

Jorge Wagensberg

La rebelión de las formas
O cómo perseverar cuando la incertidumbre aprieta

F Á B U L A
TUSQUETS
EDITORES

Índice

P.	15	Prólogo. Un buen lugar para pensar
		Primera parte. Cómo perseverar cuando la incertidumbre aprieta
19	1.	Objetos y fenómenos en el gran catálogo de la realidad
26	2.	El derecho de la naturaleza a una dosis de azar y la constitución de una realidad con más restricciones que obligaciones
41	3.	Individualidades e individuos en la nervura de lo real
60	4.	Selección fundamental, selección natural, selección cultural o la cuestión de empezar a existir y la de seguir existiendo
82	5.	Hacia Darwin de la mano de Spinoza ante la mirada crítica de Kant
93	6.	Comprender la realidad con la ayuda de lo que bien podríamos llamar función
107	7.	La ley general del cambio pese a la insistencia de lo real en seguir siéndolo
123	8.	La emergencia de las formas en la naturaleza a partir de la ocurrencia de un niño de cinco años
136	9.	Nueve respuestas (o más) para un par (o menos) de preguntas una intuición a favor de una teoría general de la forma
155		Epílogo de la primera parte. Inacabando...

Segunda parte. La rebelión de las formas

161	10. La esfera protege...
183	11. El hexágono pavimenta...
195	12. La espiral empaqueta...
207	13. La hélice agarra...
219	14. El ángulo penetra...
230	15. La onda comunica...
239	16. La parábola emite y recibe...
243	17. La catenaria aguanta...
249	18. Los fractales colonizan...
275	Epílogo de la segunda parte. Lo bello y lo inteligible

Apéndices

311	Referencias
317	Índice onomástico

A todos los que trabajan, en algo,
para un museo de ciencia...

AGRADECIMIENTOS

Hernán Crespo, Ambrosio García Leal, Simone Mateos y Marta Solsona son cuatro personas muy diferentes, pero las cuatro aceptan el papel de *sparring* intelectual y las cuatro inician su respuesta con un «sí, pero...».

Sin acabar, una obra permanece viva, peligrosa.
Una obra acabada es una obra muerta, asesinada.

Pablo Picasso

Prólogo

Un buen lugar para pensar

Un museo es un buen lugar para pensar. Diré por qué: en un museo la prioridad está en los objetos y en los fenómenos. Todo empieza con la selección de piezas. El museólogo se pasea por el mundo de una manera especial. Barre el suelo con la mirada, acaricia todo lo que se pone a su alcance, pregunta aun conociendo la respuesta... Su secreto, nunca del todo confesado, es éste: ¡no sabe lo que busca hasta que lo encuentra! Luego llegan las ideas. Los conceptos son bienvenidos procedan de donde procedan, de la ciencia, del arte, de las creencias, de la propia museología... Pensar un museo se parece mucho al proceso de construir un edificio, pero al revés. Primero son las piezas (el tejado, los acabados), luego es la coherencia, el discurso (la estructura central), y finalmente es la filosofía, los objetivos (los cimientos). Un museo es un buen lugar para pensar porque en él coinciden objetos e ideas que de otro modo difícilmente llegan a acercarse entre sí. Eso hace crecer la probabilidad de colisión. Las hay de tres clases: objeto con objeto (en una buena colección, los objetos no se ignoran entre sí), idea con objeto e idea con idea. Cada reacción es una oportunidad para la emergencia de un nuevo objeto o de una nueva idea. Un museo es realidad concentrada. Un museo es un reactor de ideas. Por eso es un buen lugar para pensar. Y a veces, por encima de cierta concentración crítica, incluso es posible que arranque una reacción en cadena. Es lo que en una ocasión sucedió en el Museu de la Ciència de la Fundació “la Caixa” en Barcelona, con motivo de la exposición titulada *¡Y después fue la forma...!*

Este volumen trata de ordenar las ideas antes de que se las lleve el viento. Consta de dos partes. Primero fue la segunda, una reflexión sobre la emergencia de las formas en la naturaleza. Luego fue la primera, una reflexión sobre el comportamiento de la realidad entera. En la pri-

mera parte se introducen las palabras que, en principio, no lograba encontrar para escribir la segunda.

¿A quién puede interesar recorrer estas páginas? Yo diría que a cualquier lector que no se encoja de hombros ante una pregunta como ésta: ¿qué tienen en común objetos tan dispares como el Sol, un planeta, una naranja, una pelota, un huevo de caviar o una burbuja en una copa de cava?

Me apresuro a admitir que este ensayo es un ejercicio inacabado en dos tiempos inacabados. En cualquier momento, uno puede tropezar con un objeto que cambie la verdad vigente, o que sugiera un toque de cincel. La ciencia nunca se cierra definitivamente. En la ciencia, como en la realidad misma, todo está siempre inacabándose... El gran D'Arcy Thomson se pasó la vida rescribiendo el mismo libro [1].* ¡Qué bien comprendo esto ahora!

Camburí (Brasil), 25 de diciembre de 2003

* El lector encontrará el texto de estas referencias entre corchetes en el Apéndice final de este libro. (*N. del E.*)

Primera parte

Cómo perseverar cuando la incertidumbre aprieta

1

Objetos y fenómenos

en el gran catálogo de la realidad

La realidad se compone de dos cosas: objetos y fenómenos. Los objetos ocupan el espacio, los fenómenos ocupan el tiempo. Los objetos son distribuciones espaciales de materia, energía e información. Los fenómenos son cambios temporales de los objetos. La creación de la realidad coincide con la creación del tiempo. En el instante siguiente se inicia la transformación de la realidad, la expansión del espacio y el despliegue del tiempo.

Según las teorías cosmológicas, al poco de nacer el tiempo, la cantidad de materia del universo se estabilizó en unos dos billones y medio de trillones de cuatrillones de kilos. Desde entonces la materia no ha dejado de pasar de un objeto a otro. Lo mismo ocurre con la energía y la información. Los objetos cambian. Cambian de materia. Cambian de energía. Cambian de información. Los objetos cambian de identidad. Todo lo que empieza, acaba o se transforma.

Hubo un tiempo en el que la realidad era una especie de sopa de quarks más o menos homogénea. Pero basta un vistazo a nuestro alrededor para convencernos de que las cosas se han complicado. Hay objetos en los que predomina la materia, como una gota de agua o un puñado de arena. Hay objetos en los que predomina la energía, como un rayo de sol o el entorno de un imán. Y hay objetos en los que predomina la información, como un pedazo de ADN o un poema.

¿Cómo es posible que el mero transcurso del tiempo cambie las cosas? Lo que más tenemos es tiempo. Y el tiempo siempre acaba pasando. Es sólo cuestión de tiempo. Una galaxia, un árbol o una catedral son ejemplos de objetos que aparecen, se transforman y desaparecen, de manera que pasan a engrosar lo que bien podríamos llamar el gran catálogo de los objetos del mundo, la enorme lista de los objetos que, en algún momento, han accedido a la realidad. En rigor y en el límite, un objeto es sólo idéntico a sí mismo.

La identidad de un objeto se define por el conjunto de propiedades que lo distinguen de cualquier otro objeto del gran catálogo. Todo objeto induce una particular partición del mundo: él mismo y el resto del mundo. Por ello, dado un objeto cualquiera, se puede hablar de tres conceptos que le son propios: su interior, su exterior y la frontera que separa lo uno de lo otro. No importa cuán compacta, continua, conexa o nítida sea la frontera. Propiedades típicamente interiores son, por ejemplo, la *estructura* o la *composición*... Propiedades más bien exteriores son la *inteligibilidad*, la *frecuencia* de su presencia, la *diversidad* o la *función*... Propiedades típicas de la frontera son la *forma* o el *tamaño*.

Toda buena propiedad depende de una buena definición y de una buena manera de medir. Algunas, muy subjetivas, dependen mucho de la calidad de un eventual sensorio y de un cerebro capaces de recibir e interpretar la información que emana del objeto. Es el caso del color, el sabor, el sonido, el tacto... Otras propiedades son muy objetivas, como la ubicación espacial respecto de una referencia preasignada. (Obsérvese que para afirmar que no hay dos objetos idénticos basta considerar la posición espacial como una de las propiedades del objeto y apelar luego al principio de impenetrabilidad de la materia.)

En este ensayo nos proponemos comprender una de estas propiedades, la *forma*. Sin embargo, reconocemos como trascendentes todas aquellas propiedades que contribuyen con algún mérito a distinguir un objeto de otro. Sobrevolamos ahora el significado de algunas de ellas.

La *estructura* de un objeto tiene que ver con una partición (relevante) de la globalidad del objeto en partes (que son asimismo relevantes). Cada partición particular define un Todo como el resultado de una colección de Partes en interacción. La interacción es, de hecho, lo que impide que un Todo sea la suma simple de sus Partes. Aún no nos hemos puesto de acuerdo sobre lo que significa *comprender* la realidad, pero adelantemos aquí que la estructura es una propiedad de gran ayuda para comprender muchos casos. La estructura de un objeto puede conservar detalles de su propia historia. Al cortar una montaña por un plano vertical nítido, por ejemplo, es posible descubrir una estructura de estratos, sedimentos antiguos en el fondo de un lago o de un mar. Los estratos pueden ser muy variados: horizontales, inclinados, plegados o quebrados. Los geólogos pueden reconstruir con ello la his-

toria de la formación del objeto montaña. Digamos que una sopa de bacterias independientes, otro ejemplo, tiene menos estructura que un agregado de células fuertemente unidas por lazos físicos, y éste a su vez, menos estructura que un tejido de células con una actividad física y química bien trabada y coordinada. Digamos que no existen organismos vivos sin una partición interna relevante. La vida no es una especie de película continua derramada sobre el planeta. No existen entes vivos sin estructura, o, dicho de otro modo, para estar vivo se necesita una mínima partición interna. Una maqueta de la torre Eiffel construida con cerillas, todas iguales, tiene menos estructura que un reloj de mesa y éste menos estructura que una calculadora científica de bolsillo, y ésta menos estructura que una simple lombriz de tierra. Algo nos hace intuir que la estructura puede medirse, algo nos dice que la estructura es una propiedad interesante de los objetos...

La *composición* de un objeto se refiere a la distribución de materia según sean las familias de átomos y moléculas involucrados. Las partes y sus respectivas interacciones tienen un soporte material y ponen en juego unos transportes físicos y unas transformaciones químicas muy relevantes. Las varvas de Itú (Brasil) son rocas formadas hace 260 millones de años en el fondo de un lago glacial. En aquella época el clima global del planeta era más frío (en Brasil, que se encontraba mucho más al sur, había glaciares). Cada varva corresponde a un año y está formada por dos capas. Una es oscura debido al lento sedimentación de finos limos cargados de materia orgánica producido en el invierno, cuando la superficie del lago está helada; la otra es clara debido al aporte de tierras y arenas que se produce durante la primavera y el verano.

No hay individuos vivos homogéneos o de composición química arbitraria. Muy al contrario, en la materia viva ciertos átomos y moléculas son mucho más frecuentes que otros. La gran diferencia entre, digamos, un pez y la mejor de sus reproducciones en resina es sin duda su composición. La composición química de una piedra, otro ejemplo, puede contener información suficiente para concluir que su origen no es terrestre sino un fragmento de un meteorito formado bastante antes que el propio sistema solar. La composición del tronco de una palmera puede dar pistas sobre su elasticidad, la que permite a esta planta doblarse ante la fuerza de un huracán y no verse arrancada de cuajo como

tantos otros árboles. La composición es una propiedad que aporta comprensión.

El *tamaño* de un objeto se refiere a su espacio interior, al pedazo de espacio encerrado por la frontera que separa su interior de su exterior. En algunos casos esta magnitud está nítidamente definida sobre un volumen compacto, como ocurre con un canto rodado fluvial. En otros, como en el de un átomo, un banco de peces o un poema, se requieren acuerdos complementarios. El tamaño puede ser también una propiedad relevante para comprender un objeto. La estructura de una roca sedimentaria, por ejemplo, se compone de objetos de distinto tamaño. Son piedras más pequeñas o granos de arena depositados quizá por sedimentación. Pues bien, un corte en la dirección vertical del campo gravitatorio revela que los granos están ordenados de menor a mayor tamaño. La razón está en que la velocidad límite de sedimentación de un cuerpo pequeño en un líquido viscoso como el agua es menor que la de un cuerpo grande. La caída clasifica los granos por tamaños. Los animales grandes retienen el calor más que los pequeños, porque su relación superficie/volumen es más pequeña. La relación entre calor disipado y tamaño del individuo no es, como cabría esperar, una proporción de la masa elevada a la potencia $2/3$ sino a la potencia $3/4$. Analizaremos este complicado misterio a la hora de hablar de una forma muy relacionada con el crecimiento en el mundo vivo y en el mundo inerte, los fractales. Todo objeto del gran catálogo del mundo sólo es posible dentro de un rango de tamaños. No existen estrellas del tamaño de un huevo de gallina ni un solo huevo del tamaño de una estrella. Siempre existe un límite superior y uno inferior.

La *forma* de un objeto es una propiedad de la superficie frontera que separa su interior de su exterior. La forma es una profunda propiedad superficial de un objeto. También es una propiedad que puede ayudar a su comprensión. Cuanto más rueda un canto rodado, más tiende su forma a la simetría esférica. No existen planetas cúbicos o troncocónicos. Atendiendo a la forma de un pez o de un pájaro puede adelantarse algo sobre sus desplazamientos más frecuentes (grandes travesías o patrullas locales). Basta observar la forma de una herramienta o una pieza dental para predecir si sirve para cortar, pinchar, percudir o moler... La forma aporta inteligibilidad para comprender un objeto. He aquí una pista a favor de esta afirmación: muchos objetos,

nada sospechosos de estar relacionados entre sí, exhiben la misma forma.

Las propiedades del objeto que se refieren al resto del mundo, es decir, a su exterior, es decir, a la realidad particular en la que está inmerso, tienen que ver con eso que hemos llamado *comprender*, esto es, comprender los objetos, comprender el conjunto de sus propiedades. Son la *frecuencia*, la *diversidad*, la *función*... Todas esas propiedades son útiles para construir la inteligibilidad de los objetos porque todas versan sobre lo común y lo diverso.

Lo acabamos de apuntar y lo repetimos ahora de otra manera: si la identidad de dos objetos coincide exactamente, entonces es que se trata del mismo objeto. Una vez admitido este detalle límite podemos atender a aquello que comparten dos objetos distintos o, por extensión, a la intersección de los objetos de una colección. Esa esencia compartida define una nueva entidad que bien podemos llamar *clase*. Un objeto es inteligible respecto de una colección de objetos, de la que es miembro; si existe una clasificación (o colección de clases) tal que cada uno de tales objetos pertenece a una y sólo una de sus clases. Las clases pueden ser inteligibles a su vez respecto de otras clases y con ello aumenta la inteligibilidad del objeto. Cuanta mayor sea la esencia compartida entre dos objetos o dos clases de objetos, más próximos serán los objetos o las clases entre sí. Una estrella puede ser inteligible por su tamaño y por la clase de luz que emite. Un conejo es un objeto inteligible dentro de su madriguera como miembro de una especie, la suya, de una familia de roedores, como mamífero, tetrápodo, vertebrado, cordado y como miembro de pleno derecho del reino animal. Es la clasificación de Linneo. Un elemento químico se hace inteligible en la tabla de Mendeleiev. El diagnóstico médico hace inteligible una enfermedad, de modo que se espera que dos miembros de la misma clase se curen con el mismo tratamiento. Etcétera. Clasificar es una manera de reducir, de comprimir. La clasificación es una forma de comprensión. Tendremos que ahondar en este significado de la palabra «comprender», porque en él nos vamos a basar para tratar de comprender la forma de los objetos reales.

Una clasificación introduce, a su vez, otras dos propiedades interesantes que relacionan un objeto con su entorno: la *frecuencia* de su presencia y la *diversidad*. La frecuencia es, sencillamente, el número



Figura 1.1. Cantos rodados ordenados según tres criterios: tamaño, de grande a pequeño (de arriba abajo); forma, de esférica a ovoide (de delante hacia atrás) y color, de oscuro a claro (de derecha a izquierda). Colección Museu de la Ciència de la Fundació “La Caixa” (MCFLC) fotografía de Sergio Parra.

de individuos de una clase. En un paisaje, una mariposa puede ser rara, en otro paisaje la misma mariposa puede ser frecuente. La diversidad es una propiedad que combina el número de clases diferentes y la frecuencia de su ocupación por los objetos en cuestión. La diversidad máxima corresponde al máximo de clases igualmente distribuidas, es el caso improbable de la equiprobabilidad (inviabile espontáneamente en la naturaleza). Es, sin embargo, el caso frecuente de muchos objetos artificiales como un museo, un zoo o el arca de Noé. La diversidad mínima (asimismo inviable de forma espontánea en la naturaleza) corresponde a todos los individuos de una misma clase (una granja de pollos o un campo de trigo). La contribución de un objeto a la diversidad de un paisaje ayuda, sin duda, a la comprensión.

En el museo ha quedado (en principio) como permanente la exposición sobre la forma que (en principio) se concibió como temporal. Uno de sus elementos emblemáticos es, sencillamente, una clasificación de cantos rodados (figura 1.1) según tres criterios: el tamaño de la

pieza (de grande a pequeño), su forma (de esférica a cada vez más ovoide) y su composición (ordenada por ejemplo por el color, de claro a oscuro). Ordenados en tres dimensiones según un volumen cúbico definido por tres ejes con diez valores cada uno, se obtiene una escultura de rara belleza en la que caben hasta mil piedras. Es la belleza de la inteligibilidad científica.

Cualquier esquema conceptual empieza con la elección y la definición de los conceptos idóneos. La ciencia se esfuerza por definir los conceptos que juzga como relevantes para comprender el mundo. ¿Qué conceptos nos pueden ayudar a comprender la forma de los objetos reales? Adelantemos un plan de reflexión. Lo que existe, existe porque ha superado alguna clase de selección. Superar una selección equivale a superar una prueba de compatibilidad con el resto de la realidad. Equivale a ganar una baza de permanencia. Llamaremos «función» a esa ganancia. La función será el concepto estrella a la hora de comprender la emergencia y la perseverancia de las formas en la naturaleza. No se trata de la idea de función del lenguaje común, ni siquiera se trata de la idea de función que usan la matemática, la biología o la psicología. Es un concepto más amplio. Es un concepto que surge de pensar la realidad. A ello nos dedicamos en los siguientes cinco capítulos.