

Benoît Mandelbrot
EL FRACTALISTA
Memorias de un científico inconformista

Traducción de Araceli Maira Benítez

TUSQUETS

TUSQUETS
EDITORES

Título original: *The Fractalist. Memoir of a Scientific Maverick*

1.ª edición: mayo de 2014

© 2014 by Benoit Mandelbrot. Todos los derechos reservados

© de la traducción: Araceli Maira Benítez, 2014
Diseño de la colección: Lluís Clotet y Ramón Úbeda
Diseño de la cubierta: Estudio Úbeda
Reservados todos los derechos de esta edición para
Tusquets Editores, S.A. - Avda. Diagonal 604, 1.º 1.ª - 08021 Barcelona
www.tusquetseditores.com
ISBN: 978-84-8383-878-5
Depósito legal: B. 5.484-2014
Fotocomposición: David Pablo
Impreso por Limpergraf, S.L.
Impreso en España

Queda rigurosamente prohibida cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación total o parcial de esta obra sin el permiso escrito de los titulares de los derechos de explotación.

Agradecimientos, por Alette Mandelbrot.	11
Introducción. Belleza e irregularidad	13
Primera parte. Cómo me convertí en científico	
1. Raíces: del cuerpo y de la mente	23
2. Infancia en Varsovia (1924-1936).	40
3. Adolescencia en París (1936-1939).	54
4. Colinas míseras en la Francia de Vichy no ocupada (1939-1943)	66
5. Lyon: avance de la ocupación y autodescubrimiento (1943-1944)	78
6. Mozo de cuadra cerca de Pommiers-en-Forez (1944).	88
7. ¡Aleluya! La guerra se aleja y una nueva vida se acerca	93
Segunda parte. Mi larga y sinuosa educación en la ciencia y en la vida	
8. París: exámenes infernales, angustia de la elección y un día en la École Normale Supérieure (1944-1945)	99
9. Un (entonces raro) estudiante extranjero en la École Polytechnique (1945-1947)	113
10. Pasadena: estudiante en Caltech durante una edad de oro (1947-1949)	125
11. Oficial de reserva en formación, en el cuerpo de Ingenieros del Ejército del Aire francés (1949-1950)	139
12. Adicción creciente a la música clásica, la voz y la ópera.	146
13. Vida de estudiante de posgrado y trabajador de Philips Electronics (1950-1952)	150
14. Primer momento kepleriano: la distribución Zipf-Mandelbrot de la frecuencia de las palabras (1951).	161
15. Mi gran <i>tour</i> posdoctoral comienza en el MIT (1953).	170
16. Princeton: el último investigador posdoctoral de John von Neumann (1953-1954)	178
17. París (1954-1955).	186
18. Noviazgo y boda con Alette (1955).	192

19. En Ginebra con Jean Piaget, Mark Kac y Willy Feller (1955-1957)	205
20. Un inquieto inconformista que rinde por debajo de su capacidad arranca sus poco profundas raíces (1957-1958).	210
Tercera parte. La fructífera tercera etapa de mi vida	
21. En el departamento de investigación de IBM durante su edad de oro en las ciencias (1958-1993)	217
22. En Harvard: un agitador recién llegado a las finanzas hace un descubrimiento revolucionario (1962-1963)	232
23. Camino a los fractales: mi paso por IBM, Harvard, MIT y Yale gracias a la economía, la ingeniería, la matemática y la física (1963-1964)	245
24. Con base en IBM, voy de sitio en sitio y de disciplina en disciplina (1964-1979)	260
25. <i>Annus Mirabilis</i> en Harvard: el conjunto de Mandelbrot y otras incursiones en las matemáticas puras (1979-1980).	267
26. Una palabra y un libro: «fractal» y <i>La geometría fractal de la naturaleza</i>	281
27. En Yale: asciendo al rango más alto de la universidad: la Cátedra Sterling (1987-2004)	295
28. ¿Ha fundado mi trabajo la primera teoría general de la irregularidad?.	301
29. Belleza e irregularidad: el círculo se cierra	307
Epílogo, por Michael Frame	319
Apéndices	
Índice onomástico	327
Créditos de las ilustraciones	333
<i>[Ilustraciones]</i>	<i>[193-200]</i>

Mi largo y sinuoso recorrido por la vida ha sido solitario y, de
ordinario, muy irregular. Sin la ayuda del afecto, habría sido corto,
desagradable e improductivo.
Pero he tenido suerte. Mi padre y mi madre me enseñaron el arte de la
supervivencia. Mi tío me acogió como alumno revoltoso pero
agradecido. Alette se les unió más tarde, y ella, nuestros hijos y
nuestros nietos me enseñaron a sonreír.
A mis faros seguros están dedicadas estas escenas de una vida.



Éstas son las memorias de una búsqueda ardiente, aunque accidentada,
de orden y belleza dentro de la irregularidad —en las matemáticas, la
economía, las ciencias, la ingeniería y las artes—.
Tal busca me ha llevado a conocer en el camino a muchísimas
personas de una variedad y una energía inusuales.
Muchas fueron cálidas y acogedoras; muchas fueron indiferentes,
despectivas, hostiles, abominables incluso. Este libro no puede
de ninguna manera mencionarlas a todas, pero todas me enseñaron
algo y a todas les debo mucho.



 A la memoria de Johannes Kepler,
que combinó datos antiguos con juguetes antiguos y fundó la ciencia.

TUSQUETS

AGRADECIMIENTOS

Mi marido falleció poco antes de que El fractalista llegase a la editorial. Benoît pasó varios años escribiendo estas memorias. Fue una labor realizada con amor, y mi gratitud más profunda es para quienes permitieron que sus palabras siguiesen vivas.

Sin Merry Morse, la eficaz asistente de Benoît, estas memorias no se habrían acabado nunca. Merry puso en juego su sorprendente destreza para la corrección de textos y para la solución de problemas, mientras preservaba las palabras, el estilo y el espíritu de Benoît. Gracias, Merry, por todo tu trabajo, las horas incontables, la coordinación con la editorial y tu amistad.

Michael Frame, amigo íntimo de Benoît y su colega en Yale, escribió el epílogo, nos asesoró sobre las imágenes fractales y las secciones técnicas del libro, y estuvo siempre ahí con respuestas rápidas a nuestra aparentemente interminable lista de preguntas.

Richard Voss, compañero y amigo en el departamento de investigación de IBM de Yorktown Heights, revisó y aclaró la sección sobre los primeros gráficos por ordenador en IBM, y explicó la tecnología que está detrás de las imágenes que él generó.

Alan Norton, otro compañero de Benoît en el departamento de investigación de IBM, revisó las partes del libro relacionadas con los conjuntos de Julia y sugirió imágenes para acompañarlos.

El colaborador de Benoît en Fractales y finanzas, Richard Hudson, revisó las secciones sobre finanzas.

Lisa Margolin buscó muchas horas hasta dar con un mapa de Bielorrusia de 1938 que muestra Połoczanka, donde Benoît pasó un verano de su infancia.

Irene Greif, directora del departamento de investigación de IBM de Cambridge, y Charles Lickel, anterior vicepresidente del departamento de investigación de IBM de Hawthorne, generosamente dieron tiempo a Merry Morse para trabajar en este libro.

Maida Eisenberg brindó una calurosa acogida a Benoît en el departamento de investigación de IBM de Cambridge, ofreciéndole un entorno agradable y cómodo en el que trabajar en estas memorias.

Paul Moody, diseñador investigador en el departamento de investigación de IBM de Cambridge, preparó algunas de las imágenes fractales de este libro.

Jane Olingy, administradora del departamento de investigación de IBM de Cambridge, preparó todos los borradores y los envió a la editorial.

Vaya mi gratitud especial para Dan Frank, de Pantheon Books, por su incalculable ayuda en el desarrollo de este libro.

Por último, agradecemos a la Fundación Alfred P. Sloan la ayuda que brindó a este libro.

Aliette Mandelbrot

TUSQUETS

Introducción Belleza e irregularidad

La práctica totalidad de los patrones comunes en la naturaleza son irregulares. Su aspecto es exquisitamente desigual y fragmentario, no sólo más elaborado que la maravillosa geometría antigua de Euclides, sino de una complejidad enormemente superior. Durante siglos, la mera idea de medir la irregularidad fue un sueño vano. Éste es uno de los sueños a los que he dedicado toda mi vida científica.

Permitan que me presente. Soy una suerte de guerrero científico, ahora anciano, y he escrito bastante pero nunca he tenido un público predecible. Así pues, en estas memorias, déjenme decirles quién creo que soy y cómo es que llegué a trabajar durante tantos años en la primera teoría de la irregularidad, y a tener la recompensa de ver su transformación en un aspecto de una teoría de la belleza.

* * *

El matemático Henri Poincaré (1854-1912), un científico de mentalidad abierta, señaló que uno decide plantear algunas preguntas, mientras que otras son «naturales» y se plantean solas. Mi vida ha estado llena de preguntas como éstas: ¿qué forma tiene una montaña, una costa, un río, o la línea que separa dos cuencas fluviales?, ¿qué forma tiene una nube, una llama o una soldadura?, ¿qué densidad tiene la distribución de galaxias en el universo?, ¿cómo describir (para poder actuar sobre ella) la volatilidad de los precios cotizados en los mercados financieros?, ¿cómo comparar y medir los vocabularios de escritores distintos? Los números miden el área y la longitud. ¿Podría algún otro número medir la «irregularidad total» del hierro oxidado, o de una piedra, un metal o un vidrio rotos?, ¿o la complejidad de una pieza musical o del arte abstracto? ¿Puede la geometría proporcionar lo que la raíz griega de su nombre parecía prometer: una medición fiel, no sólo de los campos de cultivo a orillas del río Nilo sino también de la indómita Tierra?

Tales preguntas, entre otras muchas, están diseminadas en multitud de ciencias y hace poco que han sido planteadas... por mí. En mi ado-

lescencia, durante la segunda guerra mundial, llegué a venerar un importante avance de un matemático y astrónomo de hace varios siglos, Johannes Kepler (1571-1630). Kepler combinó las elipses de los antiguos geómetras griegos con un error de los antiguos astrónomos griegos, quienes creían que existían «anomalías» persistentes en el movimiento de los planetas. Kepler utilizó sus conocimientos de dos campos distintos —la matemática y la astronomía— para mostrar mediante el cálculo que este movimiento de los planetas no era una anomalía. Era, de hecho, una órbita elíptica. Descubrir algo así se convirtió en el sueño de mi infancia.

¡Qué aspiración tan poco práctica! No conducía a una carrera en ninguna profesión organizada, ni permitía brillar en la vida, una aspiración que mi tío Szolem, eminente matemático, calificaba con insistencia de completamente pueril. De algún modo, sin embargo, el destino permitió que dedicase mi vida a perseguir aquel sueño. Gracias a una extraordinaria buena fortuna, y en el curso de una larga y dolorosamente complicada trayectoria profesional, mi sueño finalmente se hizo realidad.

En mi búsqueda kepleriana afronté numerosos desafíos. Lo bueno es que salí victorioso. Lo malo o, quizá, más de lo bueno, es que mi «victoria» suscitó gran cantidad de problemas nuevos y diferentes. Por otra parte, mis aportaciones a disciplinas en apariencia inconexas guardaban, de hecho, una estrecha relación, y terminaron por llevar a una teoría general de la irregularidad, desafío que se remonta a la Antigüedad. El filósofo griego Platón había planteado el reto hace miles de años, pero nadie sabía cómo enfrentarse a él. ¿He sido yo esa persona?

* * *

Entre mis conocidos se contaba el enérgico rector de una universidad importante. Un día que nos cruzamos en un pasillo atestado, se detuvo para hacer un comentario que nunca he olvidado:

—Está usted haciéndolo muy bien, aunque ha tomado un camino solitario y difícil. No deja de correr de disciplina en disciplina, llevando una vida impredecible, sin echar raíces para disfrutar de lo que ha conseguido. Un canto rodado no coge musgo y, a sus espaldas, la gente comenta que está usted completamente loco. Pero yo no creo que esté loco en absoluto, y debe seguir con lo que hace. Para alguien que piensa, la enfermedad mental más grave es no estar seguro de quién se es. Ese problema no le aqueja a usted. Usted nunca necesita reinventarse para adaptarse a los cambios de las circunstancias: sencillamente, sigue avanzando. En ese sentido, es el más cuerdo entre nosotros.

Con calma, respondí que no estaba corriendo de disciplina en disciplina, sino trabajando en una teoría de la irregularidad. Yo no era un tipo con un martillo enorme a quien todos los problemas le parecían clavos. Su comentario, ¿pretendía halagarme o sólo animarme? Pronto lo supe: estaba apoyando mi candidatura para un importante premio.

¿Es compatible la salud mental con estar poseído por una inquietud apenas contenida? En la *Divina Comedia* de Dante, los muertos condenados a una búsqueda eterna son empujados a las profundidades del Infierno. Pero en mi caso, una eterna búsqueda a través de incontables campos científicos sin conexión obvia entre sí consiguió proporcionarme una vida feliz. Un canto rodado quizá, pero no insensible. Hiperactivo y siempre motivado, me encantaba rodar, detenerme a escuchar y a predicar en toda suerte de monasterios seculares, algunos espléndidos e imponentes, otros desolados y apartados.

* * *

A la edad de 20 años, fui uno de los veinte alumnos que consiguieron ser admitidos en la más exclusiva de las universidades francesas, la École Normale Supérieure. Cuando me retiré, a los ochenta, ocupaba la Cátedra Sterling en el departamento de matemáticas de Yale, uno entre los cerca de veinte puestos más altos de esa universidad. Entré y salí de la «vida activa» en las condiciones más exclusivas e indisputables posibles. Y, entre medias, sí que cogí algo de «musgo».

Mi vida después de los treinta y cinco años —punto de inflexión— ha sido muy atípica en sentidos distintos pero fructíferos. Me recuerda aquel cuento de hadas en el que el héroe ve un hilo pequeño en un lugar inesperado, y tira de él, cada vez más fuerte, y logra desenredar gran cantidad de maravillas increíbles... y totalmente insospechadas. Examinadas una a una, mis maravillas «pertenecían» a campos del conocimiento muy distantes. Cabría abordar cada una de ellas por separado, con grandes resultados, como hice yo al principio de mi carrera. Pero más tarde adopté un punto de vista más general, por lo cual fui bien recompensado. Todas aquellas aportaciones a campos distintos resultaron más sencillas de estudiar cuando las reconocí como «perlas de un collar», perlas de todos los tamaños en un collar muy largo.

La distancia entre esos campos, ¿se hace excesiva? ¿Desperdigó mis esfuerzos un contraproducente exceso de actividad? Posiblemente. Un autocontrol tenso y deliberado me mantuvo concentrado en aquellas formas irregulares que carecían de nombre común pero lo pedían con insistencia. El acercar esos campos distantes me brindó, poco a poco, la ines-

perada, rara y peligrosa ocasión de abrir un campo nuevo y adquirir el derecho a bautizarlo. Lo llamé geometría fractal.

Cada una de las facetas clave de la geometría fractal padece un dilema que los físicos de principios del siglo xx calificaban de «catástrofe». Las teorías de la época predecían un valor infinitamente grande de la energía emitida por ciertos objetos. En realidad, no era ése el caso, como se demostró con el tiempo. La resolución de aquel dilema correspondió a la mecánica cuántica, una de las principales revoluciones de la física del siglo xx y pilar de buena parte de la tecnología moderna, incluidos el ordenador, el láser y el satélite.

Lo que unificó todas mis «perlas» fue el extremo opuesto del mismo dilema. Muchas de las disciplinas científicas a las que me dedicaba giraban en torno a cantidades que, se suponía, tenían valores finitos bien definidos, como la longitud de una costa. Sin embargo, esos valores finitos se resistían a ser determinados. Al medir la longitud de una costa con varas de medir más cortas se detectan características más pequeñas, lo cual lleva a mediciones más largas. Lo que me permitió estudiar esas disciplinas fue la corazonada de que había que dejar que esas cantidades clave fuesen infinitas.

* * *

¿Cómo fue todo esto posible? Tanto mi tío Szolem como yo nacimos en Varsovia. Ambos teníamos buen ojo y nos convertimos en matemáticos de renombre. Pero los tiempos demasiado interesantes que desbarataron su adolescencia, y después la mía, hicieron de nosotros personas totalmente distintas. Él encontró satisfacción como integrante esmerado del *establishment*, mientras que yo salí adelante como un inconformista difícil de encasillar.

En su adolescencia, durante la primera guerra mundial, mi tío Szolem vagó por una Rusia sumida en la Revolución y la guerra civil. Le presentaron pronto un tema bien definido y no visual: el análisis matemático clásico, al estilo francés. Szolem se enamoró con pasión de aquel tema para el resto de su vida y se acercó a sus fuentes. Poco después le pasaron su antorcha y él la mantuvo encendida, tanto en los buenos tiempos como en los malos.

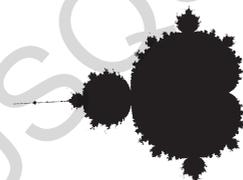
En mi adolescencia, durante la segunda guerra mundial, yo encontré cobijo en las aisladas y empobrecidas tierras altas del centro de Francia. Allí me encontré un mundo de imágenes en anticuados libros de matemáticas repletos de ilustraciones. Tras la guerra, al ser aceptado en la *École Normale Supérieure*, me di cuenta de que las matemáticas desligadas de

los misterios del mundo real no eran para mí, así que opté por un camino distinto.

* * *

Medio siglo antes de que yo naciese, Georg Cantor (1845-1918) defendía que «la esencia de las matemáticas reside en su libertad». Sus colegas inventaron —o eso creyeron— una serie de formas llamadas «monstruos», o «patologías», y su estudio condujo a las matemáticas hacia una huida deliberada de la naturaleza. Con la ayuda de los ordenadores, yo dibujé aquellas formas e invertí diametralmente su propósito original. Después inventé muchas más, y descubrí que algunas de ellas podían ayudar a enfrentarse a multitud de problemas, muchos de ellos antiguos, «preguntas en un tiempo reservadas a los poetas y a los niños».

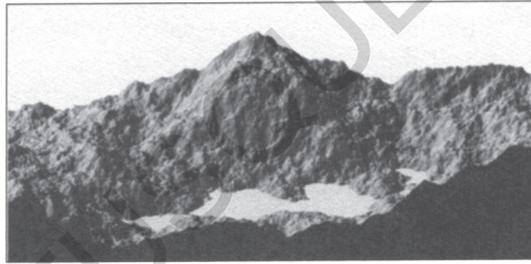
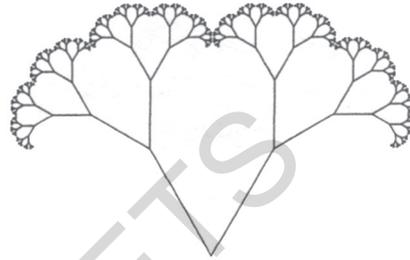
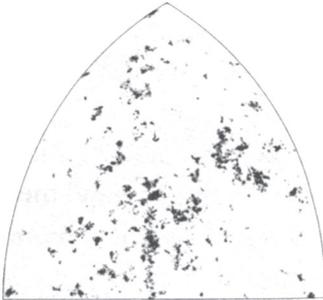
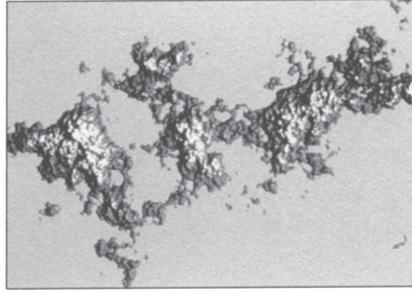
Dentro de las matemáticas más puras, mi desenfadado juego con «patologías» abandonadas me condujo a varios hallazgos inusitados. Una forma exquisitamente compleja, conocida ahora como conjunto de Mandelbrot, ha sido descrita como el objeto más complejo de las matemáticas. He sido pionero en el examen de multitud de imágenes, de las cuales extraje muchas conjeturas abstractas que demostraron ser extremadamente difíciles, provocaron arduo trabajo y dieron buenos réditos.



Dentro de las ciencias naturales, inauguré el estudio de numerosísimas formas familiares, entre ellas las montañas, las costas, las nubes, los remolinos de las turbulencias, los cúmulos de galaxias, los árboles y el clima.

Dentro del estudio de las obras del hombre, comencé por una rareza: una ley para la frecuencia de las palabras. Mi mayor logro fue un asunto extremadamente práctico: el «mal comportamiento» observado en la variación de los mercados especulativos. Y añadí mi grano de arena al estudio del arte visual.

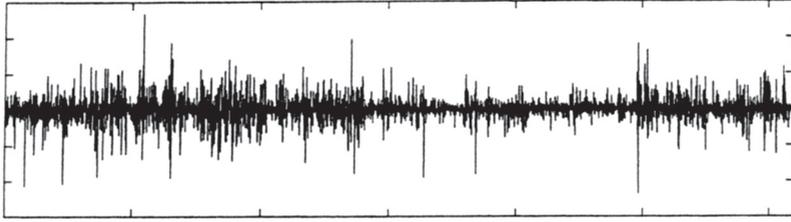
Entonces, ¿a qué me dedico *de verdad*? Siempre evito responder que a todo, lo cual se transforma con demasiada facilidad en a nada. En vez de ello, cuando me apuran, me califico a mí mismo de fractalista. Un problema con que me he topado a menudo (y al que nunca supe bien



cómo enfrentarme) es el de hacer justicia a las partes y al todo. En estas memorias, me esfuerzo mucho en lograrlo.

En general, la anticuada irregularidad pura en la ciencia y el arte ya no es territorio de nadie. Yo la he provisto de una teoría y he mostrado que ahora un sorprendente número de cuestiones distintas pueden ser abordadas con poderosas herramientas nuevas. Tales cuestiones desafían la visión convencional de la naturaleza en la geometría clásica, que considera informes las formas irregulares. Parece que, respondiendo a la antigua invitación de Platón, he ampliado la esfera de la ciencia racional a otra sensación básica del ser humano, una que durante largo tiempo había permanecido irreductible.

La estabilidad básica, en una vida con muchas más interrupciones de las que yo habría querido, fue posible gracias a los treinta y cinco años



que pasé en el departamento de investigación de IBM, y después, a los muchos años de Yale, y he vivido lo bastante para ver que mi obra se valoraba mucho más espléndidamente de lo que nunca imaginé.

Puede que escribir estas memorias antes hubiese facilitado algo mi vida profesional. Pero el retraso ha sido fructífero. Ha borrado los detalles menos importantes y ha vuelto más nítido el curso de mi vida, incluso para mí.

TUSQUETS