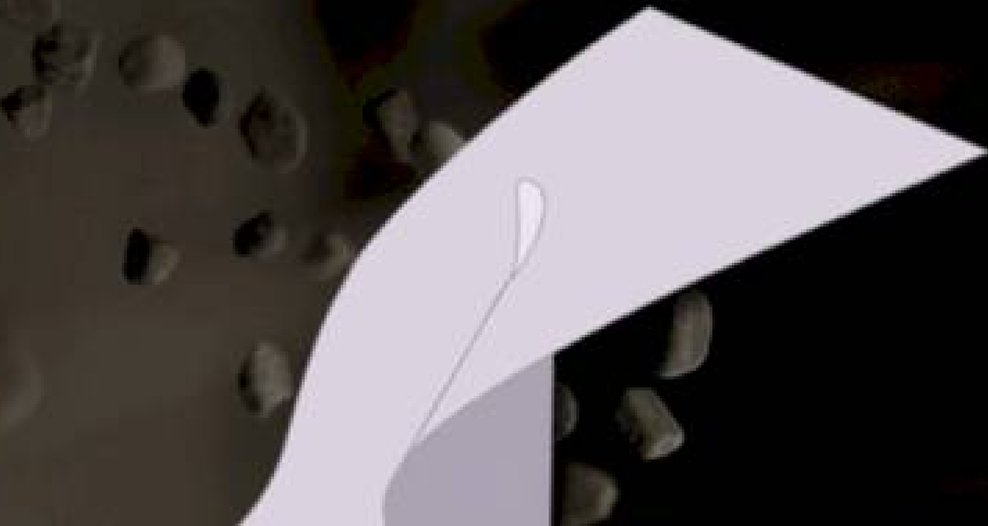
Parábolas y catástrofes

Entrevista sobre matemática, ciencia y filosofía

René Thom



METATEMAS 11

LIBROS PARA PENSAR LA CIENCIA

«Prefiero el campo de la matemática en el que no se sabe muy bien qué se hace», en el que las fronteras son móviles y abiertas, y en el que hay una zona del conocimiento «en el que aún se puede experimentar maravillas»: así escribe René Thom, quien recibió en 1958 la Medalla Fields (equivalente al Premio Nobel) y que, en los años setenta, desafió en su propio terreno a físicos y biólogos, a economistas y lingüistas; proponiendo, con su ya célebre «teoría de las catástrofes», una nueva manera de considerar todas las transformaciones que se producen de un modo brusco, imprevisto, dramático.

En esta larga entrevista, en la que se habla de matemática y embriología, de lingüística y de antropología e historia, René Thom no sólo consigue aclarar el sentido profundo de las analogías («parábolas») que explican algunos de los más enigmáticos y fascinantes fenómenos discontinuos (o «catástrofes») —desde la diferenciación en el desarrollo embrional hasta las grandes crisis político-sociales—, sino que contesta punto por punto a críticos y opositores. Crítico para con los entusiasmos demasiado fáciles con respecto al «progreso» científico y tecnológico, observador atento de los distintos sistemas de investigación, estudioso sensible a los complicados lazos entre sociedad y ciencia, René Thom no hace aquí sino trazar una imagen de la ciencia misma que, al entrar en más de una ocasión en conflicto con las más afianzadas creencias de nuestro tiempo, consigue revivir, en el contexto de instrumentos intelectuales modernísimos, la concreción, tan querida por el filósofo griego Heráclito, de la génesis de las formas a través del conflicto.

René Thom nació en Montbéliard, Francia, en 1923. Desde 1953 es profesor permanente en el Institut des Hautes Études Scientifiques de Bures-sur-Yvette. Su ya célebre tratado, *Stabilité structurelle el morphogénése* (1972) ha pasado a ser el punto de referencia de todo un nuevo sector de la investigación que fascina tanto a matemáticos puros como a investigadores de las más variadas disciplinas (física, biología, economía, lingüística, etc.).

Advertencia de los editores

Como entrevistadores y responsables de este libro, queremos expresar a René Thom toda nuestra gratitud por la amabilidad y la disponibilidad demostradas en el transcurso de la entrevista y en las distintas fases de preparación del libro. Debemos también profunda gratitud a los amigos Giuseppe Geymonat, Fernando Gil y Jean Petitot por sus utilísimos consejos, sugerencias y críticas. La responsabilidad por los eventuales errores es, obviamente, sólo nuestra.

Las notas han sido redactadas por los editores con el propósito de orientar al lector a lo largo de las distintas referencias del texto.

Giulio Giorello y Simona Morini.

I
Introducción

Pregunta: Es muy difícil —así lo testimonian las polémicas de los epistemólogos— «definir» la ciencia, e incluso trazar una línea sin ambigüedad de demarcación entre lo que es ciencia y lo que no lo es… Pero todo investigador tiene, por lo menos, una idea preliminar, suya, de lo que es una disciplina científica.

Respuesta: Toda ciencia es, antes que nada, el estudio de una fenomenología. Es decir: los fenómenos que son objeto de una determinada disciplina científica aparecen como accidentes de formas definidas de un espacio dado, al que podremos llamar el *espacio substrato* de la morfología que se estudia… En los casos más generales (física, biología) el espacio substrato es simplemente el habitual espacio-tiempo. Pero en ocasiones es necesario considerar como substrato un «espacio» algo diferente, que se deduce, por así decirlo, del espacio macroscópico habitual, o por algún artificio técnico (microscopio, telescopio, etc.), o construyendo un «espacio» con parámetros cuantitativos (¿no decimos, por ejemplo, que la acústica es «la ciencia de los sonidos»?, etc.).

Finalmente, ciertas disciplinas, sobre todo en el ámbito de las llamadas ciencias del hombre —y pienso ante todo en la sociología—, todavía se preguntan cuáles son los «hechos» que constituyen su campo de estudio y no han conseguido aún una descripción escuetamente morfológica.

Así pues, se trata de reconocer y conceptualizar formas*: desde las ciencias físicas, que durante siglos han constituido el ideal para cualquier ciencia, por lo menos para cualquier ciencia de la naturaleza, hasta las ciencias humanas, ciertamente menos estructuradas que la física e incluso que la biología. Pero ¿mediante qué instrumentos intelectuales se produce este reconocimiento y conceptualización?*

El primer objetivo, según el punto de vista que asumimos aquí, es el caracterizar un fenómeno como forma, precisamente, «espacial». Comprender quiere decir pues, ante todo, geometrizar. Pero recurrir a la geometría es también recurrir a cierta forma de abstracción, de idealización…

¿En qué sentido?

Para responder doy enseguida algunas ideas básicas de la teoría de las catástrofes, sobre la que volveremos, supongo, a continuación. Aquí sólo quiero trazar las líneas generales de una idealización que es, a mi juicio, indispensable si lo que nos proponemos como programa es una teoría morfológica, una teoría de las formas.

Recuperemos primeramente algunas nociones familiares de topología:[1] entendemos como espacio substrato un abierto de un espacio euclideo, de dimensión finita.[2] Si *u* es un punto de tal substrato *U*, decimos que es *regular* si en todo punto *u'* «bastante próximo» a *u*, lo que «hay» en *u'* tiene la misma «apariencia cualitativa» que en *u*… En otros términos, *u* es regular si una esfera de centro *u*, de radio bastante pequeño, no contiene ningún accidente fenomenológicamente interesante. En tal esfera no ocurre nada.

Las ideas básicas de la topología, según esta idealización, aparecen entonces muy naturales…

A partir de la definición se deriva, inmediatamente, que el conjunto de los puntos regulares es un conjunto abierto en *U*. Veamos ahora lo que sucede con el complemento *K* de tal conjunto en *U*. Este conjunto cerrado *K* es el conjunto de los *puntos de catástrofe* de la morfología estudiada: si *v* es un punto de *K*, en cualquier esfera de centro *v* «ocurre algo». La palabra «catástrofe» no tiene aquí la connotación negativa que tiene en el lenguaje cotidiano… simplemente, en cualquier punto *v* del conjunto catastrófico *K las cosas cambian*… Claro está que la distinción entre puntos regulares y catastróficos es relativa… Depende de muchas cosas, de la precisión de nuestros medios de observación, por ejemplo. Examinemos una morfología a simple vista: todo está tranquilo. Pero apenas examinamos con un microscopio su entorno hete aquí que un punto *v*, aparentemente regular, se muestra catastrófico.

Por otra parte, el conjunto *K* de los puntos de catástrofe constituye sólo una parte de la morfología empírica estudiada: esta última comporta siempre variaciones continuas de los parámetros cualitativos que no se pueden comprimir en el conjunto *K*. Pensemos, por ejemplo, en las dificultades con que ha ido encontrándose la teoría de los colores… ¡hasta qué punto es difícil reconocer bordes precisos en los colores del arco iris!

La distinción entre puntos regulares y catastróficos es, pues, una idealización: por así decirlo, reduce toda morfología al simple esqueleto de su discontinuidad cualitativa.

Exacto. Pero no hay que olvidar que tal distinción constituye una de las grandes «categorías» de nuestra forma de percibir el mundo. La encontramos otra vez en psicología (en la teoría de la percepción), en la distinción figura/fondo, en semántica, en la distinción forma/contenido y, como podíamos esperar, en topología general, en el origen de la distinción abierto/cerrado…

Así pues, se podría decir que un objetivo primordial de cualquier disciplina morfológica es el estudio, métrico o topológico, de sus conjuntos catastróficos…

Y, desde este punto de vista, es de primera importancia reconocer si el conjunto de los puntos de catástrofe *K* es raro (o denso en ninguna parte).[3]

Lo que lleva a otra dicotomía fundamental de nuestra conceptualización de la realidad, aquélla a la que se alude al mencionar la oposición caos/cosmos…

Sí. De hecho, si no se verifica que *K* es raro, la morfología es verdaderamente caótica en el interior de *K*. Esta situación resulta casi insostenible para el observador: en la mayor parte de los casos, con una operación para determinar la media, el observador intenta soslayar los detalles «demasiado sutiles» y se contenta con una descripción más tosca, que conserva sólo las apariencias «medias», de manera que se pueda introducir de nuevo en todo lo posible la regularidad. Sin embargo, se dan situaciones (como la turbulencia en hidrodinámica o la observación del citoplasma con el microscopio electrónico) que casi parecen imponer un conjunto de catástrofe denso en todas partes.

Esta distinción entre puntos regulares y catastróficos es, así, preliminar no sólo para la teoría de las catástrofes que ha desarrollado usted en sus trabajos, sino sustancialmente para cualquier disciplina que establezca descripciones so-

bre cualquier morfología empírica. Tiene también, pues, un significado epistemológico, a un nivel general…

Sí. Y, además, según el perfil epistemológico, considero oportuno repartir las ciencias, *grosso modo*, en dos grandes familias, distinguiendo entre experimento y simple observación…

También esta diferenciación resulta bastante relativa: los límites entre la pura observación y el experimento son a menudo menos claros de lo que creemos…

También aquí interviene sin duda una cierta idealización. Pero de todos modos me parece bastante claro que ciertas disciplinas se pueden reconocer como experimentales, en el sentido de que en ellas el investigador puede sin más trámite crear la morfología que quiere estudiar (es lo que ocurre con la física y con la química) o, si no, puede intervenir de forma más o menos radical en su desarrollo (tal es el caso, típicamente, de la biología).

Hay otras disciplinas que son *puramente observacionales*; aquí es casi imposible hacer experimentos, bien debido a la lejanía espacial (astronomía), bien a la lejanía temporal (las ciencias «del pasado»: geología, paleontología, etnografía, historia, …), o bien, finalmente, por razones éticas (ciertos fenómenos psicológicos y sociales). En todo caso, las morfologías, para que se puedan estudiar, es decir reconocer y conceptualizar, deben gozar en cierto sentido de una determinada «estabilidad».[4]

Maxwell escribía en 1876: «Cuando el estado de las cosas es tal que una variación infinitamente pequeña del estado presente altera tan sólo en una cantidad infinitamente pequeña el estado en un momento futuro, se dice que la condición del sistema, en reposo o en movimiento, es estable; pero cuando una variación infinitamente pequeña del *estado presente puede causar una diferencia finita en un tiempo finito, se dice que la condición del sistema es inestable. Es evidente que la existencia de condiciones inestables hace imposible la previsión de acontecimientos futuros, si nuestro conocimiento del estado presente es sólo aproximado y no preciso».*[5]

La cuestión de la estabilidad aparece como fundamental…

Ésta es una noción intuitiva, casi un requisito preliminar para cualquier indagación de tipo morfológico. La noción de «estabilidad estructural» que se da en matemáticas —y sobre la que volveremos— aparece plenamente adecuada, sin embargo, sólo para las disciplinas que he llamado experimentales…

¿Pero no son entonces las disciplinas más interesantes, las más «enigmáticas», las que quedan al margen?

Eso depende. Normalmente podemos admitir que la observación repetida de ciertos fenómenos proporciona un indicio lo suficientemente verosímil de su estabilidad. Verosímil, por lo menos, en cuanto lo son, usualmente, los resultados obtenidos mediante los experimentos…

Ése es el caso clásico de la astronomía…

Eso es; pero lo mismo se puede decir también de otras disciplinas. En resumen, el modelo de ciencia que he planteado hasta aquí es ampliable a las disciplinas que he llamado de pura observación… Pero lo importante es no perder de vista el hecho de que la estabilidad se convierte así en una especie de hipótesis suplementaria, un presupuesto, casi un dogma…

Como quiera que sea, el «primer inventario» de los fenómenos observables es sólo el principio de una teoriza-

ción científica…

Sí, una vez acabada la descripción de una morfología, lo que hay que hacer es darle una explicación. Y éste es el punto delicado de la cuestión: la mayor parte de los científicos, y sobre todo de los experimentadores, no dudarían en estar de acuerdo conmigo sobre los aspectos descriptivos; sólo cuando la idea de «explicación» entra en juego la unanimidad desaparece.

Porque todos y cada uno tienen en el fondo su propia idea de lo que es explicación…

Exacto. Pero las tendencias dominantes son, *grosso modo*, dos. La primera es la «reduccionista». La explicación de este tipo se inicia con un análisis causal de los fenómenos *X* observados, y se pregunta: ¿estos fenómenos *X* son causados por entes de otra especie *Y* o encuentran en sí mismos sus causas? En el primer caso, se consagra al estudio de los fenómenos *Y*, olvidando, por así decirlo, la morfología intrínseca de *X*.

Por ejemplo, el lenguaje es una morfología sonora *X* emitida por los seres *Y* en interacción social; el reduccionista afirma *a priori* que la lingüística, si quiere ser de verdad una ciencia, debe ser «explicada» mediante el estudio —anatómico, psicológico y social— del hombre. En el segundo caso, cuando los fenómenos *X* no tienen otra causa visible que ellos mismos, el reduccionista trata de explicarlos mediante la descomposición del medio que es soporte de *X* en entidades más pequeñas, invariables e indestructibles, cuya combinatoria debe reconstruir por agregación la morfología *X*.

El atomismo físico es el paradigma de este comportamiento. Las posiciones y velocidades de un sistema de N átomos se describen a partir de un punto móvil en un espa-

cio euclídeo R^{6N} de 6N dimensiones (x_i); las leyes de interacción entre estas partículas permiten formular un sistema de ecuaciones diferenciales $dx_i/dt = X_i(x_j)$ cuya integración da la evolución temporal del sistema estudiado…

Éste es el «paradigma» de explicación científica más perfecto de que hoy disponemos. Y sin embargo aquí se involucran dos componentes que con demasiada frecuencia los científicos no consiguen distinguir suficientemente: la hipótesis «atomista» y la utilización del cálculo diferencial como prototipo de una evolución subyacente a un determinismo local. En mi opinión, la primera hipótesis (la existencia de «átomos») es infinitamente más restrictiva que la segunda (la existencia de un determinismo diferencial). De hecho, cuando se utiliza la hipótesis «atomística» es necesario ponerse de acuerdo en cuanto a los entes de base que se consideran «átomos»: la elección no es casi nunca fácil, ¡ya que puede haber una jerarquía completa de niveles de organización! Por otra parte, hay que estar en situación de describir cuantitativamente las interacciones entre los átomos e integrar después un sistema diferencial de dimensión $6N$, en general muy alta ($N = 10^{23}$, número de Avogadro, para las moléculas de un gas). Sólo una aproximación estadística puede, en algunos casos, llevar a término el programa, pero entonces… ¡adiós morfologías! Éstas, como ya he dicho, están vinculadas a una discontinuidad de las propiedades del ambiente —el conjunto K de los puntos catastróficos—, mientras los métodos cuantitativos usuales apelan a funciones analíticas, y por tanto continuas, inadecuadas para describir tales discontinuidades.[6]

De esta forma, el reduccionismo resulta impracticable; sin embargo, cuando se considera otra teoría causal —como en el ejemplo que he dado antes, el de la lingüística, que se explicaría por medio de la neurofisiología, o, pongamos por caso, mediante la sociología, etc.— está claro que la teoría «causal» resulta notablemente más compleja que la morfología *X* considerada al principio.

¿Y entonces…?

Tarde o temprano los científicos se ven constreñidos a pasar de la explicación reduccionista a un tipo diferente de explicación, que llamaremos «estructural». ¿En qué consiste? Consideremos otra vez el caso de la lingüística: en la lingüística estructural se busca precisamente el proporcionar, para una morfología lingüística, un sistema de reglas, en número finito, que permita «generar» todas las expresiones que constituyen tal morfología. De forma análoga, en el caso de cualquier morfología empírica, la tendencia «estructural» aspira a simplificar su descripción con un número finito de reglas combinatorias relativas a alguna morfología elemental que permitan reconstruir la morfología en cuestión. Todo ello puede llevarse a cabo según un estricto espíritu formalista, sin justificar tales «reglas»; exactamente a como se hace normalmente con los «axiomas» de un sistema formal en lógica.

Pero —y esto es exactamente lo que hace la teoría de las catástrofes, como podremos ver— también se puede tratar de justificar dinámicamente tales «reglas»… Y así es como la causalidad vuelve a descubrirse…[7]

Así pues, el comportamiento estructural y la búsqueda de las causas se pueden combinar el uno con la otra. Sin embargo, puede darse también el caso de que la tendencia estructural no llegue o se abstenga de forma deliberada de llegar a la formulación causal…

Es cierto. Pongamos un ejemplo. Los filósofos y los historiadores de la ciencia se han preguntado, y aún se preguntan, si la ley de la gravitación universal descubierta por Newton, $F = Gmm'/r^2$, es una «descripción» o una «explicación». La respuesta, según mi criterio, es simple: se trata de una explicación de naturaleza estructural, en cuanto permite una descripción rápida de una morfología empírica (el movimiento de los cuerpos celestes, la caída de los graves, etc.). Sin embargo, no se trata de una explicación reduccionista: es absolutamente independiente, de hecho, de la estructura de la materia (protones, electrones, etc.), cuyo conocimiento se adquirió más tarde.

Y, según las intenciones del propio Newton, la fórmula no debía pretender siquiera el desvelamiento de la «causa» de la gravitación…

Permitía hacer anticipaciones afortunadas: sobre su base era posible construir —por lo menos en casos relativamente simples— modelos cuantitativos, que proporcionaban *ad libitum* algunas predicciones. Pero éste es un caso afortunado que no se generaliza tan fácilmente.

No, por el contrario, en el principio de Stabilité structurelle et morphogenése*, contrapone usted netamente Descartes a Newton, concretamente en este punto: «Descartes, con sus vértices y sus átomos enlazados, lo explicaba todo y no calculaba nada: Newton, con la ley de la gravitación en* $1/r^2$ *calculaba todo y no explicaba nada. La historia le ha dado la razón a Newton y ha relegado las construcciones cartesianas al nivel de fantasías gratuitas y recuerdos de museo».*[8] *No «explicaba», obviamente, las «causas». Pero usted no disimula una cierta simpatía, si no nostalgia, por el punto de vista de Descartes.*

La victoria del punto de vista newtoniano está plenamente justificada desde el punto de vista de la eficacia, de la posibilidad de establecer predicciones, y por lo tanto de actuar sobre los fenómenos… *Pero* no estoy del todo convencido de que nuestro intelecto pueda contentarse con un universo regido por un esquema matemático coherente, desprovisto sin embargo de contenido intuitivo… La acción a distancia tenía un cierto tufillo —y aún lo tiene— de magia…

¿Aunque la teoría newtoniana tenga un alto potencial predictivo y, notoriamente, permita realizaciones tecnológicas válidas?

Eso es. En mi opinión, a alguien podría sorprenderle que el potencial predictivo de las teorías científicas deba subrayarse mucho menos de lo que la inmensa mayoría de los investigadores y epistemólogos suelen hacerlo, hasta el punto de convertir ese potencial en la característica distintiva de la tarea científica. Exigir de cualquier disciplina científica que sea posible comprobar la teoría con la acción, con la experiencia, excluye automáticamente del campo científico las ciencias del pasado, como la paleontología y la historia, y también todas aquéllas en las que es imposible la experimentación directa (como es aún, en amplia medida, el caso de la astronomía). En pocas palabras: a mi entender, deberíamos abandonar la idea de la ciencia como un conjunto de recetas eficaces.

Y eso, ¿no comporta también una diferenciación entre ciencia y técnica?

¡Yo abogo por una neta separación entre ciencia y técnica! Sobre todo desde el momento en que entré en la Academia y vi el papel que desempeñaban los científicos, esforzándose en actividades industriales y técnicas, papel que considero más bien negativo. Se trata, de hecho, de actividades que tienen un gran peso económico-político y que inducen a los investigadores involucrados en ellas a reclutar más gente para llegar a sus propios objetivos. Recientemente oí a un miembro de la Academia hacer el panegírico