

Colección
Lienzos y Matrices

#NODOS

Gustavo Ariel Schwartz

Víctor E. Bermúdez

Editores

Programa Mestizajes
Donostia International Physics Center

NEXT —
DOOR...
PUBLISHERS

© De los textos firmados: sus autores.
© Del resto de la obra: los editores

© De esta edición: Next Door Publishers
Primera edición: octubre 2017

ISBN: 978-84-946669-7-1
DEPÓSITO LEGAL: DL NA 2013-2017

Reservados todos los derechos. No está permitida la reproducción total o parcial de este libro, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea mecánico, electrónico, por fotocopia, por registro u otros medios, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del *copyright*.

Next Door Publishers S.L.
c/ Emilio Arrieta, 5, entlo. dcha., 31002 Pamplona
Tel: 948 206 200
E-mail: info@nextdooreditores.com
www.nextdoorpublishers.com

Donostia International Physics Center

Impreso por Ediciones Gráficas Rey
Impreso en España

Diseño y maquetación: Ex. Estudi
Dirección de la colección: Oihana Iturbide
Coordinación editorial: Laura Morrón
Editores: Gustavo Ariel Schwartz y Víctor E. Bermúdez
Corrección: NEMO Edición y Comunicación

#NODOS

Gustavo Ariel Schwartz

Víctor E. Bermúdez

Editores

Editores

Gustavo Ariel Schwartz

Centro de Física de Materiales (CSIC – UPV/EHU)
Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Donostia International Physics Center

Víctor E. Bermúdez

Facultad de Filología
Universidad de Salamanca
Donostia International Physics Center

Mestizajes



Prefacio

Este no es un libro sobre ciencia, ni sobre arte, literatura o humanidades; o quizás sea todo eso a la vez. Se trata de un libro inclasificable que se resiste a las categorizaciones porque la realidad y el pensamiento no admiten compartimentos estancos. Este libro propone una aventura intelectual: la exploración de las fronteras entre los diferentes ámbitos del conocimiento. Propone una colaboración intensa entre disciplinas, una manera distinta de indagar en la realidad que nos permita abordar de manera apropiada problemas complejos como la memoria, el origen de la vida o la conciencia.

La realidad es más compleja y está más interconectada de lo que podríamos habernos imaginado. Hoy resulta imposible una comprensión cabal del lenguaje sin recurrir a las redes complejas, o estudiar la emoción sin tener en cuenta la memoria o entender el conocimiento científico sin acudir a la metáfora. El conocimiento transdisciplinar no es una curiosidad ni una moda, sino una necesidad: la de contar con herramientas apropiadas para afrontar las cuestiones fundamentales que atañen a la condición humana.

Desde la materia más elemental hasta la conciencia, pasando por la sorprendente complejidad de los seres vivos, las grandes preguntas a las que siempre nos hemos enfrentado: ¿cómo surge la vida?, ¿qué es la conciencia? o ¿cómo puede el caos suscitar orden? requieren un enfoque que permita idear nuevas formas de abordarlas. Buscamos por lo tanto alentar un intercambio de ideas que acerque las posturas de las diferentes disciplinas, encontrar puntos de afinidad y establecer estrategias que permitan aproximaciones conjuntas a problemáticas cuya complejidad invita a reestructurar su estudio de un modo inter o transdisciplinar.

#Nodos ofrece un recorrido dinámico por noventa planteamientos híbridos que atraviesan diez núcleos temáticos en pleno desarrollo. Temas como redes complejas, metáfora, cosmos, caos y complejidad, emergencia, percepción, memoria, emoción, conciencia y *big data* abarcan una región significativa del saber y representan

problemas suficientemente complejos como para alentar un abordaje transdisciplinar. Para ello hemos reunido las colaboraciones de científicos, escritores, artistas y humanistas de diversas disciplinas y países con el propósito de estimular nuevas preguntas desde todas las orillas del conocimiento.

Algunas veces las disciplinas se contagian, otras en cambio se repelen, pero el contacto entre ellas es necesario cuando no imprescindible. En muchos casos, los colaboradores de este libro adoptan etiquetas apenas transitorias. Sus ideas o sus creaciones no encuentran recipientes lo suficientemente elásticos. Hay químicos poetas, artistas en laboratorios, físicos devenidos en lingüistas y neurocientíficos haciendo filosofía. No caben en las categorías. Ello ha supuesto, en primer lugar, el desafío de lograr una comunicación fluida que organice esta heterogeneidad; pero abrir caminos nuevos implica también modificar y expandir las prácticas que se llevan a cabo en cada ámbito. Articular concepciones dispares, cuando no antagónicas, de lo que un problema es y de cómo debe resolverse ha exigido armonizar diversas actitudes ante el conocimiento. Poner en sintonía las diferentes perspectivas ha requerido, además, aprender a escuchar a quienes conciben el mundo de modo distinto y dar importancia a todo tipo de énfasis, matices y sensibilidades que acercan o distancian las miradas científicas, artísticas, humanistas o literarias.

Del contacto entre disciplinas se derivan contagios, resistencias, paralelismos y reformulaciones que nutren todos los ámbitos del saber. Creemos que hay una riqueza en la articulación misma, en la combinación, cuando el conocimiento surge como una suma de recursos de las distintas disciplinas que interactúan en torno a un objeto de estudio. Sin embargo, para que esta riqueza sea fructífera es imprescindible comprender la naturaleza de las relaciones que atraviesan los ámbitos del saber y acrecentar su potencial transdisciplinar. Poner en sintonía ideas, inquietudes y métodos distintos en torno a problemas compartidos demanda proponer soluciones a desafíos de naturaleza muy diversa. Pero el resultado no puede ser solo la suma de las partes: el contacto fructífero debe conllevar un giro de algún modo imprevisto, algo imposible sin su acercamiento. Ese es el sentido de la relación.

A su manera, este libro es muchos libros. A gusto de intuiciones, los siguientes nodos pueden ser leídos de manera lineal o alternada, o uno a uno, atravesando o saltando entre sus enlaces explícitos o no. Pueden ser abandonados cuando el lector quiera, retomados, descartados, arrojados, descompuestos; pueden volverse a unir, a desarmarse. Existe un recorrido para cada lector que a su vez cambia con cada lectura. Cada nodo aspira a estimular un intercambio dinámico y fecundo entre arte, ciencia, literatura y humanidades en un flujo recíproco que potencie el conocimiento e impulse un crecimiento humano e intelectual.

Gustavo Ariel Schwartz | Víctor E. Bermúdez
San Sebastián, junio de 2017

Agradecimientos

#Nodos ha sido escrito en el marco del Programa Mestizajes, un espacio alternativo para el encuentro entre artistas, escritores y científicos destinado a propiciar nuevas interacciones entre ciencia, literatura y humanidades. Este libro es el resultado de una colaboración entre un científico y un humanista, pero es, sobre todo, una obra colectiva y global con una clara vocación transdisciplinar y un espíritu de integración más allá de las fronteras geográficas o disciplinares. Este libro no habría sido posible sin la generosa y desinteresada colaboración de todas las personas que han contribuido a él no solo aportando sus textos sino también proporcionando una mirada propia a cada uno de los temas propuestos. La singularidad y el valor de este libro es resultado de la heterogeneidad y la excelencia de sus colaboradores.

Agradecemos a todas las personas e instituciones que han hecho posible este proyecto: al Donostia International Physics Center por el soporte económico e institucional. A Ricardo Díez Muiño y Pedro Miguel Echenique por el apoyo permanente e incondicional al Programa Mestizajes. Al Centro de Física de Materiales de San Sebastián y al Consejo Superior de Investigaciones Científicas. A José Manuel Sánchez Ron por prologar generosamente este libro. Y a tantos otros que de una u otra forma han colaborado con *#Nodos*. A todos, muchísimas gracias.

Índice

Prólogo 19

#Redes complejas

Enredando ciencias y humanidades 25

La sublime sencillez de las redes complejas
Gustavo Ariel Schwartz 27

Tejiendo mundos
Josep Perelló 32

Palabras como sistemas dinámicos
Marta Macho Stadler 35

Redes complejas: una oportunidad para reflexionar sobre los misterios del lenguaje
Bernat Corominas-Murtra 38

Evolución, redes complejas y detectores de belleza
Albert Flexas Oliver 42

Cultura y complejidad
Juan Luis Suárez 46

Mapeo de redes: ciencia y altruismo
Kevin W. Boyack y Richard Klavans 51

Macroscopios para explorar y navegar entre la ciencia y la tecnología
Lisel Record y Katy Börner 56

Colofón 61

Referencias 62

#Metáfora

El nodo es la guarida de lo insólito 67

Necesidad de la metáfora
Amelia Gamoneda 69

Atravesar la merma: condición de red-emergente de la metáfora
Iván Méndez González 73

Metáfora y neuroimagen: cómo arte y neurociencia se nutren mutuamente
Clara Martin 78

Realismo complejo (o la línea Año Cero de las cosas)
Agustín Fernández Mallo 82

Una aproximación a la metáfora desde la teoría de conjuntos
Javier Moreno 86

Peligros y riquezas de la metáfora científica en literatura
Vicente Luis Mora 91

Las curiosas metáforas científicas
Dudley Herschbach 95

Otros tipos de conocimiento
Melissa Pierce Murray 100

Colofón 106

Referencias 107

#Cosmos

De las partículas elementales a la inmensidad cósmica 113

Magia en cada rincón
Alberto Gúijosa 115

Niveles de realidad y vacío cuántico
Basarab Nicolescu 119

Noches estrelladas	
<i>Juan José Gómez Cadenas</i>	124
<hr/>	
Ondas, partículas y todo lo contrario	
<i>Jaume Navarro</i>	128
<hr/>	
Sincretismo en el <i>Cántico cósmico</i> de Ernesto Cardenal	
<i>Catalina García García-Herreros</i>	131
<hr/>	
Corona del sol	
<i>Jairo Rojas Rojas</i>	135
<hr/>	
Más allá de cierta densidad	
<i>Gilles Cyr</i>	141
<hr/>	
Jugando con ecuaciones	
<i>Luca Pozzi</i>	145
<hr/>	
Re(con)figurando el CERN	
<i>Ariane Koek</i>	149
<hr/>	
La investigación de satélites perdidos: narrativas de la «cultura oscura»	
<i>Poe Johnson y Roger F. Malina</i>	154
<hr/>	
Colofón	159
<hr/>	
Referencias	160
<hr/>	
<hr/>	
#Caos y complejidad	
<hr/>	
Cuando lo excepcional deviene en norma	
	165
<hr/>	
Simplemente caos y complejidad	
<i>Diego A. Wisniacki</i>	167
<hr/>	
¿Existe una teoría de la complejidad?	
<i>Jorge Wagensberg</i>	171
<hr/>	
Narrar el tiempo	
<i>Bruno Arpaia</i>	175
<hr/>	

Narrativas de la complejidad	
<i>Luis Felipe G. Lomelí</i>	178
<hr/>	
Apropiación literaria de la teoría del caos	
<i>Belén Gache</i>	183
<hr/>	
Complejidad y creatividad en la narrativa de Marcelo Cohen	
<i>Joanna Page</i>	188
<hr/>	
De Boreales: firmas del tiempo	
<i>Amy Catanzano</i>	192
<hr/>	
Expresionismo fractal	
<i>Gustavo Ariel Schwartz</i>	197
<hr/>	
Colofón	201
<hr/>	
Referencias	202

#Emergencia

De las moléculas a la creatividad	207
<hr/>	
Emergencia	
<i>Markus I. Eronen</i>	209
<hr/>	
Entre las moléculas y la vida: dos metáforas para indagar sobre la emergencia de la organización biológica	
<i>Kepa Ruiz-Mirazo</i>	213
<hr/>	
Proteínas, priones y recuerdos	
<i>Silvina Cerveny</i>	219
<hr/>	
El altruismo: ¿epifenómeno o propiedad emergente?	
<i>Juan Ignacio Pérez Iglesias</i>	223
<hr/>	
Lo adyacente posible: restringir para posibilitar	
<i>Stuart Kauffman</i>	227
<hr/>	

Sobre la creatividad lingüística
Jordi Fortuny Andreu 232

Emergencia temática. Para una microteoría del relato hiperbreve
Luisa Etxenike 236

Una exploración del bioarte y la biología sintética
Anna Dumitriu 239

Crear las condiciones. El potencial artístico de un organismo unicelular
Heather Barnett 242

Albert vs. Máquina
Albert Barqué-Duran 248

El mejor ejemplo de una transdisciplinariedad práctica: la Cortona Week
Pier Luigi Luisi 254

Colofón 259

Referencias 260

#Percepción

La indisciplina de la percepción 265

Literatura y ciencia del percepto
Víctor E. Bermúdez 267

De los fotones a la cognición: percepción, memoria y arte en el cerebro
Alejandro Galvez-Pol 272

Imágenes de interioridad: luz y poesía
Débora Ochoa 277

La belleza de lo inesperado: ¿por qué nuestras predicciones modelan nuestra percepción?
Nicola Molinaro 281

La percepción del lenguaje y la eficiencia computacional
Itziar Laka 285

Y recuerdo una sensación de tirantez en la piel
James Wilkes 289

Neuroestética
Anjan Chatterjee 292

Cinco poemas
Rafael-José Díaz 295

Colofón 301

Referencias 302

#Memoria

(Astuta) historia de las ideas de la memoria 307

La disciplina del olvido: ligero tránsito por la ciencia de la memoria literaria
Víctor E. Bermúdez 309

Adamantino
Roald Hoffmann 315

Viaje mental en el tiempo
Helena Matute 317

Recordaré esta mano
Siri Hustvedt 320

Hueco que deja tu mano en la piel
Iván Méndez González 324

El señor Funes
Eduardo Berti 329

Funes vs. Aniston: neurociencia y literatura
Rodrigo Quian Quiroga 331

Memoria asociativa, arte figurativo y conceptos abstractos

Eiling Yee y Gerry T. M. Altmann 334

De la huella a la imagen residual: explorando el tema de la memoria en la instalación escultórica

Ewa Wesolowska 340

Colofón 344

Referencias 345

#Emoción

Los trucos del espasmo 349

Trans-disciplinas de la emoción literaria

Víctor E. Bermúdez 351

Repetir el litoral

Hugo Milhanas Machado 356

El sentimiento de escribir (perspectiva biocultural)

Jean-Simon DesRochers 358

La educación sentimental (del lector)

Jose Valenzuela 361

Vértigo caliente, vértigo frío

Menchu Gutiérrez 366

Reparar el aún, verbalizar el sentir

Candela Salgado Ivanich 370

El misterioso soporte de las impresiones

Chantal Maillard 375

Alumbramiento

María Sánchez 382

Emoción/emocionalismo desde la semiótica y las ciencias sociales

Manuel González de Ávila 385

Colofón 389

Referencias 390

#Conciencia

Yo, myself and I 395

(Auto)conciencias paralelas

Miguel Amores Fúster 397

Autoconsciencia y evolución

Xurxo Mariño 403

Lo que el ojo de la rana le dice al cerebro del filósofo

Germán Sierra 407

El cuerpo ilusorio: ficciones a tiempo real

Carlos López de Silanes de Miguel 412

Las dimensiones metafóricas de la conciencia

Marc-Williams Debono 416

Experiencia estética/estados de conciencia psicodélicos

Pierre-Louis Patoine 420

El estudio cognitivo de la literatura y sus aportaciones al estudio de la conciencia

Isabel Jaén Portillo 423

El cerebro de mi padre

Jorge Volpi 427

That's the question: la conciencia según Erwin Schrödinger

Clara Janés 431

**Breves apuntes sobre la relación
entre la consciencia del objeto creado
y la de su creador**
Joséagustín Hayadelatorre 436

**Salvando las distancias
entre el arte y la ciencia**
Julia Buntaine 440

Colofón 444

Referencias 445

#Big data

Más es diferente 449

**El saber frente al diluvio: investigación
basada en ciencia de datos y discurso
académico en el siglo XXI**
Mark Daley 451

Los estudios literarios a lo grande
Mario Aquilina 456

**Complementariedad de los *big data*
y los estudios literarios**
Borja Navarro Colorado 460

#Espacios de indeterminación
Kristin Veel 465

Los *big data* y lo incognoscible
Javier Argüello 469

**Ciencia de datos
en el Instituto Alan Turing**
Andrew Blake 472

Los datos como material artístico
Julie Freeman 475

Arte y *big data*
Juan Luis Suárez 480

Colofón 485

Referencias 486

Autores 487

Hubo un tiempo, ya lejano, en el que se pensaba que la ciencia podía explicar la naturaleza, el universo, tanto en su grandiosa inmensidad como en sus más minúsculos recovecos, mediante leyes en cierto sentido sencillas —no importaba que encontrarlas y desarrollar todas sus potencialidades fuese difícil, muy difícil a veces; recordemos, sin ir más lejos, los problemas a los que se enfrentaban los físicos matemáticos que pugnaban por construir una mecánica celeste satisfactoria—. El sueño de «una inteligencia que en un momento determinado conociera todas las fuerzas que animan a la naturaleza, así como la situación respectiva de los seres que la componen, si además fuera lo suficientemente amplia como para someter a análisis tales datos, podría abarcar en una sola fórmula los movimientos de los cuerpos más grandes del universo y los del átomo más ligero; nada le resultaría incierto y tanto el futuro como el pasado estarían presentes ante sus ojos» que Pierre-Simon Laplace plasmó en su inolvidable *Essai philosophique sur les probabilités* (1814), resultó ser eso, un sueño, esplendoroso pero fugaz. La ciencia newtoniana, al igual que la maxwelliana —lineales ambas en un sentido matemático—, los pilares sobre los que se asentó hasta no hace mucho nuestra visión científica del mundo, no fueron suficientes para sostener el sueño laplaciano. La no linealidad, plasmada en dominios como el caos —que atisbó el gran Poincaré, pero que no supo sistematizar—, la, en definitiva, *complejidad* se ha adueñado del sempiterno proyecto de comprender el mundo, a la manera —la única posible de verdad— de la ciencia. Solo sistemas no lineales son capaces de explicar la aparición de nuevas propiedades; esto es, las emergencias que vemos constantemente alrededor nuestro, y en nosotros mismos —somos seres no lineales-complejos—. Y la complejidad nos ha llevado, casi de la mano, haciéndonos ver que no existía otra forma de que la empresa científica avanzase, al mundo del que se ocupa este extraordinario —por su ambición, originalidad y ubicuidad— libro, un mundo de redes complejas. Como se señala en las primeras páginas del mismo: «En las últimas décadas el mundo se ha enredado».

La cuestión es: ¿Es esto sorprendente? Dar respuestas a preguntas que ya han sido contestadas no tiene, evidentemente, ningún mérito. Y en este sentido, ahora que vemos cuán interconectado está todo, los fenómenos naturales entre sí, y nosotros, los humanos y las sociedades que hemos construido, con la naturaleza, es no fácil sino obligado hacer filosofía de la complejidad del mundo. Pero, en realidad, lo que habría sido sorprendente es que bastase con las divisiones —ciencias— que habíamos establecido, y que, justo es reconocerlo, tan buen resultado dieron; que fuera suficiente con mantenerse en el esquema de «esto lo explica eso que llamamos física, aquello la química, lo otro la biología, etcétera», y que una cosa son las ciencias sociales, o las humanidades, o el arte —pintura, música—, y otra las ciencias de la naturaleza. La naturaleza, con nosotros y la vida que ha surgido en este planeta, es una, no conoce de divisiones, solo de relaciones entre sí, de puntos de encuentro, de nodos, los *nodos*, las redes complejas de las que se ocupa este libro.

No sé qué admirar más de las páginas que siguen. Ya solo los apartados en los que está dividido el libro —«Redes complejas», «Metáfora», «Cosmos», «Caos y complejidad», «Emergencia», «Percepción», «Memoria», «Emoción», «Conciencia» y «*Big data*»— constituyen algo así como el árbol genealógico de lo que podría ser una Visión del Mundo —con mayúsculas—. Una obra en la que la temática científica y la originalidad de sus planteamientos se hermanan con la buena literatura, esa que te captura por su estilo y te sorprende por sus contenidos.

José Manuel Sánchez Ron
Madrid, 10 de julio de 2017

REDES
COMI

PLEJA^s

#Redes complejas

Enredando ciencias y humanidades	25
La sublime sencillez de las redes complejas , <i>Gustavo Ariel Schwartz</i>	27
Tejiendo mundos , <i>Josep Perelló</i>	32
Palabras como sistemas dinámicos , <i>Marta Macho Stadler</i>	35
Redes complejas: una oportunidad para reflexionar sobre los misterios del lenguaje , <i>Bernat Corominas-Murtra</i>	38
Evolución, redes complejas y detectores de belleza , <i>Albert Flexas Oliver</i>	42
Cultura y complejidad , <i>Juan Luis Suárez</i>	46
Mapeo de redes: ciencia y altruismo , <i>Kevin W. Boyack y Richard Klavans</i>	51
Macroscopios para explorar y navegar entre la ciencia y la tecnología , <i>Lisel Record y Katy Börner</i>	56
Colofón	61
Referencias	62

Enredando ciencias y humanidades

El estudio de las redes no es algo nuevo. Existe un extenso recorrido que va desde la sociología hasta las redes complejas y cuyos orígenes se remontan hasta principios del siglo XVIII, cuando Leonhard Euler funda la teoría de grafos al resolver de manera formal el llamado «problema de los siete puentes de Königsberg». Euler inaugura así una nueva rama de las matemáticas que se convertiría en la base formal del estudio de redes. Casi dos siglos después, el psicólogo austriaco Jacob Levy Moreno desarrolla los sociogramas para representar gráficamente las relaciones entre individuos en un grupo social dado (Moreno, 1934). Desde principios del siglo XX, algunos sociólogos han utilizado el término «redes sociales» y han insistido en la importancia de estudiar la estructura y los patrones de las redes de relaciones entre personas. En la década de 1970 el sociólogo Wayne Zachary analizó durante tres años los vínculos de amistad de 34 miembros de un club de kárate representando la información en un diagrama de red que le permitió predecir el comportamiento del grupo (Zachary, 1977).

¿Por qué entonces el estudio de las redes complejas cobra tanta relevancia recién a principios del siglo XXI? ¿Por qué la ciencia de redes no surgió con fuerza a partir de los trabajos de Euler? Existen dos razones fundamentales que han demorado el surgimiento del análisis de las redes complejas: por un lado, la dificultad para acceder a los datos —o la incapacidad para recolectarlos y compartirlos— y, por otro, la ausencia de herramientas matemáticas e informáticas avanzadas que permitan visualizar y analizar redes suficientemente grandes y/o complejas (Newman, 2015). El desarrollo de Internet ha logrado, de manera directa o indirecta, resolver ambos problemas; pero más importante aún es el hecho de que la familiaridad con la que nos movemos en Internet ha permitido que el concepto de red se incorpore de manera natural en nuestro imaginario. Desde entonces hemos comenzado a mirar el mundo como un conjunto de redes: sociales, comerciales, de transporte, profesionales, financieras, etc. Esta nueva «conectividad global» ha sacado a la luz

problemas que no podríamos habernos planteado hace dos, cinco o quince siglos simplemente porque no formaban parte del imaginario.

El uso de las redes complejas para abordar determinados problemas no representa solo una mejora cuantitativa de nuestros métodos de análisis, sino fundamentalmente un salto cualitativo en la manera de pensar el mundo. La realidad es algo mucho más imbricado de lo que podríamos habernos imaginado. Descubrimos vínculos sutiles entre ideas, conceptos o eventos que no creíamos relacionados; ya no existen hechos o acontecimientos aislados. Pero quizás el aspecto más importante del análisis de redes sea el hecho de que más allá de las diferencias evidentes entre distintos sistemas —propagación de epidemias, Internet o una red de obras literarias—, las redes poseen propiedades universales que dependen solo de la manera en la que están estructuradas. El comportamiento complejo de las redes está más relacionado con la naturaleza de las interacciones entre los elementos que con la naturaleza de los elementos en sí (Solé, 2010). De modo que las redes complejas permiten abordar una gran variedad de fenómenos que van desde las humanidades hasta las ciencias naturales pasando por el arte y la literatura. Surge de este modo una herramienta matemática transversal que ofrece un lenguaje común a través del cual puede establecerse un diálogo fluido entre diferentes disciplinas.

Las redes complejas ofrecen un aporte doble a la convergencia de las ciencias y las humanidades. Por un lado, proporcionan una herramienta matemática con la que abordar determinados problemas en otras disciplinas —interdisciplinariedad—. Por ejemplo, el estudio del lenguaje, la cultura o la belleza mediante el análisis de redes complejas. Por otro lado, las redes complejas aportan un marco mucho más amplio y transdisciplinar que permite revelar las sutiles relaciones entre los diferentes ámbitos del conocimiento mostrando espacios de convergencia.

Por primera vez podemos integrar en un marco teórico común fenómenos de las ciencias, las artes, la literatura y las humanidades. Mediante el análisis de redes complejas es posible cuantificar problemas que hasta hace poco tiempo eran inabordables desde el punto de vista científico. Sin embargo, no debemos perder de vista el hecho de que las redes complejas, como cualquier otra modelización, solamente captan una parte de la realidad. Y la realidad no debería reducirse a lo que solo puede expresarse de manera matemática. Las redes complejas constituyen por lo tanto una herramienta útil para estudiar tan solo algunos aspectos de la realidad. El objetivo no consiste en matematizar los problemas de las humanidades, sino en aportar herramientas que permitan detectar conexiones y propiedades que no necesariamente van a ser explicadas desde la matemática o la física. En definitiva, el propósito último es poner de manifiesto en diversos ámbitos del conocimiento fenómenos que hasta ahora no eran evidentes; parafraseando a Paul Klee, «las redes complejas no reproducen lo visible; vuelven visible». ○

La sublime sencillez de las redes complejas

Gustavo Ariel Schwartz

En las últimas décadas el mundo se ha enredado. Vemos redes por todas partes: desde redes sociales a redes terroristas, desde redes de telefonía móvil a redes neuronales; redes de transporte, redes que regulan el metabolismo, redes de colaboraciones científicas, de escritores, de obras artísticas, de palabras. El estudio de las redes complejas permea los más diversos ámbitos de las ciencias y de las humanidades y permite abordar de manera cuantitativa el estudio de fenómenos hasta hace poco tiempo impensables. Muchos sistemas, tanto artificiales —Internet, la red eléctrica, el tráfico aéreo— como naturales —complejos de proteínas, ecosistemas, sociedades—, tienen en común el hecho de que pueden ser pensados en términos de redes: es decir como un conjunto de *nodos* —puntos, objetos, conceptos— unidos entre sí por *enlaces* —líneas, relaciones, vínculos—. La manera en que los diversos nodos se relacionan entre sí determina la estructura de la red y esta estructura afecta tanto a la dinámica como a las propiedades generales del sistema.

Las redes complejas se caracterizan, entre otras cosas, porque la distancia topológica —medida en términos de enlaces— entre dos nodos cualesquiera de la red es relativamente pequeña. Esta propiedad se conoce popularmente con el nombre de «mundos pequeños» (*small worlds*). En los años sesenta del siglo pasado, el psicólogo Stanley Milgram (1967), de la Universidad de Harvard, llevó a cabo un experimento en el que mostraba que dos personas cualesquiera de Estados Unidos estaban conectadas entre sí a través de tan solo otras cinco personas —en promedio—. Es lo que se conoce como el fenómeno de los «seis grados de separación» en redes sociales. A finales de los años noventa, los investigadores Duncan Watts y Steven Strogatz (1998) formalizaron el problema y desarrollaron una serie de modelos y herramientas matemáticas para abordar el estudio cuantitativo de las redes complejas. Al año siguiente, los físicos László Barabási y Réka Albert (1999) introducen el concepto de redes «libre de escala» en el que sería luego uno de los artículos seminales en el estudio de las redes complejas. Curiosamente, el expe-

rimento propuesto por Milgram había sido planteado treinta años antes por el escritor húngaro Frigyes Karinthy, en un cuento titulado *Chains*. Así, la teoría de redes complejas se ha nutrido en sus orígenes de ideas literarias y de terminología y herramientas matemáticas y estadísticas provenientes de los ámbitos de la psicología y la sociología.

Las redes complejas pueden ser físicas o virtuales, y ambos tipos se pueden representar de manera abstracta mediante grafos. En el primer caso nos referimos, por ejemplo, a la red de conexiones entre neuronas en el cerebro; mientras que un tipo de red virtual podría ser un ecosistema en el que los nodos representan las diferentes especies y los vínculos las relaciones presa-depredador entre ellas. El valor del análisis de redes complejas radica en que las propiedades del sistema y las herramientas matemáticas que permiten determinar los diferentes parámetros no dependen de que la red sea física o virtual, sino solo de su estructura. Además, para un mismo sistema se puede dar el caso de que los nodos o los enlaces representen elementos diferentes. Si queremos analizar el sistema de publicaciones científicas, los nodos podrían ser tanto los temas de investigación como las revistas o los artículos. En este último caso, la relación entre artículos científicos puede venir dada por las citas, los autores o las palabras clave. La elección de los elementos para los nodos y del tipo de relación entre estos depende del tipo de pregunta que busquemos responder.

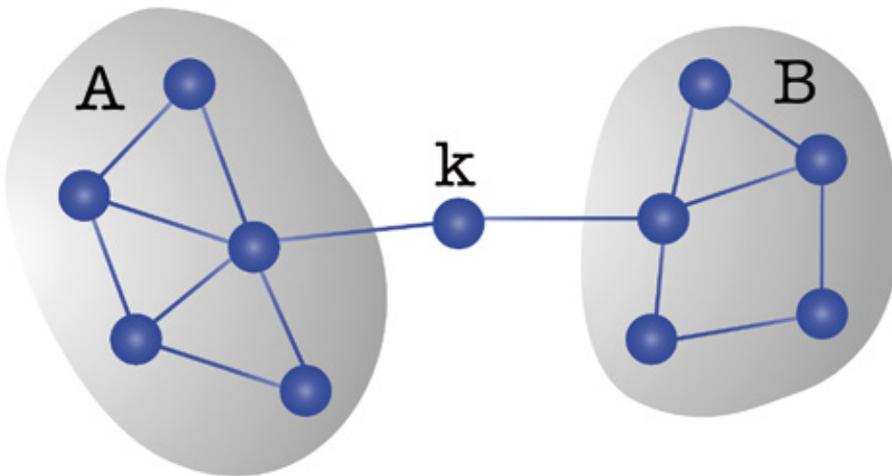


Figura 1. Pequeña red compuesta por once nodos conectados entre sí. Se aprecian claramente dos clústeres (A y B) y un nodo que los interconecta (k).

Independientemente de que estemos trabajando con una red física o virtual, y de qué elementos representen los nodos y sus vínculos, existe una serie de parámetros y propiedades «universales» que son comunes a todas las redes y que dependen no tanto de los nodos sino de cómo se hallan interconectados. Tras definir los nodos y sus relaciones, el siguiente paso para analizar la estructura de una red consiste en representarla gráficamente. Si la red es pequeña, es posible hacerlo manualmente tal como muestra la **figura 1**. Si la red es demasiado extensa y contiene miles o millones de nodos interconectados, entonces serán necesarios programas de visualización de datos para poder representarla. En el primer caso es relativamente sencillo analizar la red y el cerebro humano es muy hábil para encontrar patrones en este tipo de esquemas. Sin embargo, esto es imposible para redes demasiado grandes y/o complejas. Necesitamos en este caso la ayuda de herramientas matemáticas e informáticas que nos permitan determinar ciertas características estructurales de la red.

Una inspección rápida de la **figura 1** permite identificar algunas características elementales de las redes: la cantidad de conexiones de cada nodo, su «centralidad», la cantidad de «pasos» que separan dos nodos, etc. Si llamamos N al número de nodos y E al número de enlaces totales de la red, entonces las redes complejas se diferencian de las «simples» por presentar generalmente grandes valores de N y valores pequeños de E/N . Uno de los conceptos elementales de una red es el de «centralidad». Esto significa determinar cuáles son los nodos centrales o más importantes de la red. Si bien existen diferentes formas de medir la centralidad de un nodo, quizás la más simple consiste en determinar el número de enlaces que posee. En la jerga técnica este parámetro se denomina «grado de centralidad» (*degree centrality*). En una red social, los individuos con altos valores de grado de centralidad se pueden considerar como los más influyentes.

Muchas redes se dividen naturalmente en subgrupos o agregados denominados clústeres (*clusters*). En algunos casos, la identificación de clústeres puede proporcionar información muy valiosa acerca de cómo se estructura el sistema; algo que sería muy difícil de obtener de otra manera. Por ejemplo, las redes sociales se agregan de manera natural según ciertos factores como el idioma, la edad o la región geográfica; sin embargo, mediante análisis de redes es posible detectar clústeres más sutiles relacionados con los intereses de las personas, los sitios web que visitan o las ideas políticas. En el caso de redes pequeñas —como la de la **figura 1**— la identificación de los clústeres es trivial. No obstante, cuando las redes poseen miles o millones de nodos es necesario recurrir a herramientas matemáticas avanzadas para calcular lo que se denomina «coeficiente de agregación» (*clustering coefficient*); es decir, en qué medida los nodos tienden a formar clústeres. Otro parámetro esencial de las redes es la «centralidad intermedia» (*betweenness centrality*), que mide la fracción de caminos entre los otros nodos de la red que pasan a través de un cierto nodo. En la **figura 1** vemos que si bien el nodo **k** presenta un grado de centralidad bajo (2), la centralidad intermedia es relativamente alta

ya que todos los caminos que unen nodos del clúster **A** con otros del clúster **B** pasan a través del nodo **k**.

El estudio de las redes revela que en un sistema complejo es mucho más importante la manera en que los elementos están relacionados e interactúan que los elementos en sí. La conectividad de la red define en gran medida el grado de complejidad que puede alcanzar el sistema. Las redes complejas, lejos de ser un pasatiempo matemático o una herramienta solo aplicable a unos pocos problemas científicos o académicos, han producido una revolución en la manera de abordar el estudio de los sistemas complejos. La posibilidad de aplicar el formalismo de las redes complejas a problemas tan variados como Internet, el tráfico aéreo, la propagación de enfermedades o rumores, el estudio del lenguaje o los movimientos migratorios, entre muchos otros, supone un cambio de paradigma en la manera en que organizamos la realidad. Se abandona el pensamiento lineal en favor de una racionalidad compleja, no lineal y descentralizada. Las redes complejas constituyen un sustrato matemático común para muchos problemas de las ciencias y de las humanidades y un punto de encuentro fértil para abordar problemáticas transdisciplinarias. ■

#referencias

- Barabási, Albert-László & Albert, Réka. «Emergence of scaling in random networks». *Science*. Vol. 286. 1999: 509-512.
- Milgram, Stanley. «The Small World Problem». *Psychology Today*. Vol. 1. 1967: 61-67.
- Newman, M. E. J. *Networks. An Introduction*. Oxford University Press. 2015.
- Strogatz, Steven H. «Exploring complex networks». *Nature*. Vol. 410. 2001: 268-276.
- Watts, Duncan J. & Strogatz, Steven H. «Collective dynamics of “small-world” networks». *Nature*. Vol. 393. 1998: 440-442.

#glosa

Pensar ciertos problemas en términos de redes, de entidades interconectadas, de relaciones no lineales, supone un cambio drástico para la cultura occidental. Renunciar a más de veinte siglos de pensamiento lineal, de causalidades bien establecidas o de determinismo puro y duro no es sencillo. De hecho, muchas de las propiedades de las redes complejas nos sorprenden precisamente porque rompen con esa lógica lineal.

Las redes complejas proporcionan a las humanidades una manera radicalmente nueva y provechosa de abordar determinados problemas. Así, por ejemplo, The CulturePlex Lab de la Western University, en Canadá, es un grupo de investigación en humanidades digitales que reúne a humanistas, científicos computacionales, matemáticos, ingenieros y diseñadores para modelar problemas tradicionales de humanidades a partir del uso de *big data* y redes complejas. Entre otros trabajos, estos investigadores analizan el comportamiento humano mediante «analítica cultural» (*cultural analytics*). Combinando técnicas de análisis de *big data* y redes sociales han sido capaces de modelar el comportamiento de individuos o poblaciones en determinados contextos. Estas nuevas técnicas abren un sinfín de posibilidades tanto en ciencias sociales como en humanidades y permiten no solo comprender nuevos fenómenos sino también simular ciertas situaciones variando tanto las propiedades del contexto como las de los agentes involucrados.

En el ámbito científico, uno de los proyectos más ambiciosos relacionados con las redes complejas pretende obtener un mapa completo de las conexiones del cerebro humano. De hecho, existen actualmente varias iniciativas tales como el Human Connectome Project, en Estados Unidos, y su contraparte europea, el Human Brain Project, cuyos objetivos consisten en desarrollar los métodos y las tecnologías que permitan proporcionar un mapa preciso y completo, a nivel neuronal, del cerebro de mamíferos. Hasta ahora, el único mapa completo de conexiones entre neuronas del que disponemos es el del gusano *C. elegans*, que tiene tan solo 300 neuronas —en comparación con los 85.000 millones que tiene el cerebro humano—. Se espera que a partir del mapeo del cerebro humano podamos comprender mejor muchos aspectos de su funcionamiento. Sin embargo, como ya ha ocurrido con el proyecto del genoma humano, es muy probable que el mapeo de nuestro cerebro traiga consigo más preguntas que respuestas. Nos daremos cuenta entonces de todo aquello cuyo desconocimiento ignorábamos.

Las redes complejas permiten pensar la realidad de otra manera; permiten abrir el juego e incorporar en el estudio de diversos fenómenos ciertos elementos que tradicionalmente no pertenecían al ámbito científico. El azar y la complejidad entran por fin —de manera «oficial»— en el mundo de las «ciencias duras» permitiendo un diálogo hasta entonces casi inexistente con los ámbitos de las artes, la literatura y las humanidades. ○

Tejiendo mundos

Josep Perelló

La física de los inicios del siglo pasado descubre el caos en los sistemas planetarios de la mano de Jules Henri Poincaré. El caos admite la imposibilidad del determinismo a ultranza en sistemas con tan solo tres elementos en interacción. Añadir más elementos a un sistema imposibilita predecir perfectamente su futuro, ya sean planetas, péndulos o muelles. Este fue un gran dolor de cabeza para los científicos más reflexivos como el propio Poincaré. El mecanicismo para entender el mundo, patas arriba. El físico y matemático francés también reflexionó durante las primeras décadas del siglo XX acerca de la creatividad: un fenómeno que atañe a una configuración inestable de diversos elementos que encajan de forma emergente, sin prefiguración consciente alguna. Según Poincaré, la novedad irrumpe a partir del caos, con múltiples elementos en interacción que cristalizan al menos provisionalmente en estructuras discursivas que denominó *toutes-faites*, y Poincaré escoge como metáfora la meteorología para contarlo. Marcel Duchamp, de hecho, representa una nube en la parte superior de su obra *El gran vidrio*. La pieza, azarosamente agrietada y con un engranaje para moler semillas de cacao en su parte inferior a modo de parodia mecanicista es crucial en la trayectoria de un artista que también exploró los *ready-made* (o *toutes-faites*) como condensaciones de materia que engendran ideas y ocurrencias pendientes de cierta interpretación por parte del espectador. Duchamp leía ciencia variada y tampoco debía ser casualidad que dejase pasar sus ojos por libros sobre geometría no euclidiana que demuestran que la distancia más corta entre dos puntos del espacio no es necesariamente la línea recta. A partir del siglo XIX, tanto las formas curvilíneas como el incremento de dimensiones del espacio dieron con nuevas herramientas matemáticas donde, entre otros casos, la temprana especulación de la teoría de grafos lleva a la física a plantear las interacciones entre elementos concretos de forma geométrica. El juego recuerda las cisuras curvilíneas de Gordon Matta-Clark en edificios abriendo vacíos y forzando nuevas perspectivas. La mutación de la teoría de grafos en las

llamadas redes complejas considera que una mayor proximidad puede ser sinónimo de una más fuerte correlación, pudiéndose hablar de intensidad gravitatoria entre objetos galácticos, pero también del flujo de llamadas telefónicas entre dos ciudades distintas. Los artefactos matemáticos y la correspondiente algoritmia es la misma a pesar de que la interacción y los elementos puedan ser de naturaleza muy distinta. Las redes complejas negocian la intensidad en la interrelación de distintos elementos y proponen mapas para orientarse en el mundo de otro modo. Los *big data* y la agregación de centenares, millares o millones de elementos en interacción es sin duda el mejor aliado de las redes complejas. Las redes complejas recogen una riqueza invisible y detectan clústeres de lugares que no necesariamente son los más próximos en distancias medidas en kilómetros. Dentro de las llamadas humanidades digitales, por ejemplo, también hay quien recogiendo los lugares de nacimiento y de defunción de creadores lee los movimientos migratorios del viejo al nuevo mundo (Schich *et al.*, 2014). Los caminos de ciudadanos cruzados con trazas semánticas de posts geolocalizados en redes sociales (Quercia *et al.*, 2014) hacen realidad la psicogeografía masiva que propusieron los situacionistas décadas atrás. Los caminos más rápidos en tiempo no son necesariamente los más frecuentados y las redes complejas permiten retener otras dimensiones relacionadas con la movilidad humana. Las redes complejas y sus algoritmos incluso detectan comunidades (Poncela-Casasnovas *et al.*, 2016) en un bosque de datos donde es difícil encontrar patrones, especies o similitudes entre individuos. Aparece una estructura, un orden espontáneo que aspira a comprender el caos de hace un siglo. Se desea encontrar nuevas lecturas, aunque solamente tengan valor estadístico y sin afirmaciones contundentes. Un mundo más blando y dócil surge. Un arte como el de Antoni Abad con invidentes, prostitutas o taxistas se encarga de tejer relaciones (Parés *et al.*, 2014). Refuerza comunidades para hacerlas visibles, para cambiar el mundo a través de la complejidad y sus redes. ■

#referencias

- Parés, Roc *et al.* *Antoni Abad. megafone.net/2004-2014*. Editorial MACBA / Museu d'Art Contemporani de Barcelona, Turner y AC/E. 2014.
- Poncela-Casasnovas, Julia *et al.* «Humans display a reduced set of consistent behavioral phenotypes in dyadic games». *Science Advances*. Vol. 2(8). e1600451. 2016.
- Quercia, Daniele; Schifanella, R.; Aiello, L. M. «The shortest path to happiness: Recommending beautiful, quiet, and happy routes in the city». *Proceedings of the 25th ACM conference on Hypertext and social media*. ACM. 2014: 116-125.
- Schich, Maximilian *et al.* «A network framework of cultural history». *Science*. Vol. 345(6196). 2014: 558-562. También vídeo: Nature Video. «Charting Culture».

#glosa

La idea del caos como generador de orden, de novedad o incluso de creatividad es algo que sin duda no estaba presente en la agenda de los grandes pensadores de la Ilustración. La obsesión occidental por el orden y el control excluía sin miramientos al caos de cualquier intento de comprender la realidad. Por otra parte, la interacción entre múltiples elementos de un sistema era algo que no podía plantearse fácilmente desde la ciencia hasta hace tan solo unas décadas. El estudio de las redes se limitaba entonces a dos casos extremos: por un lado, los arreglamientos regulares —de átomos en un cristal o de ubicaciones en un mapa— y por otro las redes aleatorias —principalmente los trabajos de Erdős y Rényi (1959, 1961)—. Sin embargo, estos dos casos presentan características topológicas triviales sin mayor interés, mientras que las redes complejas, a mitad de camino entre las regulares y las aleatorias, presentan propiedades singulares que las hacen particularmente apropiadas para abordar diversos tipos de problemas del mundo real en ámbitos extremadamente diversos.

Recientemente se ha aplicado el formalismo de las redes complejas para estudiar con cierto éxito en literatura problemas que van desde la identificación de movimientos literarios (Amancio *et al.*, 2012) hasta la «red social» de los personajes de *Alicia en el País de las Maravillas* (Awargal *et al.*, 2012). La digitalización de una parte importante del corpus literario universal y la proliferación de diversos algoritmos para el tratamiento de datos han generado en los últimos años un volumen muy significativo de trabajos de investigación que forman parte de lo que se denominan las «humanidades digitales», es decir, el estudio de problemas del ámbito de las humanidades utilizando, entre otras, herramientas como los *big data* o las redes complejas.

Uno de los aspectos más interesantes del uso de las redes complejas en humanidades digitales no es tanto la posibilidad de responder a viejas cuestiones como su capacidad para formular nuevas preguntas. ¿Qué estructuras de redes sociales encontramos en la ficción? ¿Cómo han evolucionado estas estructuras con el tiempo? ¿Cuáles son los vínculos estilísticos, estructurales y formales entre el canon y el corpus de una determinada época y cultura? ¿Qué podemos aprender acerca de las estructuras narrativas si las pensamos en términos de redes complejas? ○