

XV
QUÉ PEQUEÑO ES EL MUNDO
ENTRAMADOS QUE NOS UNEN

Considero extraordinariamente fructífera esa idea de que habría que explicar la vida social, no a partir de las ideas de quienes participan en ella, sino de las causas más profundas que no percibe la conciencia, y creo también que esas causas habría que buscarlas sobre todo en la forma de acuerdo a la cual se asocian los individuos.

ÉMILE DURKHEIM (1879)¹

Esta historia tiene varias moralejas. Quizá la más importante sea que, sencillamente, sus amigos no son normales. Los amigos de uno nunca son normales.

MARK NEWMAN (2001)²

En 1941, el actor estadounidense Eddie Albert apareció en *The Wagons Roll at Night* [*Los carros ruedan de noche*], película que protagonizaba Humphrey Bogart. Poco conocido hoy en día fuera de Estados Unidos, Eddie Albert nunca fue una gran estrella, aunque fue candidato a un Oscar por *Vacaciones en Roma* (1953), que interpretó junto a Audrey Hepburn y Gregory Peck. A los espectadores estadounidenses quizá les resulte más conocido por la serie televisiva *Granjero último modelo* (1965-1971), que todavía se sigue emitiendo en algún lugar del mundo. Pero Eddie Albert seguía trabajando en Hollywood cincuenta años después de *The Wagons Roll at Night*, y en 1989 apareció en *The Big Picture* [*La gran película*], con Kevin Bacon.

Por lo tanto, Eddie Albert es el enlace crucial que da a varios actores famosos de antaño un “Número de Bacon” muy bajo. El número de Bacon

es el número más pequeño de películas que conectan al actor en cuestión con Kevin Bacon, donde cada película une a dos de los actores de la cadena. Eddie Albert tiene un número de Bacon de uno, porque apareció en una película con Kevin Bacon; Humphrey Bogart tiene un número de Bacon de dos, porque apareció en una película con Eddie Albert, que apareció en una película con Kevin Bacon. James Dean y Ronald Reagan también tienen un número de Bacon de dos gracias a Albert, que protagonizó con ellos el drama televisivo *I'm a Fool [Soy un estúpido]* (1953). Errol Flynn está vinculado con Bacon a través de Albert, que compartió la pantalla con Flynn en *Las raíces del cielo* (1957).

El juego de Kevin Bacon se convirtió en uno de los juegos favoritos de los aficionados al cine y de los estudiantes universitarios en la década de 1990. El objetivo era encontrar el camino más corto hasta Kevin Bacon –el número de Bacon más bajo– de cualquier actor de cine. Pero, ¿por qué Kevin Bacon? Al igual que Eddie Albert, se hizo famoso por aparecer en muchas películas de las que *no* era el protagonista. De este modo, enlaza muchos grandes y no tan grandes nombres en un entramado de relaciones cinematográficas. Kevin Bacon, se sugería irónicamente, era el verdadero centro de la industria de Hollywood.

El aspecto más sorprendente de este juego es lo tupido que resulta ese entramado. Desde los inicios del cine se han rodado unas ciento cincuenta mil películas que han interpretado unos trescientos mil actores (cuyos nombres figuran en los títulos de crédito). Y sin embargo, a casi todos esos actores se les puede asignar un número de Bacon (NB) de tres o inferior. La última vez que lo comprobé,* había 1.686 actores con un NB de uno (esto es, 1.686 que alguna vez han compartido reparto con Kevin Bacon), 133.856 actores con un NB de dos (los que han hecho una película con alguien que ha hecho una película con Kevin Bacon) y 364.066 con un NB de tres. En octubre de 2003, el NB medio de todos los actores de Hollywood (al menos todos cuantos aparecen en la base de datos www.us.imbd.com) era de 2,946. Desde luego, estas cifras parecen apoyar la idea de que algo muy especial ocurre con Kevin Bacon, pero, ¿de verdad es así?

El juego de Kevin Bacon no es una invención reciente. Como no podía ser de otra manera, los matemáticos jugaron en primer lugar su propia y

* Todas las cifras que doy las recojo en *The Oracle of Bacon [El oráculo de Bacon]*, página web de la Universidad de Virginia: <http://www.cs.virginia.edu/oracle/>

especial versión con los llamados Números de Erdős. Paul Erdős (1913-1996) era un influyente, extraordinario y prolífico matemático húngaro que escribió cientos de artículos. A causa de su inusual productividad, parece ser el centro del universo matemático.* A otros matemáticos y científicos se les puede asignar un número de Erdős (NE) dependiendo de si escribieron un artículo con el propio Erdős ($NE = 1$), con un colaborador de Erdős ($NE = 2$), con un colaborador del colaborador, etcétera.

Esta elaboración vincula no sólo a un gran número de matemáticos, sino también de físicos y sociólogos, con un enorme entramado de conexiones. Albert Einstein tiene un NE de dos, Werner Heisenberg un NE de cuatro y el físico alemán Erwin Schrödinger uno sorprendentemente alto: ocho. Yo tengo un número de Erdős similar.** Esto, por supuesto, no significa que yo sea un científico comparable a Schrödinger, ni que Heisenberg sea el doble de bueno que éste o Einstein cuatro veces mejor. He escrito muy pocos artículos científicos y ninguno de ellos de relevancia, y sin embargo, puedo trazar un enlace a través de mis coautores hasta cualquiera de esos grandes nombres. Esto no puede ser motivo de orgullo, puesto que la gran mayoría de los demás científicos podría hacer lo mismo. Lo que quiero decir es que el entramado formado por la coautoría en la comunidad científica es muy tupido, de forma que cualquier científico se encuentra a pocos pasos de alguna gran figura.

Todos conocemos el fenómeno que hay detrás de estos juegos. Uno de mis compañeros se encuentra en una fiesta hablando con un amigo del padrino de boda de la hermana de mi compañero. El pianista de un cantante que conozco fue al colegio con la mujer de uno de mis amigos del colegio. Descubro en una conversación que alguien a quien no conozco conoce a mi madre. Continuamente, estos entramados sociales de amigos y conocidos nos recuerdan que el mundo es muy pequeño.

La naturaleza interrelacionada de las interacciones sociales ha tentado y atormentado a los sociólogos durante décadas. Pero como motivo de

* En realidad, la productividad no garantiza eso. Lo importante es que Erdős colaboró con muchos otros autores y que, por tanto, tenía muchos contactos dentro del entramado. Un matemático solitario podría producir artículos como churros hasta llegar a los cien al año y, pese a ello, resultar irrelevante para el conjunto del entramado. Leonhard Euler, matemático suizo del siglo XVIII, es un ejemplo: es el matemático más prolífico de la historia, pero escribió toda su obra en solitario.

** Quiero dar las gracias a Mark Newman por averiguar que tengo un NE de ocho como mucho; si investigara, podría encontrar un camino más corto al matemático húngaro.

estudio cuentan con poco más que anécdotas. En los últimos años, sin embargo, algunos científicos han centrado su atención en los entramados que revelan esto que podríamos llamar comportamiento “qué pequeño es el mundo” y empiezan a comprender algunos de los rasgos que los definen. Estos estudios van mucho más allá de la esfera de la dinámica social, revelando que los mismos factores pueden encontrarse en un amplio abanico de entramados en sistemas tan diversos como los redes neuronales del cerebro, las reacciones bioquímicas interdependientes en el metabolismo y las redes de difusión eléctrica. Dicho de otra manera, existe una especie de universalidad común a ciertos tipos de entramados. Estudiando uno de ellos, incluso sobre la base de un modelo simple, podremos comprender el funcionamiento de sistemas y procesos que, aparentemente, no guardan ninguna relación. Podremos averiguar incluso si es cierto que Kevin Bacon tiene algo de especial.

LOS SEIS GRADOS

Los entramados que forman las amistades son complejos y fascinantes, pero resulta extraordinariamente difícil concretarlos de modo que se puedan estudiar a la luz del análisis físico o matemático. Cada Navidad se hace evidente una dificultad fundamental: ¿conocemos a Amy lo bastante como para enviarle una tarjeta? Ella nos mandó una el año pasado, pero lo cierto es que no es tan prominente en nuestro círculo de amistades como parece que nosotros lo somos en el suyo. Y luego está Roger: hace años que le conocemos, pero ya no mantenemos el contacto.

En el entramado del cine, o has hecho una película con Kevin Bacon o no la has hecho (claro que se puede discutir si los dramas televisivos como *I'm a Fool* son películas o no). Lo relacionado con la amistad es más ambiguo. En particular, es posible que la relación no sea recíproca: para mí, Harry es un amigo, yo para él soy un conocido. Y si uno intenta concretar la estructura y extensión de ese entramado, como han hecho los científicos, no tarda en descubrir con cuánta imprecisión lo describe la gente. Nos olvidamos de incluir a muchas personas y no sabemos estimar el tamaño de nuestro círculo de amistades. Y, por supuesto, ese entramado cambia con el tiempo a medida que dejamos que viejas amistades se alejen y entablamos nuevas relaciones.

En la década de 1970, el sociólogo Mark Granovetter, de la Universidad Johns Hopkins de Baltimore, destacó la importancia de las distintas *intensidades* de nuestros lazos de amistad. Los enlaces fuertes son relativamente fáciles de identificar y registrar, pero es posible que no sean los más significativos en la estructura global del entramado. Muchos de nuestros amigos más íntimos se conocen, así que su red de “enlaces fuertes” es parecida a la nuestra. Esta propiedad vincula a las personas en grupos, pero Granovetter afirmaba que son los enlaces más débiles, los “conocidos”, los que conectan esos grupos y, por lo tanto, mantienen unido todo el entramado (véase figura 15.1). Llamó a esta característica “la fuerza de los enlaces débiles”. Pero son precisamente estos enlaces más tenues los que más cuesta identificar.

Los sociólogos empezaron a interesarse por los enlaces y entramados sociales antes incluso de esto. En la década de 1950, el politólogo Ithiel de Sola Pool y el matemático Manfred Kochen, del Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT), se preguntaron cómo se moviliza el poder político en la sociedad, cómo adquieren poder político las personas. Los amigos del presidente pueden susurrarle algo al oído e influir de ese modo en la política nacional. Pero, ¿y los amigos de los amigos? ¿Ejercen también cierta influencia? ¿Cuánta? ¿A cuánta distancia hay que estar del poder para influir en él?

Pool y Kochen se propusieron formular una teoría de los entramados sociales y predijeron que, dentro de una población, los individuos pueden tener entre sí más contacto del que imaginan. Ambos investigadores redactaron un artículo que no llegaron a publicar (apareció retrospectivamente en 1978). Sin embargo, el artículo circuló ampliamente y una de las personas que lo leyeron fue el psicólogo Stanley Milgram, de la Universidad de Harvard, es decir, a tiro de piedra del MIT. En 1967, Milgram, inspirado por Pool y Kochen, dirigió uno de los estudios más famosos y elegantes sobre la estructura de los entramados o redes sociales. Envío ciento noventa y seis paquetes a ciento noventa y seis habitantes de Omaha, Nebraska, con la petición de que se los remitieran a su presunto destinatario final, un agente de bolsa que vivía en Sharon, cerca de Boston.* Pero no facilitaba ninguna dirección. Los únicos datos que

* Al parecer, Milgram escogió Omaha porque no pudo imaginar lugar más alejado de la *civilización* de la Costa Este.

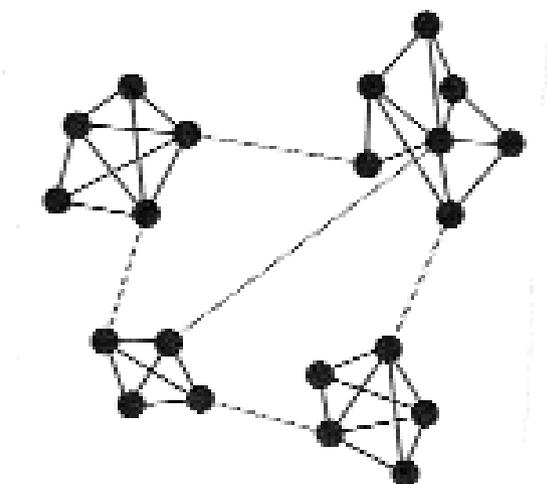


Figura 15.1. Un entramado de amistades. Los grupos de amigos íntimos están vinculados por los conocidos (líneas de puntos).

identificaban al agente de bolsa eran su nombre y profesión, junto con el hecho de que vivía cerca de Boston. A los habitantes de Omaha, escogidos al azar, se les pedía que enviaran el paquete a los amigos, conocidos o compañeros de trabajo que, según ellos, mejor pudieran facilitar que el paquete llegara a su destino –junto con la petición de que éstos, a su vez, hicieran lo mismo.

Quien recibía el paquete podría, por ejemplo, enviarlo a un agente de bolsa que conociera, con la esperanza de que supiera mejor a quién enviárselo luego. A nadie se le pidió que intentara una búsqueda sistemática del destinatario, sólo había que pasar el paquete a alguien conocido a quien se escogiera por su posible mayor proximidad (en términos sociales, profesionales o geográficos) con él. Se pedía a los participantes que, en cada etapa, incluyeran los mismos datos que conocían del destinatario, para así poder reconstruir la ruta seguida por cada paquete una vez llegara a su destino final.

“Cuando le pregunté a un inteligente amigo mío cuántos pasos creía que se tardaría en localizar al destinatario del paquete –recordaría Milgram–, calculó que harían falta unos cien intermediarios o más para que los paquetes llegaran de Nebraska a Sharon”.³ No hicieron falta

cien pasos. De media, bastaron cinco intermediarios (es decir, seis envíos) antes de que los paquetes llegaran a su destinatario. De ahí se deducía que cualquier ciudadano estadounidense estaba unido a cualquier otro escogido al azar vía una media de cinco conocidos. Se puede discutir el número exacto –por ejemplo, es improbable que cada intermediario dé el paso ideal a la hora de decidir a quién le envía su paquete y habría que estimar la importancia de que algunos paquetes no lleguen a entregarse por simple dejadez. Pero todos están de acuerdo en que bastan entre cinco y siete pasos para poner en contacto a todos los ciudadanos de Estados Unidos –conclusión que refrendan los estudios que, posteriormente, Milgram llevó a cabo con paquetes enviados de Los Ángeles a Nueva York.

Estos estudios se circunscriben a Estados Unidos, pero su mensaje se amplió al escenario global en una obra de John Guare, *Six Degrees of Separation* [*Seis grados de separación*].* Ouisa, uno de los personajes de la obra de Guare, dice:

Todos los habitantes de este planeta estamos separados de los demás por tan sólo seis personas. Seis grados de separación. Entre nosotros y todas las personas de este planeta. El presidente de Estados Unidos, un gondolero de Venecia... Un nativo del bosque amazónico, un habitante de Tierra del Fuego, un esquimal... Es una idea profunda... Cada persona es una nueva puerta que se abre hacia otros mundos.⁴

Pero, ¿de verdad es una idea tan profunda? El mundo está lleno de cosas que nos sorprenden no tanto porque sean extrañas o nos dejen perplejos, sino porque nuestra intuición iba por otro lado. Es natural pensar que las personas que están geográficamente muy distantes lo estén también desde un punto de vista social. Pero, ¿hasta qué punto? ¿Hay alguna razón para que, desde un punto de vista social yo esté más alejado de los habitantes de las islas Shetland que de los de Bromsley, adonde puedo llegar en autobús desde mi domicilio? ¿Y los habitantes de Nebraska? ¿Estarán proporcionalmente más alejados de mi esfera social?

* Parece ser que en 1929 el poeta húngaro Frigyes Karinthy ya predijo los “seis grados” de Milgram. Karinthy hizo la misma afirmación que el psicólogo, pero sin ninguna base científica.

Estas preguntas pueden parecer ilusorias, fantasiosas, incluso triviales,* pero tienen ramificaciones mucho más profundas. Las personas con quienes mantengo proximidad física son el pozo donde me contagio de muchas enfermedades que tendré a lo largo de mi vida. Más tangible todavía es la red de contactos íntimos y sexuales a través de los cuales, por ejemplo, el sida se extiende por la población. Esa red es algo turbia: o bien mantenemos una relación sexual, con lo que nos arriesgamos a contraer el sida, o bien no la mantenemos. (El contagio por transfusión de sangre es aun más difícil de rastrear, pero, en última instancia, también es un enlace igualmente concreto de la cadena.) Sin embargo, cuando los epidemiólogos empezaron a comprender y prever la expansión de la enfermedad, no tardaron en darse cuenta de la dificultad práctica de reconstruir esa red social –por mucho que, al principio, estuviera relativamente bien definida–. En algunos casos, sin embargo, sí se han identificado contactos importantes. Al parecer, cierto marinero noruego, soltero y promiscuo desempeñó un papel fundamental en los primeros casos de sida en Europa: contrajo la enfermedad en África occidental en 1960 y luego se la contagió a algunas personas en Colonia y en Reims en los años setenta, mientras trabajaba como camionero. A un auxiliar de vuelo canadiense llamado Gaetan Dugas, a quien más tarde se bautizó como “paciente cero”, se le vinculó con al menos cuarenta de los primeros casos de sida conocidos en California y Nueva York.

Algunas películas, libros, obras de teatro y canciones se han convertido en grandes éxitos no a causa de grandes campañas publicitarias, sino del boca a boca. Por fortuna, los mismos procesos pueden tener el efecto contrario: una película promocionada a bombo y platillo puede fracasar estrepitosamente cuando corre la voz de que es muy mala. En esta época de comunicación en masa y de sistemas de información global, es muy difícil identificar con precisión el proceso de difusión de ideas y productos culturales. Pero no hay duda de que las redes sociales desempeñan su papel y hasta hace muy pocas décadas los contactos personales eran fundamentales. Para cualquier interesado en la dinámica de la globalización, las redes de contactos y de intercambio de información entre personas son de gran importancia.

* Para una saludable dosis de trivialidades fantasiosas, véase en las páginas de Opinión del *New York Times*, el artículo de D. Kirby y P. Sahry titulado “Six degrees of Monica” (21 de febrero de 1998).

ENTRE EL ORDEN Y EL CAOS

Paul Erdős es el sujeto ideal para el juego matemático de las conexiones, a causa de su productividad. Pero no sólo por eso es apropiado. En los años cincuenta y sesenta, Erdős impulsó el estudio de las redes y hasta hace bien poco su obra proporcionó el punto de partida de casi todos los estudios sociales en esta área. Junto con su compañero Alfred Rényi (que, naturalmente, tenía un número de Erdős de uno), aclaró las propiedades de unas redes llamadas *grafos aleatorios*.

Un grafo es una serie de puntos unidos por líneas (véase figura 15.2a). A los puntos se les llama “vértices” y a las líneas, “aristas”. Esta entidad abstracta puede representar todo tipo de cosas. Los vértices podrían ser ciudades, y las aristas, las carreteras que las unen. En consecuencia, el grafo podría representar una red de transporte. O los vértices podrían ser actores y las aristas el enlace entre parejas de actores que han coincidido en alguna película. El número de Bacon de un actor es el número de aristas separadas que uno tiene que atravesar para llegar al actor relevante desde el vértice que representa a Kevin Bacon (véase figura 15.2b). Un grafo como ése muestra las relaciones entre las entidades representadas por sus vértices.

Cuando los vértices son ciudades y las aristas son carreteras es fácil comprender las reglas del grafo, que es como un mapa. Generalmente, las distancias y las direcciones entre los vértices que representan ciudades reflejan las de la realidad geográfica. Pero para el grafo película-actor, las reglas no son tan sencillas. ¿A qué distancia de Kevin Bacon colocamos a Eddie Albert y en qué dirección? ¿Colocamos a Jack Nicholson (NB = 1: *Algunos hombres buenos*, 1992) a la misma distancia? Podríamos, por ejemplo, decidir que todas las aristas tuvieran la misma longitud y que su dirección no tuviera ningún significado en particular. Podríamos hacer eso, pero no tardaríamos en darnos cuenta de que no funciona: muy pronto seríamos incapaces de colocar a dos actores que comparten película lo bastante cerca para vincularlos por una sola arista de longitud fija, porque sus enlaces con otras partes del grafo los mantendrían separados. Ahora bien, ¿por qué tenemos que dibujar el grafo en dos dimensiones? Puesto que ahora que los matemáticos se encuentran muy cómodos en espacios de más de tres dimensiones, ¿por qué no trazar una red de diez dimensiones?

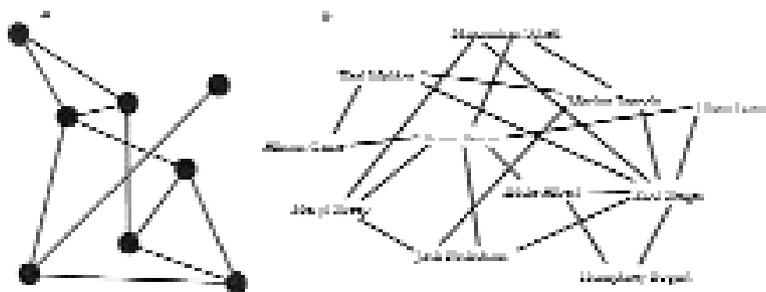


Figura 15.2. (a) Un grafo típico: una serie de puntos (vértices) unidos por líneas (aristas) (b) Una pequeña parte del grafo que vincula actores de cine, muestra algunas de las conexiones próximas a Kevin Bacon. Las respectivas películas aparecen en las Notas.

La respuesta a estos dilemas es que, en realidad, no importa cómo queramos dibujar el grafo película-actor siempre que las conexiones entre vértices sean correctas y vinculen sólo a aquellos actores que han aparecido juntos en alguna película. Para comprender los rasgos más importantes del entramado lo único que importa es el sistema de enlaces, lo que los matemáticos llaman *topología*. Grafos que son distintos cuando se trazan en un papel pueden sin embargo ser topológicamente idénticos. Las distancias y direcciones no significan nada.

A ese tipo de grafo lo llamamos grafo *relacional*, porque sólo se ocupa de las relaciones que existen entre sus vértices. Por el contrario, el *plano* de una ciudad es un grafo *espacial*, porque las distancias entre los vértices y sus posiciones guardan relación con la realidad. Por supuesto, el grafo de una ciudad no tiene por qué ser un grafo espacial. El plano icónico del metro de Londres (véase figura 15.3) que Harry Beck diseñó en 1931 es un ejemplo maravilloso de grafo relacional, pero conserva algunos elementos típicos de grafo espacial, porque así es más fácil trazar las aristas y se facilita la orientación de los usuarios. Las estaciones están aproximadamente en el punto geográfico que les corresponde, pero las distancias no guardan relación con ninguna escala. Y tampoco hay relación precisa con los puntos cardinales. Entre Covent Garden y Holborn se puede tardar menos andando que en metro, pero es mucho mejor coger el metro para ir de Hatton Cross a Boston Manor, por mucho que, en el mapa de Beck, los dos trayectos tengan la misma longitud.

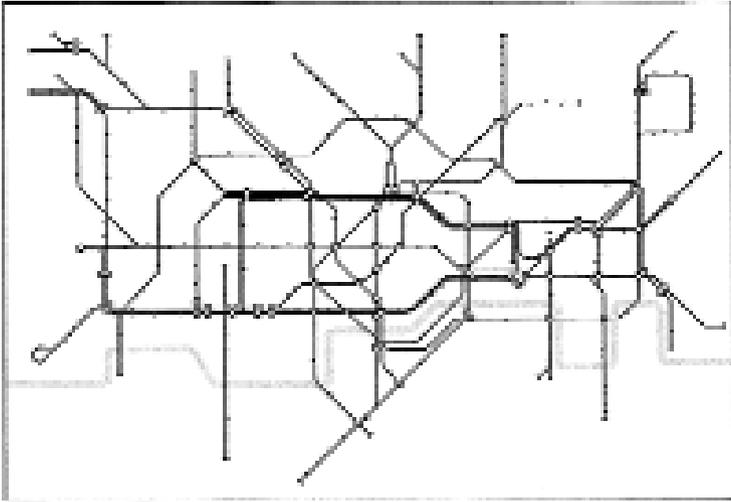


Figura 15.3. El plano del metro de Londres es un grafo relacional que muestra cómo están conectados los vértices (las estaciones), pero sólo ofrece indicaciones aproximadas de su situación geográfica y de la distancia que los separa. La línea gris más gruesa es el río Támesis.

En los grafos aleatorios que estudiaron Erdős y Rényi, un conjunto de vértices dispersos están interconectados de forma aleatoria. Se puede construir un grafo aleatorio de seis vértices numerando esos vértices y, a continuación, tirando dos dados. Se añade una arista entre dos vértices con números correlativos. Cuando cada uno de los vértices está vinculado por lo menos a otro, se dice que el grafo está totalmente conectado (véase figura 15.4). En un grafo totalmente conectado, siempre es posible desplazarse por una ruta de un vértice a otro. En este sentido, el metro de Londres está totalmente conectado. En general, habrá varias rutas posibles entre destinos y, en general, lo que interesa es encontrar la más corta.

Diversos investigadores de los entramados sociales, empezando por Anatol Rapaport y sus compañeros de la Universidad de Chicago en los años cincuenta, dieron por sentado que existe una topología de grafos aleatorios. Ciertamente, puede decirse que no es éste el caso, pero da la impresión de que los grafos aleatorios son un buen punto de partida para esos estudios porque, con total neutralidad, presuponen una arquitectura subyacente. Por su parte, Erdős y Rényi ya elaboraron las

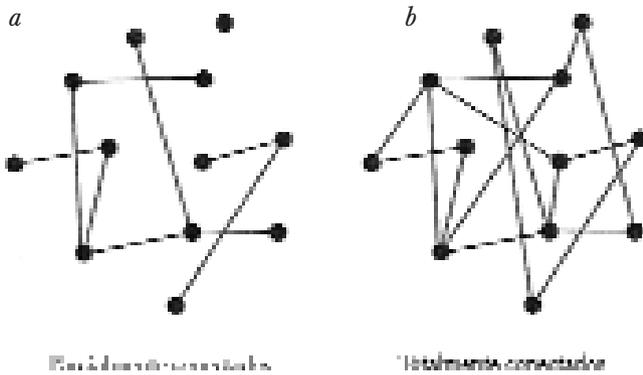


Figura 15.4. Un grafo aleatorio se conecta totalmente cuando todos los vértices están vinculados a la red (b), cuando no hay vértices ni grupos aislados, como en (a).

propiedades matemáticas de esos grafos. Esas propiedades tienen que expresarse en términos estadísticos, puesto que las conexiones son cuestión de puro azar. Para un número suficientemente elevado de vértices –con cien basta–, existe una probabilidad despreciable de que, conectando los vértices al azar, el mismo grafo aparezca dos veces. Por lo tanto, al igual que no tiene sentido preguntarse por los movimientos individuales de las partículas de un gas sino centrarse en los promedios y distribuciones, hay que limitar nuestra curiosidad por los grafos aleatorios a cifras generales, cifras tales como el promedio de conexiones por vértice y la distribución de probabilidades de este número. Erdős y Rényi demostraron que la distribución de probabilidades se corresponde con nuestra familiar curva gaussiana. El número promedio de conexiones se corresponde con el pico de la curva. Este promedio depende, evidentemente, de las aristas que tenga el grafo, pero para un grafo aleatorio concreto tiene un valor definido.

Hay otro tipo de grafo utilizado para estudiar redes, un grafo que no tiene nada que ver con el grafo aleatorio. Se trata de la retícula regular: configuración de vértices idénticos unidos por aristas idénticas (véase figura 15.5). En este caso no hay necesidad de hablar de promedios: todos los vértices (salvo los que están en las aristas y en las esquinas) tienen el mismo número de conexiones exactamente (en la figura 15.5, cuatro). Desde un punto de vista matemático, estos grafos *ordenados* se describen con facili-

dad. Para llegar de un vértice a otro muy distante sobre una retícula ordenada, no hay más remedio que avanzar a saltos de vértice en vértice. La longitud del trayecto, es decir, el número de aristas atravesadas, es larga. Por otro lado, en un grafo aleatorio existe la oportunidad de que un vértice próximo al punto de partida se conecte *a larga distancia* con uno que esté cerca del vértice *meta*. En otras palabras, hay muchos atajos. Esto significa que la ruta entre vértices muy separados puede ser muy corta.

Una forma de precisar esta diferencia es preguntarse cuál es, de promedio, el camino más corto entre dos vértices elegidos aleatoriamente. A esto se le llama la longitud media de las trayectorias y es una propiedad estadística análoga al número de rutas que los paquetes de Stanley Milgram tenían que recorrer para llegar a su destino. En un grafo ordenado, la longitud media de las trayectorias es larga y se prolonga proporcionalmente a medida que el número de vértices se incrementa. Para un grafo aleatorio la longitud media de las trayectorias es corta. Además, no se incrementa mucho cuando se añaden más vértices porque hay oportunidad de que entre un vértice nuevo de la parte exterior y uno de la mitad del grafo se establezca una conexión aleatoria.

A juzgar por esto, cabría esperar que las redes sociales como la del grafo película-actor serán como grafos aleatorios. ¿No es ése el quid de la idea “qué pequeño es el mundo”, que siempre estamos más cerca de lo que pensamos de cualquier individuo escogido al azar? Sin embargo, en 1998, dos científicos de la Universidad de Cornell observaron que los entramados sociales no son como los grafos aleatorios, sino que forman una clase propia que estaría entre el perfecto desorden y el orden perfecto de las retículas regulares. Se les llama, con razón, redes “qué pequeño es el mundo”.

LOS HOMBRES DE LAS CAVERNAS Y LOS CHATS

En su mayoría, los círculos de amistad son recíprocos: los amigos íntimos de mis amigos suelen ser mis amigos íntimos. Si yo conozco a Andy y a Betty, es probable que Andy y Betty también se conozcan. Dicho de otro modo, mis amigos y yo formamos una especie de grupo social con muchos enlaces con otros grupos. Sin embargo, las redes aleatorias no tienen esta estructura de grupos. En las redes de tipología aleatoria, el

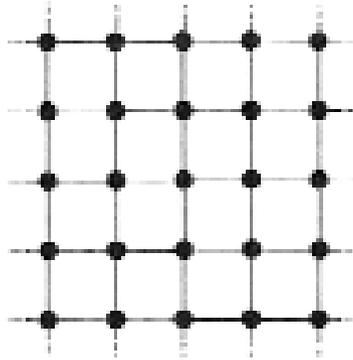


Figura 15.5. En una retícula regular, todos los vértices (menos los de los bordes) tienen el mismo número de conexiones con los demás.

hecho de que yo conozca a Andy y a Betty no guarda ninguna relación con la probabilidad de que Andy y Betty se conozcan. Por su parte, las retículas ordenadas sí tienen un elemento de formación de grupos, porque cada vértice está conectado solamente con sus vecinos más próximos, no hay grandes saltos.* Muchos de los vecinos de un vértice también son vecinos de un vértice vecino, así que hay muchas posibilidades de que muchos amigos íntimos conectados con una retícula ordenada compartan un amigo íntimo y mutuo.

Cuando a finales de los años noventa, en la Universidad de Cornell, Steven Strogatz y uno de sus discípulos, Duncan Watts, empezaron a investigar el problema de las redes sociales, encontraron la forma de representar el agrupamiento del que venimos hablando. Al principio, no les interesaban las estructuras sociales; pensaban, en vez de ello, en cómo algunos animales sincronizan su comportamiento de igual modo que, en un campo, los grillos sincronizan sus chirridos. Pero la investigación no tardó en llevarles a la intrincada red que los sociólogos ya habían empezado a tejer.

Strogatz y Watts imaginaron dos sociedades extremas posibles. La primera está fragmentada en grupos de personas que socializan entre sí

* Uno puede crear retículas ordenadas con enlaces que llegan más allá de sus vecinos, pero la tendencia a agruparse sigue existiendo.

pero casi con nadie de otros grupos. Se puede pensar en ejemplos que se aproximen a esta situación. Por ejemplo, las empresas que dominan las vidas de sus empleados proporcionándoles lo que prácticamente se convierte en su única red de contactos sociales, como es el caso de algunas compañías japonesas. Pero Strogatz y Watts encontraron una analogía más básica: el mundo del hombre de las cavernas, que consistía en grupos muy dispersos, cada uno de los cuales compartía una cueva y todas las demás actividades cotidianas y rehuía a los extraños. En tiempos de Thomas Hobbes, muchos campesinos de muchos pueblos vivían así aún. Esa forma de vivir puede representarse en una serie de grafos pequeños muy vinculados internamente pero desvinculados o con muy poca conexión entre sí (véase figura 15.6). No se trata de un grafo ordenado, pero comparte con este tipo de grafos dos propiedades: un elevado nivel de agrupamiento y un largo *charpath*.

Steven Strogatz y Duncan Watts se fueron al otro extremo indagando no en el pasado, sino en el futuro. La novela de Isaac Asimov *El sol desnudo* (1957) retrata una sociedad futura en la que las personas interactúan casi totalmente a través de robots y ordenadores. En Solaria es tan fácil y probable forjar una relación con alguien que vive en el otro extremo del mundo como entablarla con un vecino. Estas amistades virtuales han llegado a ser tan débiles y superficiales que cada nueva relación se establece con total independencia de las que ya existen: en esa sociedad, todo el mundo está igualmente disponible y accesible. La consecuencia es una red que básicamente se correspondería con un grafo aleatorio y en la que no hay agrupamientos. Algunas redes sociales son ya un poco así; por ejemplo, las que se forman en los chats de Internet, donde las personas entran y salen casi al azar porque su inversión personal en los enlaces que establecen es en realidad muy poca.

Strogatz y Watts describieron las diferencias entre el mundo del hombre de las cavernas y Solaria considerando que la probabilidad de que dos personas se conozcan depende del número de amigos mutuos que tengan. En el mundo cavernario es prácticamente seguro que dos personas que compartan un amigo sean amigos, porque compartir un amigo significa, casi invariablemente, que se pertenece al mismo grupo. En Solaria, dos personas con un número todavía mayor de amigos íntimos no tienen mayor probabilidad de convertirse en amigos de las que tienen de iniciar una amistad con otra persona cualquiera.

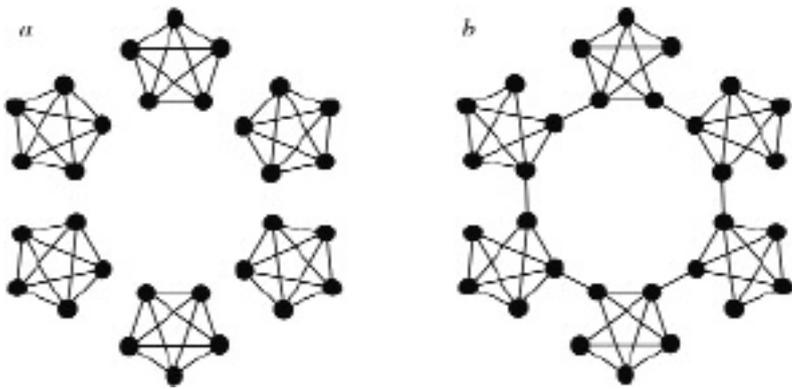


Figura 15.6. En “el mundo del hombre de las cavernas”, (a) las personas forman grupos sociales estrechamente vinculados, pero aislados los unos de los otros. Incluso si el grafo se relaciona formando enlaces entre las “cavernas” (b), la longitud media de las trayectorias es corta.

Presumiblemente, nuestro mundo real se encuentra en algún lugar entre ambos extremos. Pero, ¿dónde? La matemática demanda que todo grafo que se emplee para reproducir las redes sociales debe estar totalmente conectado. Si no lo está, habrá vértices que sean completamente inaccesibles para otros, lo cual hace que la longitud media de las trayectorias llegue a infinito, lo cual no es realista en absoluto. De modo que Strogatz y Watts idearon un método para convertir un grafo totalmente conectado y ordenado (comparable al mundo totalmente conectado del hombre de las cavernas) en un grafo totalmente ordenado pero aleatorio (como el universo de Solaria), siguiendo unos pasos que siempre se alejan de los grafos totalmente conectados a un nivel intermedio. A esto se le llama “recableado aleatorio” (*random rewiring*). Se empieza con una retícula ordenada y se escoge un vértice al azar. A continuación se escoge al azar una de las aristas que la conectan, se la desconecta de su destino y se la vuelve a conectar (*recablear*) a otro vértice del grafo que también se ha escogido al azar (véase figura 15.7). A medida que el recableado progresa se van creando más y más atajos que conectan partes lejanas del grafo directamente y el grafo se hace cada vez más aleatorio.

Los investigadores optaron por comenzar con el grafo ordenado más sencillo que se les ocurrió: un anillo de vértices. (Un anillo de vértices es

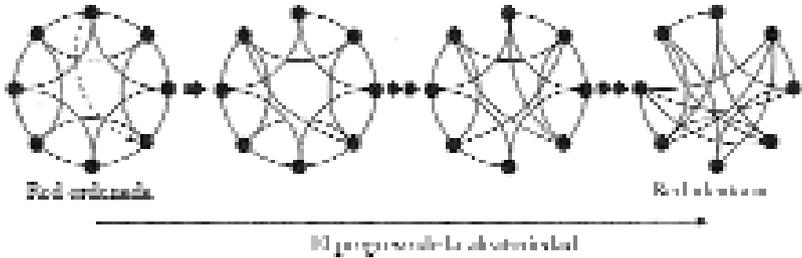


Figura 15.7. El recableado aleatorio de un anillo de vértices hace que, gradualmente, un grafo ordenado se vaya convirtiendo en un grafo aleatorio. En algún lugar entre ambos extremos se encuentra el universo que nos hace exclamar “¡qué pequeño es el mundo!”.

mejor que una hilera porque elimina las anomalías de los extremos.) Empezaron a recablear estos grafos y observaron qué ocurría con ciertos rasgos topológicamente determinados: la longitud media de las trayectorias de longitud l y el nivel de agrupamiento, que pueden medirse como una cantidad numérica expresada en c .^{*} La cantidad de recableado puede cuantificarse por la probabilidad de que un vértice escogido al azar haya sido recableado a partir de su configuración inicial. Cuando esta probabilidad sea cero, el grafo es una red perfectamente ordenada (anillo). Cuando la probabilidad es uno, el grafo es totalmente aleatorio.

Como cabría esperar, tanto l como c decrecen cuando la cantidad de recableado aumenta: la retícula ordenada pierde su capacidad de agrupamiento pero se forman más atajos. Sin embargo, nos encontramos con tres sorpresas. En primer lugar, casi toda la acción se produce en

^{*} C viene definido como el promedio para todos los vértices del número de aristas que salen de un vértice v dividido por el número total de posibles aristas que hay alrededor de v . Es una respuesta cuantitativa a la siguiente pregunta: de todas las formas posibles de unir los vértices que hay en los alrededores de v , ¿cuántas se concretan realmente? Que el coeficiente de agrupamiento c sea alto significa que la mayoría de las conexiones potenciales alrededor de un vértice v se concretan: el agrupamiento es alto. Es decir, en una red de amistades donde c es elevado, es muy posible que los amigos de uno se conozcan entre sí.

los primeros recableados. Cuando uno de cada diez vértices está recableado, las propiedades del grafo no se distinguen de las de un grafo aleatorio. En segundo lugar, el paso de un grafo casi ordenado a un grafo casi aleatorio es bastante brusco; Watts lo compara con una transición de fase de la física estadística. Es como si el grafo ordenado, o *sólido*, se licuara, pasando al grafo desordenado, *licuado*. Finalmente, l y c no cambian simultáneamente, sino en diferentes etapas del proceso de recableado (véase figura 15.8).

Esta última observación parece verdaderamente extraña. La longitud media de las trayectorias l cae en picado a un valor típico de un grafo aleatorio mientras que el grafo todavía conserva un elevado grado de agrupamiento (un elevado c). A continuación, después de que el recableado siga avanzando, c también desciende a toda velocidad. Así que, para un pequeño abanico de recableados, el grafo tiene una l pequeña pero un c grande. La coexistencia de estos dos rasgos es lo que hace de una red un pequeño mundo. El pequeño mundo de los círculos de amistad, por ejemplo, tiene un grado de agrupamiento elevado pero entre los grupos hay numerosos atajos. Este hecho acorta mucho la distancia media entre los vértices y es el responsable de nuestros “seis grados de separación”. Por eso Steven Strogatz y Duncan Watts denominaron a los de este tipo, grafos “qué pequeño es el mundo”.

¿NOS CONOCEMOS?

¿De verdad se parecen las redes sociales del mundo real a los grafos “qué pequeño es el mundo” creados por recableado aleatorio? Es decir, ¿pueden Strogatz y Watts *demostrar* “lo pequeño que es el mundo” y, por lo tanto, disuadirnos de recurrir a ese tópico cada vez que, en una fiesta, nos percatamos de relaciones previamente insospechadas?

Pese a su aparente frivolidad, la red película-actor sigue siendo uno de los mejores bancos de pruebas de esa teoría porque ofrece muchos datos en absoluto ambiguos y de los que se puede disponer con facilidad. Gracias al juego de Kevin Bacon sabemos que esta red tiene un corto *charpath* l (el número medio de Kevin Bacon es bajo), y no hace falta estudiarla a fondo para darse cuenta de que el nivel de agrupamiento es elevado. Por ejemplo, los actores de la misma nacionalidad tienden a formar

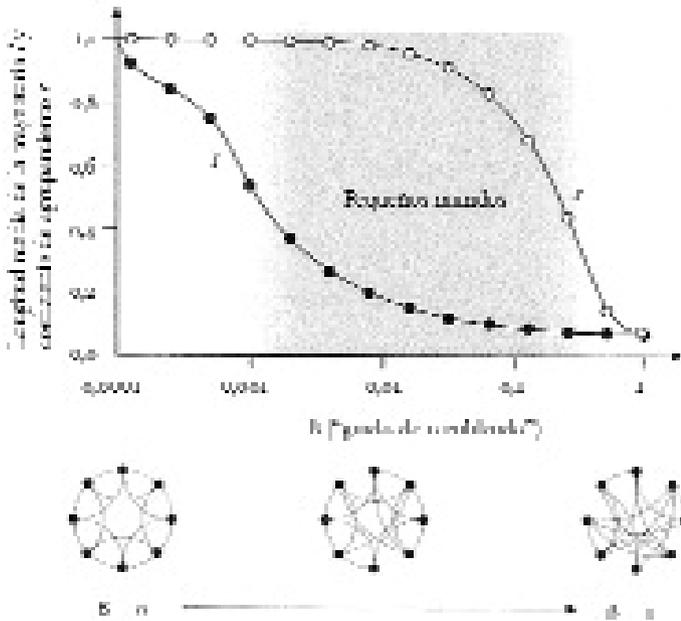


Figura 15.8. La longitud media de las trayectorias l y el coeficiente de agrupamiento c de un grafo con forma de anillo recableado cambian bruscamente a medida que se produce el recableado. Aquí, la cantidad β es, básicamente, una medida de la cantidad de recableado. Adviértase que la escala del eje horizontal es logarítmica, lo cual significa que los valores pequeños de β están *estirados*. Debido a ello, es más fácil seguir los cambios en l , que ocurren sobre todo en los primeros pasos del recableado. l y c tienen valores elevados en el grafo ordenado y reducidos en el grafo aleatorio. Pero no cambian en el mismo momento. Los grafos donde c es alto y l bajo son grafos “qué pequeño es el mundo”.

parte del mismo grupo y los grupos de distinta nacionalidad suelen estar vinculados por algunos *ejes* interculturales como Bruce Lee (Hong Kong), Gérard Depardieu (Francia) o Gong Li (China).

Desde este punto de vista, la red película-actor tiene propiedades compatibles con los grafos “qué pequeño es el mundo”. Pero, ¿qué hay de la tipología de esa red? Se puede establecer algún tipo de comparación definiendo una cantidad llamada “parámetro de contracción de los vértices”, que mide cuántos atajos hay en la red entre vértices muy separados. Es un número que puede calcularse para cualquier red y que se incrementa

para los grafos circulares a medida que, progresivamente, se van recableando. Steven Strogatz y Duncan Watts construyeron una red *pequeño mundo* en la que el parámetro de contracción de los vértices era el mismo que en la red película-actor. De este modo, al menos supuestamente, la tipología de ambas redes tenía que ser comparable. Así que la cuestión es de qué forma las dos redes son comparables en lo que respecta a la longitud l de su *charpath* y a su parámetro de agrupamiento c .

Es una buena comparación. Ciertamente, el modelo recableado puede reproducir los parámetros de la red película-actor con mayor fidelidad de lo que puede hacerlo la red de los hombres de las cavernas o la red de Solaria. Pero, no obstante, debemos preguntarnos si no habrá otra alternativa. Es decir, ¿es el plan de recableado la única manera de formar una red con las propiedades de los grafos “qué pequeño es el mundo” (baja l y alto c)? Es lo que veremos en el próximo capítulo.

Y qué hay de esa pregunta candente: ¿es Kevin Bacon el centro del universo cinematográfico? Para responder a esta pregunta hay que calcular el número de Bacon medio de toda la red y compararlo con el número medio de otros actores: el número de Elvis, el número de Bogart, el número de Brando, etcétera. Si Kevin Bacon es realmente la encrucijada más importante de la red película-actor, de media, todos los demás actores estarán más cerca de él que de cualquier otro.

Pero resulta que Kevin Bacon no sólo no es el eje más importante de la red, sino que ni siquiera se encuentra entre los mil más importantes (por supuesto, la lista cambia cada día, a medida que se hacen nuevas películas). En el momento en que redacto estas líneas, en lo más alto de la lista se encuentra Rod Steiger (el número medio de Steiger es 2,652), seguido de Christopher Lee, Dennis Hopper, Donald Pleasance y Donald Sutherland (que aparece en la versión cinematográfica de *Seis grados de separación*). Marlon Brando es el número 202, Frank Sinatra el 443. Para cuando llegamos a Kevin Bacon, los números de actor sucesivos se encuentran, de media, separados por una diferencia minúscula: en torno a 0,0001.

Así que, ¿por qué inventaron el juego de Kevin Bacon y no de cualquier otro actor? En la respuesta está la esencia del concepto “qué pequeño es el mundo”: en este tipo de redes, *todos* parecen encontrarse en el centro. Algunos están más en el centro que otros, pero por poco. Incluso actores relativamente menores como Eddie Albert tienen un estatus com-

parable al de las grandes estrellas. (Donald Pleasance era un buen actor, pero no una estrella.) Este mensaje tiene algo refrescantemente igualitario. Si las redes sociales guardan algún parecido con el grafo actor-película –lo cual, como veremos, es una hipótesis muy razonable–, no hay por qué contemplar con envidia a los pocos que parecen representar a la camarilla de nuestros círculos sociales, ni lamentarnos por tener pocos amigos. Porque, al final, se trata, sencillamente, de considerar la red que nos vincula a todos desde la perspectiva más adecuada.

Pero esta historia tiene un epílogo. En 2003, Duncan Watts (que se había trasladado a la Universidad de Columbia) y sus compañeros reeditaron el experimento clásico de Stanley Milgram, pero esta vez valiéndose no del correo convencional sino del electrónico. Pidieron voluntarios para tomar parte en su proyecto y les llovieron los ofrecimientos: 61.168 individuos de ciento sesenta y seis países. A cada uno de esos participantes le asignaron una persona objetivo a quien había que enviar un mensaje de correo electrónico. Se establecieron dieciocho objetivos de trece países distintos: desde un profesor universitario de una de las universidades más importantes de Estados Unidos a un archivero estonio y a un cirujano veterinario militar noruego. Las reglas eran parecidas a las que puso Milgram: los participantes tenían que enviarle un mensaje a un amigo, conocido o compañero de trabajo, que, en opinión del participante, fuera la persona más *próxima* al objetivo designado.

Al final, no fue una buena forma de entregar el correo. Abandonaron el sesenta y tres por ciento de los participantes, lo cual, sin embargo, no estaba mal para un estudio realizado por Internet y, además, 24.163 participantes sí empezaron su respectiva cadena. Pero sólo trescientos ochenta y cuatro mensajes alcanzaron su objetivo. Las cadenas completas tenían un promedio de sólo cuatro pasos –un número que falseaba la realidad, porque las cadenas más cortas tenían mayores probabilidades de completarse–. Teniendo en cuenta el nivel de desgaste, Watts y sus compañeros calcularon que la longitud media de las cadenas estaba entre los cinco y los siete pasos –la misma que había deducido Stanley Milgram, aunque su experimento se circunscribiera a Estados Unidos–. Esto alimenta la idea de los seis grados de separación, pero de ello no necesariamente se deduce que en el pequeño mundo en el que vivimos el contacto entre personas sea eficiente. Los investigadores determinaron que pocas de las personas que se descolgaron de la cadena lo hicieron

porque no se les ocurrió nadie adecuado a quien enviar el mensaje. Simplemente, perdieron el interés. ¿Qué ganaban ellos?

Y sin embargo, en el caso de uno de los objetivos, el índice de desgaste fue significativamente menor que en los demás: el catedrático estadounidense. ¿Significa eso que tenía mejores contactos y que, por lo tanto, resultaba más fácil dar con él? Probablemente no, afirman Watts y sus compañeros, que calculaban que su grado de separación no difería mucho del de los demás objetivos. Pero más de la mitad de las personas que participaban en el proyecto eran profesionales de clase media con formación universitaria y estadounidenses. Los miembros de la cadena que se dirigían al profesor probablemente creyeron que sería más fácil que el mensaje llegara al profesor que, por ejemplo, a un consultor de la India. Esa creencia les dio ese extra de motivación que les instó a seguir la cadena.

Dicho de otro modo, afirman los investigadores, no todo consiste en la estructura del entramado social. Que el hecho de que el mundo sea *tan pequeño* pueda aprovecharse para hacer contactos depende de las acciones, e incluso de las percepciones, de las personas que lo pueblan: lo cual constituye un oportuno recordatorio de que la física social no puede permitirse prescindir por entero de la psicología del individuo.