aparato sensorial de un sujeto es a veces de corta duración, pero no siempre es así porque según la naturaleza de la forma y el estado del organismo —presencia del alimento para el animal hambriento, de una pareja sexual en período de reproducción— la reacción del sujeto puede ser muy viva, energética e interesada. Tales formas son por lo tanto muy significativas (*pregnantes*) y su carácter específico es la pregnancia. “Las pregnancias son entidades no localizadas, emitidas y recibidas por las formas salientes. Cuando una forma saliente captura una pregnancia, queda investida por esta pregnancia; experimenta a causa de eso transformaciones de su estado interno susceptibles de producir manifestaciones exteriores en su forma”.

Lo que importa para nuestro problema de la causalidad es el modo de comunicación de las pregnancias: “Se puede considerar una pregnancia como un fluido invasivo que se propaga en el campo de las formas salientes percibidas, donde la forma saliente se comporta como una grieta de lo real por donde se filtra el fluido invasor de la pregnancia. Esta propagación ocurre según dos modos: propagación por contigüidad, propagación por similitud, mediante los cuales John Frazer, en *The Golden Bough*, clasificaba las acciones mágicas en el hombre primitivo”. Señalemos el interés del reconocimiento de la pregnancia, una especie de apertura, de relación externa que llega a ser interna, de percepción o de *feeling* según el término de A. N. Whitehead. Sería interesante profundizar la comparación entre la ontología whiteheadiana de entidades actuales y de objetos eternos y la ontología thomiana de formas salientes y de pregnancias, des-

⁴ Hay gente, como Richard Feynman, para quienes la filosofía de la naturaleza es una especulación inútil y para quienes las cosas en física cuántica son así, raras y más bien divertidas, y todo lo que quedaría por hacer es tomar acta. Es verdad que la profundidad de espíritu no parece ser la propiedad más repartida entre los físicos actuales.

arrollada de manera independiente (Thom, 1988, cap. 1). No es éste el lugar para desarrollar este tema y me limito a señalar aquí una coincidencia: ninguno de los dos matemático-filósofos se sentiría conforme con la ontología de la física si se dijera que finalmente todo estaría compuesto exclusivamente de partículas puntualmente ubicadas en el espacio y en el tiempo.

Todo lo que existe no es forma saliente y el único modo de presencia no es la colisión. “El ideal de la ciencia contemporánea —y del positivismo— es reducirlo todo a formas salientes donde la única interacción permitida es la colisión entre las formas salientes y eliminar así completamente las pregnancias. Este objetivo no se alcanza (es el caso de la mecánica cuántica) sino renunciando a la inteligibilidad porque, en ese caso, la partícula entidad saliente y el campo entidad pregnancial llegan a identificarse. Se tiene sin embargo en mecánica cuántica la noción de partícula de intercambio (*exchange particle*) que es un monstruo bastardo de forma saliente y de pregnancia. Hay que notar además que los fermiones, debido al principio de Pauli, participan de la impenetrabilidad de la forma saliente, mientras que los bosones son típicamente radiativos (como el fotón)” (Thom, 1988, cap. 1).

Se sabe que el indeterminismo en física cuántica está íntimamente vinculado a su formalismo, y mientras se lo mantenga es inútil suponer que en el futuro la teoría podría completarse de tal modo que las perturbaciones producidas por la medida sean controladas permitiendo así la previsión exacta gracias al cálculo (Hermann, 1935, pp. 34 y s.). Sobre el formalismo cuántico Thom tiene algunas cosas que decir que tienen que ver tanto con toda teoría física que no esté fundada en una matemática segura así como con la capitulación que representa una ciencia indeterminista. Dejando de lado el tono a veces provocador de los comentarios de Thom, habría que retener que lo que el geómetra busca es una matemática significativa, es decir un formalismo bien fundado, una coherencia o medida común entre, por una parte, la precisión orgullosamente exhibida en los cálculos y, por otra parte, la claridad y la precisión exigida en los conceptos. No se encuentra nada de eso en los formalismos cuánticos: “En la teoría cuántica de campos, se confiesa que no se sabe muy bien multiplicar las distribuciones, y sin embargo, se las multiplica de todas maneras; se postula en consecuencia que esta operación es lícita, la gente se las arregla para sacar de ahí un cálculo, etc. Pero desgraciadamente, los esfuerzos destinados a establecer que este cálculo es riguroso, incluso cuando se trata del caso mejor establecido físicamente, la electrodinámica cuántica, no han dado un buen resultado. Y es éste otro síntoma inquietante, se trata tal vez del primer caso en que los físicos han realmente introducido un formalismo que los matemáticos no han podido justificar” (Thom, 1983, pp. 32-33). Este diagnóstico indica lo que habría que remediar, pero el problema es saber cómo: he ahí un tema de investigación para los especialistas.

Pocas personas han hecho valer con tanto conocimiento y fuerza que Thom la necesidad de los elementos a priori en ciencia. (La idea de que hay necesariamente a priori científicos nos trae a la mente, entre otras cosas, el rol que tiene el principio de relatividad en la física relativista.) Tradicionalmente las matemáticas han precedido a la física. Entre las excepciones se encuentran la teoría de las series de Fourier y los formalismos cuánticos. Le parece a Thom que la prioridad de las matemáticas sobre la física es una condición de sentido y de claridad. Téngase en cuenta también —

subrayémoslo por nuestra parte— que el razonamiento matemático es determinista, vehicula una necesidad. Dados el sentido y la claridad de los axiomas y de las proposiciones probadas, se derivan necesariamente otras proposiciones que heredan el sentido y la claridad de los axiomas y de las proposiciones precedentes. (No está de más hacer notar que hay axiomas y proposiciones que describen seres y hechos matemáticos, y por eso sólo una parte de las matemáticas, tal vez la menos interesante, es reducible a la lógica.)

Thom rechazaría una afirmación como ésta de Pierre Duhem, vieja de un siglo y renovada por varios epistemólogos anglosajones: “Una teoría física será un sistema de proposiciones... [que] no tendrá por objetivo proporcionar una explicación, sino una representación y una clasificación natural de un conjunto de leyes experimentales” (Duhem, 1981, p. 157). La ciencia no es solamente, ni ante todo, una observación y clasificación de hechos: es teórica, su objetivo es explicar y hacernos comprender el mundo, y no hay teoría sin imaginación, sin idea preconcebida, sin matemáticas. El juicio de Thom es severo en cuanto a la hipertrófia del experimentalismo: la acumulación, a la que se asiste hoy, de observaciones y de experimentos sin método matemático a priori, es fuente de insignificancia. Los fenómenos que cuentan en ciencia son los que responden a preguntas teóricamente bien planteadas.

4. Determinismo-indeterminismo: ¿una aporía fundadora de la ciencia?

Thom tiene algo que proponer sobre las raíces de las ciencias: todas ellas están atravesadas por la separación unidad/diversidad que se despliega en una serie de oposiciones paradigmáticas⁵. Así, en la raíz de las matemáticas se encuentra la oposición entre el continuo geométrico, que se sitúa al lado de la unidad, y el discontinuo de la sucesión de los números enteros naturales que estaría al lado de la diversidad. En la física existe, por una parte, la hipótesis de un espaciotiempo vacío —unidad—, y por otra parte los sistemas físicos observables —diversidad. Luego en la medida en que la física es matemática, hereda la partición matemática entre el continuo y el discontinuo. La oposición entre el determinismo y el libre albedrío, dicho de otro modo, el problema de la relación entre lo físico y lo mental, está en la raíz de la sicología y de las ciencias de la vida. Si es verdad que estas oposiciones son aporéticas, entonces no son decidibles, y sería en consecuencia ilusorio querer determinar de una vez y para siempre una solución recurriendo, por ejemplo, a la última palabra de tal o cual teoría.

El artículo de Thom que tengo en mente donde expone los fundamentos aporéticos de la ciencia (“Temas de Holton y aporías fundadoras”) data de 1982; ahora bien, unos años antes (Thom, 1977) escribió: “Nuestros modelos [de la Teoría de Catástrofes] ofrecen el primer modelo rigurosamente monista [todo lo que existe es de un solo y mismo género] del ser vivo, ellos disuelven la antinomia del alma y del cuerpo en una entidad geométrica única”. Saquemos la siguiente conclusión, no explicitada por Thom: dado que nuestro autor reconoce el vínculo íntimo que existe entre la oposición determinismo —indeterminismo y la relación entre el cuerpo y la mente, se sigue

⁵ La lista completa de estos “temas” holtonianos se encuentra en el artículo “Thèmes de Holton et apories fondatrices”, in R. Thom (1990), p. 479.

que en la medida en que un modelo catastrofista disuelve la antinomia del cuerpo y del espíritu, disuelve al mismo tiempo y por la misma razón la antinomia del determinismo y del indeterminismo. Y si lo que disuelve el problema de la relación entre el cuerpo y la mente es un monismo ontológico que se expresa en un modelo geométrico único, entonces hay una continuidad ontológica entre el determinismo y el indeterminismo susceptible de ser expresada por un modelo geométrico único. Esta unidad no tendría ya que sorprender a nadie, por lo menos desde el punto de vista epistemológico, porque tal vez el lector recuerda que todo algoritmo, en algún momento, llega a su límite de eficacia, y así el determinismo epistemológico se convierte gradualmente en indeterminismo. E inversamente: ahí donde en un momento dado no hay algoritmo eficaz ni modelo geométrico determinista, tal vez se encontrará un algoritmo eficaz que restaurará el determinismo epistemológico, o bien se encontrará un ser geométrico (por ejemplo, un atractor) que demostrará que el indeterminismo ontológico era sólo una apariencia. Si los modelos catastrofistas disuelven la antinomia del alma y del cuerpo en una entidad geométrica única, ¿significa esto acaso que las oposiciones paradigmáticas, estas raíces de las ciencias como el determinismo y el indeterminismo, no siempre son insolubles? Es pensable. Está claro en todo caso que en cuanto al destino del problema de lo físico y lo mental Thom fue más optimista en los años 1970 que ulteriormente.

Thom hace alusión a los temas de Holton. Los *themata* son numerosos y se presentan a menudo como alternativas: constancia y cambio, continuo y discontinuo, evolución e involución, holismo y reduccionismo, simplicidad y complejidad, invariancia y variación, unidad y estructura jerárquica, etc. (Holton, 1988). Las diáadas recientes mencionadas por Thom y Holton nos traen a la mente, entre otros, las antinomias kantianas, y dos conjuntos de ideas probablemente menos conocidos: los dilemas de la metafísica pura de Charles Renouvier y las ideas opuestas de Albert Lautman. Los dilemas de la metafísica pura de Renouvier conciernen lo condicionado y lo incondicionado, la sustancia y la ley o la función de los fenómenos, lo infinito y lo finito, el determinismo y la libertad, y finalmente la cosa y la persona (Renouvier, 1913). Para Lautman el progreso de las matemáticas resulta de una tensión entre ideas opuestas, todavía más abstractas que las matemáticas: simetría-asimetría, local-global, finito-infinito, continuo-discreto. Se trata de ideas dialécticas que actúan en el trasfondo de las matemáticas y que las dominan (Lautman, 1977). En todos estos casos, se trata de ideas o de símbolos profundos a veces conscientes, pero la mayoría de las veces inconscientes, que dirigen, mediante una lucha o tensión, la evolución de las ideas científicas. Es interesante constatar que hay constantes en estas listas de pares de categorías opuestas a pesar de que han sido elaboradas por autores diferentes, en períodos diferentes y con objetivos diferentes. En consecuencia —e incluso si uno no piensa que las raíces de la ciencia se reducen a pares de conceptos opuestos, por eminentes que sean estas diáadas— el estudio comparativo de estas listas tendría que darnos informaciones indispensables sobre la estructura del intelecto. Pero el desarrollo de este tema estaría aquí fuera de lugar y volvamos entonces a nuestro problema principal.

¿Hay que preferir el determinismo ontológico a su contrario? Thom, lo hemos visto, se inclina hacia el determinismo, aunque de acuerdo con el epígrafe del presente ensayo (Thom, 1990a, pp. 62-63), ni el filósofo, ni el científico en tanto que filósofo,

están forzados en su elección. Pero resulta que el científico, *en tanto que científico*, es determinista puesto que “la ciencia es determinista —por razón de principio” (Thom, 1986, p. 24). Aunque “invocar el azar, o una indeterminación radical de los fenómenos es contrario a la ética científica”, y aunque “sólo el conocimiento de un determinismo causal permite tener un control absoluto de los fenómenos”, también le ocurrió a Thom expresarse a veces de manera menos categórica reconociendo que hay ocasiones en que el científico se ve en la obligación de satisfacerse con descripciones e incluso con explicaciones indeterministas. Esto último le permite al científico, por ejemplo, creer a la vez en la libertad y en la posibilidad de formalizar la sintaxis de un idioma. Sobre el carácter a priori del determinismo causal así como sobre la libertad, lo dicho por Thom no siempre es unívoco y claro —una prueba más de que los problemas de los filósofos no son nunca sencillos. Yo pienso, por mi parte, que el determinismo causal es una propiedad natural susceptible de ser expresada mediante los formalismos del lenguaje natural o de las matemáticas, por eso el determinismo causal existe a la vez en la naturaleza y es una exigencia a priori: hay una colaboración entre las dos. El concepto de a priori tiene una larga historia. Lo que yo quiero decir aquí es que nuestro cerebro y el intelecto que emerge de él están hechos de tal manera que no se satisfacen a menos que se descubra un determinismo causal en el devenir de las cosas. Y puesto que somos sistemas naturales, la libertad no puede ser nunca absoluta, un hoyo en la red de relaciones causales, sino solamente relativa. (Volveremos sobre la libertad en la próxima sección.)

5. La reducción de lo posible y la lucha contra lo arbitrario

Explicar, según la fórmula thomiana, es reducir lo arbitrario de la descripción. Una ley empírica es un resumen de lo esencial de muchos fenómenos, una teoría es un resumen de lo esencial de varias leyes, empíricas y teóricas. La ley y la teoría son ejemplos de la simplificación de lo arbitrario. Un evento aleatorio o radicalmente indeterminado, como una serie de números que aparentemente no es generada por ninguna regla, no admite reducción y lo único factible es reproducirlo o registrarlo tal cual. Si lo aleatorio es inexplicable e incluso probablemente indescriptible puesto que es irreductible, entonces no es objeto de ciencia. Esta afirmación es por supuesto compatible con la idea de que si finalmente lo aleatorio se presta a la aplicación del cálculo de probabilidades, entonces es susceptible de conocimiento. Si hay un cálculo de probabilidades, ya lo hemos dicho, es porque hay un espacio determinista subyacente. Incluso la descripción de eventos fortuitos es problemática puesto que es imposible describir correctamente un fenómeno que no se entiende. (Nótese de paso que esta última observación justa de Thom corrige una de las consignas principales de la fenomenología: se trata ante todo de describir en detalle la riqueza de los fenómenos y no de explicarlos causalmente. En efecto, esta corriente de pensamiento es crítica de la explicación causal porque su búsqueda implica el abandono prematuro de la descripción de los fenómenos. Observemos también que si se trata de describir detalladamente la riqueza de aspectos de los fenómenos, entonces no es raro que los mejores fenomenólogos sean artistas, como tampoco sorprende, por simetría, que no haya una ciencia fenomenológica.)

Si un fenómeno es objeto de conocimiento a medida que se suprime lo arbitrario de la descripción, entonces esto significa (y esto lo afirmo yo de manera más personal) que se descubren en él elementos que no podrían ser de otro modo, es decir que se descubre una necesidad. Ahora bien, uno de los dos modos de aparición de la necesidad es la relación causal y por eso la científicidad es indisociable de la búsqueda del determinismo causal. No basta la previsión gracias al cálculo ni las leyes puramente funcionales y a veces muy sofisticadas construidas por el hombre. (El otro modo de aparición de la necesidad es la manera en que transita una verdad, una falsedad o alguna otra propiedad —por ejemplo una indeterminación o una oscuridad— de las premisas a la conclusión de un razonamiento. Tanto en el caso de la causalidad como en el del razonamiento, la necesidad es ante todo la propiedad de una relación o del modo de propagación de una forma o de una información.)

“La reducción se opera a través de los mecanismos generativos que permiten construir una gran clase de fenómenos E_1 a partir de una subclase E_0 . Postularé que los mecanismos de generatividad son siempre del tipo de aquéllos definidos por la difusión de una pregnancia. La teoría será “científica”, aceptable por todos, si estos mecanismos de generación pueden ser formalizados de una manera precisa y si son inteligen-
bles, por ejemplo reductibles a un encadenamiento de mecanismos causativos elementales” (Thom, 1983, p. 158). Hay que empezar por la imaginación de un espacio virtual, por la prolongación de lo real por lo imaginario: ése es el procedimiento original de la científicidad. “Toda aserción científica tiene por objetivo reducir lo posible (o de aumentar lo real) en la inclusión (real \subset posible) (*omnis determinatio negatio est*)” (Thom, 1990c, p. 582). Le parece a Thom que la física aristotélica, por fundamentarse en la distinción entre la potencia y el acto, es decir entre lo posible y lo real, es la primera teoría científica en sentido propio (Thom, 1990c, p. 579). “No hay ciencia sino en la medida en que se sume lo real en un [espacio] virtual controlado. Y es gracias a la extensión de lo real en un [espacio] virtual más grande que se estudian luego las fuerzas o las presiones que definen la propagación de lo real en el seno de este [espacio] virtual. La mecánica no es otra cosa. Usted tiene el espacio de todas las posiciones y velocidades posibles de vuestro sólido, y luego el producto por el tiempo; usted tiene la trayectoria, usted se da la realidad, que es la posición inicial, los datos iniciales. Lo que dice el formalismo, es: toda la trayectoria estará recorrida por la realidad. El punto representativo es el mapeo inyectivo de lo real en lo virtual. Se lo entiende bien en el campo de la mecánica, pero es la misma cosa en aquél de la biología” (Thom, 1991, p. 122). Una condición de la introducción de estos procesos virtuales es que deben ser todos, en principio, realizables —no se ve para qué serviría un virtual irrealizable.

Dado que para Thom no hay ciencia sin determinismo, cara a cualquier fenómeno aparentemente indeterminado, en física cuántica o en otros lugares, él preconiza la búsqueda de variables ocultas. Esta operación consiste esencialmente en sumir los fenómenos aparentemente indeterminados en un espacio determinado. El fenómeno aparentemente indeterminado existe en un espacio externo U ; ahora bien, este espacio puede ser multiplicado por un espacio interno S de variables ocultas, y es posible considerar luego el fenómeno inicial en U como proyección de un sistema determinista en el producto $U \times S$. Desde este punto de vista, dice Thom, la estadística no es otra cosa

sino *una hermenéutica determinista* cuyo objetivo es reinstaurar el determinismo ahí donde aparentemente falla. “Se sustituye [así] al espacio inicial M un espacio M' más grande, pero en este nuevo espacio se mantiene el esquema determinista (M, X) porque no se puede hacerlo de otra manera” (Thom, 1990a, p. 76). El problema principal es encontrar los buenos parámetros, es decir los objetos menos cargados en virtualidad susceptibles de conducir a una representación determinista”. En este sentido el científico que emplea modelos estadísticos se facilita a veces el trabajo más allá de lo razonable porque esos modelos están demasiado cargados de virtualidad, y parece entonces legítimo pedirle que haga un esfuerzo suplementario. La estrategia de Thom presupone la continuidad de los fenómenos y de su sustrato. Este postulado le permitió concebir la Teoría de Catástrofes cuya esencia consiste en tomar las discontinuidades aparentes y llevarlas de vuelta a la manifestación de una evolución lenta subyacente, y “el problema entonces es determinar esta evolución lenta que exige en general la introducción de nuevas dimensiones, de nuevos parámetros” (Thom, 1961, p. 62).

El científico teórico que imagina posibles de donde puede salir lo real, el experimentalista que juega con los parámetros para saber si un fenómeno es o no estructuralmente estable o determinado, ejercen ambos su libertad. La ciencia es determinista *por razón de principio*, pero presupone en cambio la libertad del científico *en la práctica*. Si se ve aquí una paradoja, es solamente una apariencia, como lo veremos ahora. Me importa hacer notar algo que no es subrayado por Thom aunque es compatible con sus ideas y, lo más importante es que permite preservar el determinismo causal universal mientras se reconoce la libertad del científico: ni la imaginación de posibles de donde puede emerge lo actual ni la variación de parámetros expresa una libertad absoluta. Ni lo uno ni lo otro son actos espontáneos, vinculados a nada, hoyos en la red de relaciones causales. La razón es que el yo que decide, sea cual sea la circunstancia, no es una nada sino un sistema complejo que actúa en función de las causas o de las necesidades que nos constituyen y que son de varios órdenes (físico, biológico, sicológico, social). Uno se siente libre en la medida en que actúa sin determinaciones externas. Nadie quiere que sus proyectos más importantes fracasen por causas externas. Pero ¿quién puede asegurar que elige libremente sus actos voluntarios, que elige libremente sus propios deseos? “El hombre hace siempre lo que quiere, escribe Schopenhauer, y sin embargo lo hace necesariamente”⁶. Somos sistemas físicos, biológicos y sicológicos que participan del orden natural, y por eso el hecho de que a veces podamos hacer lo que queremos no significa de ninguna manera que seamos libres para elegir nuestros deseos. La libertad humana es la interiorización de la necesidad. La libertad que necesita el científico en su práctica no significa que sea capaz de sustraerse a toda influencia causal simultá-

⁶ A. Schopenhauer (2000), pp. 157-158. Esta cita, “El hombre hace siempre lo que quiere, y sin embargo lo hace necesariamente” continúa así: “Lo que se explica porque él es ya lo que quiere, pues de lo que él es se sigue, necesariamente, todo lo que pueda hacer. Si consideramos su hacer *objetivamente*... cobraremos el conocimiento apodíctico de que se halla sometido... a la ley de causalidad en todo su rigor; *subjetivamente*, por el contrario, cada cual siente que hace siempre lo que quiere. Lo cual no quiere decir otra cosa sino que su acción es la manifestación pura de su ser peculiar. Del mismo modo habría de sentir cualquier ser natural, aun el más ínfimo, si es que pudiera sentir”. Schopenhauer trata de todas maneras de salvar la libertad recurriendo al dominio transcendental —escapatoria ininteligible.

neamente. Ocurre que nuestro cerebro es un sistema dinámico causal complejo compuesto de un número elevado de partículas en interacción, y esa es una de las razones por las cuales es imposible calcular nuestro comportamiento, vale decir conocerlo con exactitud cuantitativa. Nuestro siquismo está regido por una causalidad cuyo conocimiento nos escapa y es tan poco descriptible que podemos, si queremos, considerarnos libres. Pero presupongo que el conocimiento causal exhaustivo de todo lo que influye en el comportamiento humano revelaría que la libertad no existe.

Esta incursión en la libertad del científico que debe hacer variar los parámetros nos da la ocasión de ver lo que Thom dice sobre el libre albedrío: "La sensación de libertad... puede explicarse, creo, con la ayuda de un modelo relativamente sencillo. Consiste en un mecanismo que opera en nuestro cerebro como un generador de azar cada vez que hay necesidad de tomar una decisión urgente. Por ejemplo, estamos cruzando la calzada de una calle muy oscura y el semáforo de los peatones se pone rojo cuando hemos alcanzado, digamos, los dos tercios del trayecto. Se plantea una elección: continuar o regresar. El problema es que uno no puede estar demasiado tiempo elaborando esta elección. Hay que decidirse. Una solución es mejor que otra, pero lo más peligroso es no tomar ninguna decisión. Por eso creo que nuestro cerebro está dotado, por razones biológicas, de un mecanismo capaz de romper simetrías. Tal mecanismo utilizaría criterios virtualmente irrelevantes pero que nos proveen de la decisión que necesitamos. Este tipo de mecanismo es uno de los componentes claros de nuestra sensación de libre albedrío"⁷. El libre albedrío sería entonces un mecanismo biológicamente determinado por nuestra necesidad de sobrevivir. Corresponde a los especialistas del cerebro (aunque no exclusivamente a ellos) pronunciarse sobre la verosimilitud de la hipótesis thomiana. El geómetra reconoce que lo que propone es uno de los componentes claros del libre albedrío. Ahora bien, se pueden buscar también otros componentes que estén vinculados, por ejemplo, con nuestra experiencia moral. Esto es razonable porque la preocupación por nuestra vida biológica (la sobrevivencia), aunque fundamental y omnipresente, no parece agotar todas las dimensiones éticas del libre albedrío.

6. El determinismo causal: condición de la ciencia y de la metafísica realista

Volvamos a la explicación científica. En lo que respecta a la cuenta que se da de un fenómeno, hay personas que por convicción o indiferencia pueden dejar la última palabra al azar (en el único sentido interesante de este término, es decir, en tanto que indeterminismo ontológico), a la contingencia o al accidente (admitiendo que las cosas podrían haber ocurrido de otra manera). Por un lado, un determinista no puede sino criticar esta actitud porque ve en ella una demisión; por otro, le incumbe al determinista probar que ahí donde se veía azar, contingencia y accidente, hay de hecho un determinismo causal revelado por la reducción de lo arbitrario de la descripción y por la subida en la escala de la necesidad. Desde el punto de vista de la comprensión, el determinismo causal es el motor de la investigación, y por eso sería un grave error ver, en el hecho de que la carga de la prueba recae sobre el determinista causal, una crítica

⁷ Se trata de una contribución de René Thom a un debate sobre el determinismo y la libertad in J. Wagensberg (1986), p. 205.

al determinismo, una falta. Error más grave aún: considerar que esa seudocrítica basta para adherir al indeterminismo. Pues bien, es precisamente esta falta grave de apreciación que es cometida, por ejemplo, por quien es considerado como uno de los grandes epistemólogos de la segunda mitad del siglo XX, Karl Popper. Escribe: “Una razón importante para aceptar el indeterminismo... es que la carga de la prueba recae sobre el determinista” (Popper, 1982). Pero la crítica se devuelve inmediatamente: el indeterminista aparece como un perezoso que hace su trabajo sólo a medias. Sócrates se dirige a Menón en estos términos y sólo reemplaza “virtud” por “determinismo”: “Entonces no hay que creer en este razonamiento sofístico de que el azar sería un principio último: nos convertiría en perezosos y es a los cobardes a quienes les gusta escucharlo. Mi creencia en el determinismo, al contrario, exhorta al trabajo y a la investigación: es porque tengo fe en su verdad que estoy resuelto a buscar contigo lo que es el determinismo”.

Resulta que *The Open Universe* de Kart Popper, fuente de la cita que recién mencioné, contiene errores graves varias veces cometidos por varias personas: (I) confusión de la previsión exacta con la causalidad, (II) asimetría lógica: un solo evento imprevisible basta para probar el indeterminismo mientras que un alto número de eventos previstos no basta para probar el determinismo. Así la ausencia de prueba concluyente del determinismo bastaría para probar el indeterminismo. Pero según esta lógica, *primero*, ¿por qué un evento previsto no bastaría para probar el determinismo, y *segundo*, por qué saltar del carácter no concluyente de la prueba del determinismo al indeterminismo? (III) Según Popper, el pasado está sujeto a la retrodicción causal, mientras que el futuro no es causalmente previsible. Pero no hay razón válida para mantener esta distinción. Puesto que Popper confunde causalidad y previsión, es legítimo preguntarse: ¿por qué se podría calcular con exactitud solamente el pasado y no el futuro? Las ecuaciones diferenciales no autorizan esta distinción: posibilidad de calcular el pasado/imposibilidad de calcular el porvenir.

Afirmar, como lo hace Thom, que el determinismo es una conquista y no un dato, quiere decir que tiene en mente una búsqueda del determinismo, un intento de prueba. Esta se construye con la imaginación gracias a la generatividad de los formalismos, gracias a la aplicación de ciertas ideas preconcebidas tales como la continuidad del espacio subyacente al espacio de los fenómenos aparentemente indeterminados, y gracias a los procedimientos que permitan reducir lo posible de donde sale lo real, o reducir lo arbitrario de la descripción. El determinismo causal científico no es un asunto de todo o nada, de demostración concluyente o no: se avanza difícilmente, gradualmente, sobre todo ahora que se está más consciente que a comienzos del siglo XIX (la época de Laplace) de las complejidades del modelo diferencial tales como la ausencia de soluciones, o la existencia de soluciones (trayectorias) múltiples, la discontinuidad de la solución con respecto al dato inicial. Todo esto disminuye el dominio de aplicación del modelo diferencial que era aquél del determinismo laplaciano. Y a estas complicaciones matemáticas que dificultan o imposibilitan la previsión mediante el cálculo habría que agregar la dificultad que hay para discernir las causas de un fenómeno. Resulta que las causas no solamente son de especies diferentes, sino que pueden además ramificarse y debili-

tarse. Pequeñas causas, casi insignificantes en sí, pueden colaborar juntas para producir el efecto notable que se quiere explicar (piénsese en la sensibilidad a las condiciones iniciales).

Es irracional pretender que el determinismo causal es legítimo solamente si se prueba lo imposible, es decir, que *todo* está causalmente determinado. Por eso la creencia en el determinismo causal *universal* es una actitud metafísica que la ciencia corrobora sólo parcial y localmente. Puesto que hay un solo universo, es imposible modificar libremente los parámetros del universo considerado como un todo, sea para probar que su desarrollo sigue una necesidad, sea para probar lo contrario. Thom escribe con la reserva y la prudencia necesarias: “Dado que nuestro universo es a priori único, su historia es igualmente única y es posible, con tanta verosimilitud o inverosimilitud, considerarlo como predeterminado o contingente. Para dar contenido a la afirmación del determinismo, hay que... sumir la evolución real en un conjunto de evoluciones virtuales. Sólo una cierta forma de localidad permite definir las evoluciones virtuales... en sentido estricto, la única manera de definir las evoluciones virtuales consiste en recurrir al sustrato espacial del universo, *i.e.* a su topología, a su geometría. Se decreta, lo que es bastante evidente, que un estado global del universo es la suma de sus estados locales. Se puede entonces perturbar localmente un estado global, y se define así todo un continuo de estados virtuales, lo que posibilita la obtención de evoluciones virtuales. Visto así, el problema del determinismo requiere la invariancia postulada de la geometría (*?topología?*) del universo. Exige también el carácter local del determinismo físico; dos puntos sobre los cuales la situación no está clara”⁸.

Algunos —no es el caso de Thom— están dispuestos a reconocer esta evidencia: la ciencia, en su historia y en su progreso, presupone el determinismo epistemológico. Sin embargo, estas mismas personas, mediante un razonamiento incongruente cuya lógica se me escapa, afirman que no hay que creer que el universo en sí está determinado causalmente —indeterminismo ontológico. Para restablecer la coherencia entre el determinismo epistemológico y el determinismo ontológico, propongo enraizar el primero en el segundo, es decir, sumir la investigación científica en la metafísica del vasto determinismo causal universal. Tal asimilación de la ciencia por la metafísica era de esperar ya que la ciencia, para contribuir a la búsqueda de inteligibilidad, debe integrarse a una metafísica realista apropiada.

El determinismo causal universal no es demostrable científicamente, pero es una condición de la metafísica realista sin la cual la ciencia orientada hacia la inteligibilidad no existe. La conclusión se impone: la ciencia que busca la comprensión del mundo y la metafísica realista presuponen el determinismo causal.

REFERENCIAS

- Born, M. (1926). “Sur la mécanique quantique des collisions”, in José Leite Lopes y Bruno Escoubès, *Sources et évolution de la physique quantique. Textes fondateurs*. París: Masson, 1994.
- Duhem, P. (1981). *La théorie physique*. París: Vrin.
- Espinoza, M. (2006). *Théorie du déterminisme causal*. París: L'Harmattan.
- Hermann, G. (1935). *Les fondements philosophiques de la mécanique quantique*. París: Vrin.

⁸ Comunicación de René Thom a Jean Largeault, reproducida en J. Largeault (1985), p. 184.

- Holton, G. (1988). *The Scientific Imagination*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- Kojeve, A. (1932). *L'idée du déterminisme dans la physique classique et dans la physique moderne*. París: Gallimard.
- Largeault, J. (1985). *Systèmes de la nature*. París: Vrin.
- Lautman, A. (1977). *Essai sur l'unité des mathématiques*. París: Union Générale d'Editions.
- Liapounoff, A. (1988). *Problème général de la stabilité du mouvement*. París: Jacques Gabay.
- Meyerson, E. (1925). *La Déduction relativiste*. París: Payot.
- (1933). *Réel et déterminisme dans la physique quantique*, París: Hermann.
- Popper, K. (1982). *The Open Universe. An Argument for Indeterminism*. Londres: Hutchinson.
- Prigogine, I. (1994). *Les lois du chaos*. París: Flammarion.
- (1996). *La fin des certitudes*. París: O. Jacob.
- Renouvier, Ch. (1927). *Les Dilemmes de la métaphysique pure*. París: Félix Alcan.
- Schopenhauer, A. (2000). *Sobre la libertad de la voluntad*. Madrid: Alianza Editorial.
- Thom, R. (1977). *Stabilité structurelle et morphogenèse*. París: Inter-Editions.
- (1980). *Modèles mathématiques de la morphogenèse*. París: Christian Bourgois.
- (1983). *Paraboles et catastrophes*. París: Flammarion.
- (1986). *Prefacio al Essai philosophique sur les probabilités de P.-S. Laplace*. París: Christian Bourgois.
- (1988). *Esquisse d'une sémiophysique*. París: Inter-Editions.
- (1990a). "Halte au hasard, silence au bruit", in volumen colectivo *La Querelle du déterminisme*. París: Gallimard.
- (1990b), "Thèmes de Holton et apories fondatrices", in R. Thom (1990), *Apologie du logos*. París: Hachette.
- (1990c). *Apologie du logos*. París: Hachette.
- (1991). *Prédire n'est pas expliquer*. París: Eshel.
- Thompson, D'A. (1961). *On Growth and Form*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Wagensberg, J. (1986) (ed.). *Proceso al azar*. Barcelona: Tusquets Editores.

Miguel ESPINOZA es Profesor de Filosofía de la Ciencia en la Universidad de Estrasburgo, Francia. Miembro del Consejo Nacional de las Universidades, sección Filosofía de las Ciencias. Áreas de interés: filosofía de la naturaleza, filosofía de la física y de las matemáticas. Publicaciones principales: *Essai sur l'intelligibilité de la nature* (Toulouse, 1987), *Théorie de l'intelligibilité* (Toulouse, 1994, y París, 1998), *Les mathématiques et le monde sensible* (París, 1977), *Philosophie de la nature* (París, 2000), *Pensar la ciencia* (con R. Torretti) (Madrid, 2004), *Théorie du déterminisme causal* (París, 2006).

DIRECCIÓN: Département de Philosophie, Université de Strasbourg. 14, rue René Descartes, 67084 Strasbourg Cedex, France. E-mail: miguel.espinosa@wanadoo.fr.