

# **Redes sociales y complejidad: Modelos interdisciplinarios en la gestión sostenible de la sociedad y la cultura**

**Carlos Reynoso**

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

<http://carlosreynoso.com.ar>

Versión 6.02.04 – Febrero de 2011

1 – Presentación: La antropología en la era de las redes .....	2
2 – Especificación epistemológica .....	11
3 – Redes, una vez más.....	17
4 – El momento fundacional: La teoría de grafos .....	26
5 – De grafos a sociogramas: La Sociometría y la primera Escuela de Harvard.....	61
6 – Redes aleatorias: Posibilidades y límites del azar .....	80
7 – Redes en antropología: De la Escuela de Manchester a Bruno Latour.....	100
8 – Análisis micro, macroestructuras y la fuerza de los lazos débiles .....	120
9 – Travesías por mundos pequeños.....	130
10 – Redes IE: Complejidad, fractalidad y principio de San Mateo .....	139
11 – Más allá del ruido blanco: Ley de potencia y análisis espectral .....	151
12 – Las redes complejas del lenguaje y el texto .....	175
13 – Clases de universalidad: Claves de la transdisciplina.....	193
14 – Criticalidad auto-organizada, epidemiología y percolación .....	206
15 – Algoritmos evolucionarios: Gestión sostenible de problemas intratables .....	222
16 – Redes espaciales: Grafos para una antropología del paisaje y la ciudad compleja .	237
17 – Parentesco: De la pérdida del modelo a las nuevas técnicas reticulares.....	280
18 – Metacrítica: Alcances y límites de la teoría de redes (y de la complejidad).....	308
19 – Conclusiones .....	321
Referencias bibliográficas.....	336
Referencias tecnológicas .....	402

# **Redes sociales y complejidad: Modelos interdisciplinarios en la gestión sostenible de la sociedad y la cultura**

**Carlos Reynoso**

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

<http://carlosreynoso.com.ar>

Febrero de 2011

## **1 – Presentación: La antropología en la era de las redes**

A partir del momento que los diversos aspectos de la vida social (económicos, lingüísticos, etc) se expresen como relaciones, queda abierto el camino para una antropología concebida como una teoría general de las relaciones, y para un análisis de las sociedades en términos de rasgos diferenciales característicos de los sistemas de relaciones que las definen.

Claude Lévi-Strauss (1973: 88)

En las puertas del siglo XXI las teorías de redes, ya de antigua data en sociología y antropología, devinieron al fin complejas, caóticas, dinámicas y no lineales en el sentido técnico de las palabras. Un encadenamiento de nuevas ideas trajo aparejada una visión distinta y hasta capacidades impensadas de gestión. Métodos y objetivos imposibles de implementar pocos años antes se volvieron no sólo viables sino moneda común en la virtual totalidad de las disciplinas: dar cuenta del cambio complejo y la morfogénesis, disponer de teorías sobre transiciones de fase y procesos adaptativos, comprender un poco mejor la emergencia, indagar fenómenos sociales de sincronización, diseñar algoritmos para encontrar comunidades en redes de gran porte, modelar nexos entre el micro y el macrónivel o entre la cognición, el espacio y la organización social, tratar analíticamente y gráficamente estructuras de miles o millones de elementos, pasar de la angustia existencial de la prueba de Gödel a las heurísticas positivas de la teoría de la NP-completitud, disponer de un modelo matemático tratable a la altura de muchas de las complicaciones de la vida real, desarrollar heurísticas de trabajo en condiciones de conocimiento incompleto y estrategias de intervención y compromiso en fenómenos cuyas leyes, si las hay, se sabe que nunca serán por completo desentrañadas (Garey y Johnson 1979; Boccaletti y otros 2006; Strogatz 2003; Bunke y otros 2007).

En los tiempos que corren están surgiendo teorías reticulares de la evolución y modelos en red de la genómica, de los orígenes de la vida, los espacios urbanos, el lenguaje, la cultura, la música, los textos, las funciones biológicas, las enfermedades humanas y hasta la actividad cerebral desvelada por la neurociencia y por una ciencia cognitiva renovada desde la raíz (Bornholdt y Schuster 2003; Wuchty, Oltvai y Barabási 2003; Catani, Jones y ffiche 2004; Green 2008; Agosta y otros 2009; Blanchard y Volchenkov 2009; Dehmer y Emmert-Streib 2009: 48; Vannest y otros 2009; Ghosh y otros 2010). Aunque subsiste el prejuicio de siempre hacia las ciencias humanas, ante la epifanía mediática de la Red de Redes y la floración de un mundo proliferante de tribus digitales, y tras un puñado de dramáticas demostraciones del impacto de los mecanismos reticulares sobre diversos acontecimientos políticos en el plano global, las redes sociales están definitivamente integradas a las nociones que a diversos niveles de abstracción estudian matemáticos e investigadores en las disciplinas más diversas. En los cuarteles más duros de las ciencias duras los requerimientos formales, las nomenclaturas y los hallazgos empíricos de los analistas de redes sociales han ganado una modesta pero perceptible respetabilidad.

En este contexto es palpable que éste no es el mejor momento para que una disciplina como la antropología se desentienda de estas circunstancias y se refugie en su especificidad, menos aun cuando su objeto ha dejado de ser lo que alguna vez se creyó que era y el papel de la disciplina en el conjunto de las ciencias (y el monto de la financiación y del respaldo social que merece) está necesitado de una justificación concluyente. Es aquí donde los desarrollos teóricos e instrumentales vinculados a redes pueden ofrecer una oportunidad inédita para restablecer relaciones muy concretas con otras disciplinas, para recuperar incumbencias que habíamos abandonado y para incorporar un campo de desarrollos complejos que serían tal vez más tortuosos de integrar si se intentaran otros caminos.

En consonancia con ese escenario, el objetivo de esta presentación es demostrar la viabilidad, el alcance y la relevancia radical de ese enfoque, haciendo palanca en esta demostración para armar una visión de los aspectos esenciales de las teorías de la complejidad de cara a la antropología. Más allá de las redes y de la complejidad en general, la argumentación se articulará en torno del análisis de redes sociales (en adelante ARS), el cual constituye, se halle o no de por medio alguna variedad de herramienta compleja, un tema de alta importancia en nuestras ciencias que debería ser no tanto redimido como reformulado. Por más que las redes sociales y el ARS han de estar permanentemente cerca del foco, otras formas y procesos reticulares de la sociedad y la cultura lo estarán también, junto con los fundamentos lógicos, matemáticos o computacionales de los formalismos que se han elaborado en torno suyo.

No ha de ser lo que sigue entonces una introducción a la teoría de redes ni a la de la complejidad, ni una guía de usuario de los programas de computadora que materializan a una y a otra, ni una artimaña para mecanizar o matematizar la disciplina, ni una tabla de correspondencias entre las nuevas categorías reticulares que han surgido y los conceptos de antropología social que conviene resucitar, sino más bien un análisis sistemático de las consecuencias epistemológicas que emanan del encuentro de esas dos corrientes y de la significación de sus consecuencias sinergéticas para la disciplina y áreas colindantes.

Al lado de eso, el texto interroga con más espíritu de operatividad que de pedagogía las consecuencias disciplinares específicas de varias técnicas contemporáneas que bien podrían ser otras (algoritmo genético, modelado basado en agentes, gráficos de recurrencia, geometría fractal, autómatas celulares, gramáticas recursivas) pero que aquí serán centralmente las redes y los grafos. Se aprovechará el trazado de una visión estratégica para identificar lo que percibo como un conjunto sistemático de implicaciones, desafíos o lecciones prácticas y epistemológicas acarreadas tanto por la teoría de redes como por la perspectiva compleja, y sobre todo por la complementación de ambas. De hecho, esa teoría y esta perspectiva se han tornado cada vez más convergentes y puede decirse que juntas han llegado a ser mucho más que la suma de sus partes.

En cuanto a las lecciones a las que hice mención, ellas ponen en tela de juicio algunos de los estereotipos y metarrelatos antropológicos y epistemológicos más arraigados, lo cual ofrece alguna utilidad al investigador que se aventure a leer este texto más allá que adopte o no en el futuro un marco conceptual ligado a la complejidad o a alguna técnica reticular y más allá que sea antropólogo o que ejerza alguna otra profesión científica. En este sentido, el conjunto de los corolarios que cierran cada capítulo constituye el núcleo de la hipótesis de trabajo que vertebría la tesis, centrada en la convicción de que existen sustentos firmes, a ser demostrados y señalados con claridad y distinción, para repensar en base a heurísticas positivas una parte sustancial de la teoría antropológica y de las ciencias sociales, invitaciones históricas a su re-pensamiento incluidas.

En otras palabras, la idea es no sólo demostrar que las redes y la complejidad aportan una herramienta de un carácter cuya necesidad es palpable, sino organizar los aspectos formales de la narrativa de modo que quede plenamente expuesto el hecho de que ambas establecen por un lado la posibilidad y por el otro la necesidad de fiscalizar viejas y nuevas estrategias disciplinarias desde la mera raíz, sea ello debido a los caminos que se abren, a las oscuridades que se aclaran o a los mitos que se caen.

Igual que en otros textos de heurística que he escrito en los últimos años, aquí considero que las técnicas son contingentes y que no deberían ser un fin en sí mismas. Casi siempre han venido a caballo de tecnologías cada vez más poderosas pero de muy rápida obsolescencia en lo que cuadra a sus implementaciones. No por ello cabe secundarizarlas, sin embargo, pues al lado de su frecuente fealdad, de la fugacidad de los estándares y de sus aristas de fuerza bruta en materia de análisis, cálculo y representación, en un nivel más genérico las técnicas proporcionan una buena medida de esclarecimiento tanto cuando los modelos funcionan como cuando no lo hacen. Frente a problemas cuya complejidad torna imperativa su instrumentación, es a través de ellas que las argumentaciones ligadas a la teoría o a la estrategia de cobertura (sea esta última formal o discursiva) afrontan la prueba más ácida de todas.

Es que en los últimos tiempos ha habido, sin duda, un reacomodamiento de las jerarquías epistemológicas. Son ahora las grandes teorías al modo clásico (monológicas, personalizadas, panópticas, enciclopédicas) las que encuentran más ardua su pretextación. Sobre todo con el advenimiento de posibilidades de modelado antes inéditas, las técnicas ya no son ciudadanas de tercera por debajo del prestigio de las teorías y los métodos, sino ele-

mentos del ciclo operativo que bien pueden impactar recursivamente en la teoría, o revelar la sustentabilidad de una línea de razonamiento antes reputada imposible, o la intratabilidad de un problema que en el plano teórico luce de resolución trivial. Por añadidura, mientras que las técnicas experimentaron hace poco su mayor transición histórica a impulsos de una tecnología cuyo progreso se acelera en progresión exponencial, para las teorías todo sigue siendo tan artesanal, reposado y contemplativo como siempre. Pese a que ni siquiera existe una normativa que sistematice cabalmente ese campo, hoy en día *bloggers* y *nerds* en plena adolescencia realizan en base a la praxis de sus redes egocéntricas o a sus tecnologías de garage operaciones de gestión en la vida social a escalas que los consultores y teorizadores de hace pocos años habrían juzgado impensables y de maneras que ninguna ciencia de la comunicación alcanzó a predecir (Kelsey 2010).

La técnica misma, por otro lado, puede constituir un límite o ponerlo de manifiesto: ciertos procedimientos analíticos, procesos reticulares y desarrollos algorítmicos en geometría computacional que se requieren en una u otra fase de un razonamiento podrían ser duros o imposibles de resolver en tiempo polinómico (Davidson y Harel 1996: 301; Tamassia 1997; 2000: 952-957).<sup>1</sup> No es necesario afrontar inmensos repositorios de información o modelos con multitud de parámetros, o llegar al plano de las sociedades (mal) llamadas complejas para encontrar estos escollos; el espacio de fases de la combinatoria inherente a una red de unos 100 elementos con grado 2 o 3 es ya suficientemente ultra-astronómico a los usos prácticos. Un anillo de Kula con veinte puertos de escala alberga una cifra de 1.155.620.000.000.000 trayectorias diferentes posibles, número que es un poco más alto de lo que para simplificar llamaríamos un trillón. Y aunque dudosamente sume más que una cincuentena, determinar cuánta gente debe concurrir a una asamblea para que sea inevitable la existencia de dos cliques en péntada (dos grupos de cinco personas que comparten o no una característica) está fuera de las posibilidades humanas o computacionales de cálculo.

Algunas redes de envergadura modesta, en fin, se pueden concebir intelectualmente (en principio) y hasta visualizar de manera aceptable, pero no se podrán poner a prueba, gestionar de manera óptima o analizar exhaustivamente jamás. Ante estos hechos, ya puede comenzar a ponerse en duda que el uso de técnicas cada vez más refinadas o innovadoras o el progresivo desarrollo de la ciencia implique alguna *simplificación* del conocimiento, como a la que muchos de mis colegas han intentado acercarse infructuosamente a través de las redes. Más bien al contrario: en algunos entornos de trabajo (ORA Network Visualizer, por ejemplo) un análisis reticular de un grupo humano diminuto arroja varias docenas de páginas de diagramas y datos cuantitativos en letra pequeña y un potencial intermi-

<sup>1</sup> Existen varios órdenes de tiempo requeridos para ejecutar la resolución de un algoritmo. El tiempo polinómico denota una complejidad algo mayor a la intermedia en una escala que va desde el tiempo constante hasta el doble exponencial, pasando por el tiempo logarítmico, el lineal, el cuadrático, el cúbico, [el polinómico], el exponencial y el factorial, entre otros. Un tiempo constante se necesita para determinar, por ejemplo, si un número es par o impar. Un tiempo logarítmico se requiere para ejecutar una búsqueda binaria (p. ej. el juego de las veinte preguntas). El tiempo polinómico cubre en realidad un amplio rango de tiempos, tales como los implicados por las operaciones  $n$ ,  $n \log n$  o incluso  $n^{10}$  (van Leeuwen 1990: 67-162; Hopcroft, Motwani y Ullman 2001: 413-468; Sipser 2006: 247-302).

nable de simulaciones dinámicas: un laberinto de problematicidades escondidas mucho más intrincado que el que se creía tener antes de ponerse a trabajar.

Mientras tanto, el crecimiento exponencial de las técnicas ha definido un amplio espacio de maniobra, acaso el más intenso y el más difícil de cooptar que hayamos tenido jamás entre manos, al lado de un creciente caudal de conceptos pendientes de coordinación con nuestras categorías disciplinares. Cada vez con mayor frecuencia hallamos pautas en el océano de datos o en el comportamiento diacrónico del objeto, o encontramos medidas que acaso sean tipológica o estadísticamente significativas, para las cuales ni nuestros marcos de referencia han previsto nombres ni nuestras viejas teorías esperaban que llegaran a existir. Por eso es que no se puede ni afirmar ni negar de antemano que las muchas signaturas o valores numéricos, cualitativos o imaginarios que aquí y allá se ven covariando o bifurcándose de manera inesperada correspondan a nociones de relevancia sociocultural que convendría acuñar, o a patrones de comportamiento discursivamente referenciables a descubrirse alguna vez.<sup>2</sup> No ha habido tiempo para investigarlo; quizá no se lo sepa nunca. Pero algo queda. A escala de semanas se van proponiendo nuevas exploraciones en la naturaleza y en la estructura interna de todos los sistemas susceptibles de representarse reticularmente, las cuales revelan no pocas invariantes, claves o interrogantes hasta hace poco ignorados de la organización social, el pensamiento, el lenguaje, la cultura y sus artefactos.

En los intersticios de la ejecución de los objetivos antedichos procuraré señalar aquí y allá algunas perspectivas que pasan por ser complejas, pero que no han ofrecido, en un cuarto de siglo, herramientas de parecido nivel de compromiso y potencial de cambio. La frecuencia y la prioridad de esta demarcación será muy baja, pues el propósito no es promover una crítica metódica ni dictaminar una zona de exclusión; la idea es más bien marcar un contraste entre lo que hay y lo que podría haber por poco que uno se aventure más allá del confinamiento intradisciplinario que ha sido la norma en las tres últimas décadas y al que esas doctrinas,<sup>3</sup> con sus discursos autorreferenciales y autoindulgentes que bordean con (o que se han precipitado en) el constructivismo radical o la deconstrucción de sus propios instrumentos, han terminado homologando.

<sup>2</sup> Como escribió alguna vez Woody Allen: “La respuesta es sí, pero ¿cuál es la pregunta?”. Una idea semejante aparece en la insólita *Hitchhiker’s Guide to the Galaxy* de Douglas Adams (1979). Allí aprendemos que la respuesta definitiva es exactamente “42”; pero, por desdicha, cuál podría ser la pregunta es todavía materia de debate. O por mucho me equivoco, o en la exégesis metodológica del ARS (sobre todo en la línea estadística de Wasserman y Faust [1994] y en la vanguardia exploratoria del análisispectral) algunas veces se tocan los linderos de una hermenéutica parecida aunque con muchos más decimales de precisión. Ahora bien, estas respuestas huérfanas de pregunta no son privativas del tecnologismo en general o de las técnicas de redes en particular. A veces se las ve florecer en las investigaciones humanísticas más descriptivas; tal ha sido el caso, por ejemplo, de las etnografías crepusculares de la musicóloga Frances Densmore, quien calculaba cifras para las que nunca nadie pudo imaginar algún uso (Reynoso 2006b: 33-38), o del análisis geoespacial y las estadísticas de GIS que yo mismo he llegado a practicar (Reynoso y Castro 1994).

<sup>3</sup> Me refiero a los paradigmas de la complejidad de Edgar Morin o de Fritjof Capra, a la autopoiesis, el constructivismo radical, la cibernetica de los sistemas observadores y la investigación social de segundo orden, la concepción posmoderna de la complejidad e incluso (aunque no tan de plano) a la teoría del Actor-Red del prestigioso Bruno Latour (2005). Véase Reynoso (2006: 112-160, 174-192) y Reynoso (2009).

Más prioridad que eso tendrá el esfuerzo por vincular dos territorios (la antigua teoría de redes manchesteriana y la nueva ciencia de las redes independientes de escala) que hasta el día de hoy siguen sin integrarse como debieran. Pienso que ésta es una forma de ligar lo que pasa por ser una aventura circunstancial, mal conocida y ya olvidada de la historia antropológica con el estado de arte de la práctica en un plano actual, complejo y transdisciplinario. Al mismo tiempo, creo, esta podría ser una estrategia digna de ser reutilizada para poner en valor un fragmento sustancial del patrimonio de una disciplina que ha sido órdenes de magnitud más creativa y rigurosa en materia de técnicas y teorías de lo que ella misma se atreve a aceptar. En el trámite no me limitaré a las redes cuyo objeto es estrictamente social, sino que abordaré a la luz de la capacidad integradora de los conceptos reticulares una amplia gama de temáticas relacionales en las que podría estar envuelto un antropólogo.

Esta integración tiene sin embargo un límite no negociable en lo que ataña a los estudios de casos. El texto hará mención sucinta de esos estudios cuando resulte útil, pero no se distraerá en su crónica detallada, ni llevará adelante uno, ni enumerará una cantidad significativa entre los muchos que hay, ni buscará culpar a nadie por la existencia de innumerables áreas de vacancia. No será mencionado ni un solo caso que no aporte un descubrimiento o un constreñimiento teórico por encima de cierto umbral de significación. La idea es articular un texto de reflexión teórica y epistemológica, acaso uno de los primeros en su género en este campo, concentrando toda la energía en ese empeño; los estudios de casos ya han tenido y seguirán teniendo su lugar en una bibliografía más masiva de lo que se necesita para probar si un principio metodológico es productivo o si es una moda sin sustancia. Las contiendas polémicas (si de eso se trata) no se deciden ni por empeño retórico ni por escrutinio: ni una enumeración aluvional de casos exitosos persuadirá al escéptico, ni una nómina escrupulosa de los casos fallidos disuadirá al adepto.

Mantener una cierta distancia de los tópicos, modos y casos canónicos de la disciplina ayudará a establecer una pauta de trabajo que no puede ser sino transdisciplinaria. La clausura disciplinaria ayuda a mantener firme el foco pero impone una visión de túnel y es miope casi por definición; aquí sostengo en cambio que mirar un poco más allá de los linderos involucra un esfuerzo que jamás será menguado pero que siempre resultará aleccionador si lo que se pretende hacer ha de calificar como antropología.

Echando esa mirada se aprende que la antropología y la sociología, por ejemplo, no sólo difieren en el mayor o menor extrañamiento que infunden a su objeto, o en el entorno cultural en que se desenvuelven, o en la escala del asunto que les ha tocado en suerte, o en el desarrollo dispar de las teorías de redes en sus respectivos ámbitos. La diferencia es de mayor cardinalidad y ataña a la naturaleza de las estrategias que han cristalizado en ellas, y acaso a su valor mismo. Mientras que los hitos fundamentales de nuestra disciplina casi siempre tienen que ver con casos singulares (Redfield-Lewis-Foster, Murngin-Kariera-Purum, Radcliffe-Brown [o Evans-Pritchard] vs Malinowski, Mead vs Freeman, Sahlins vs Obeyesekere, las abominaciones del Levítico, la riña de gallos, el pangolín, los Pirahã), los de la sociología se refieren más bien a principios de organización universales (los seis

grados de separación, la fuerza de los lazos débiles, las transiciones de fase, la ubicuidad de la ley de potencia, las relaciones escalares entre las partes y el todo).

Aquí se optará sin componendas por esta segunda tesis, aunque sea otra la que la corporación promueve. Es entonces aquella reflexión teórica y epistemológica de la que hablaba y no la tentación particularizadora del bongo-bongoísmo (Douglas 1978: 17) lo que el estudio que sigue reclamará como su registro primario. No se trata sin embargo de volver a andar los caminos de la sociología, ni de replicar sus hazañas y sus errores. Será la de volver a situarnos en el nivel más general posible la aspiración en la que se convergerán los esfuerzos: un objetivo tan legítimamente antropológico, si se lo piensa bien, como el de priorizar el respeto más hondo hacia la especificidad de lo singular.

A los casos me estaba refiriendo y vuelvo a ello: dado que me estaré concentrando en una inflexión por completo nueva (incluso en sus percepciones de la tradición disciplinar), los casos que refrenden lo que aquí se propone no serán tanto los que jalonen la historia conocida como los que se podrían elaborar de aquí en más. Del mismo modo, las manifestaciones de la diversidad y las formas peculiares con que sujetos, objetos y culturas asumen sus papeles no serán negadas sino más bien interpeladas (con tanta o más intensidad que en la *thick description*) a escalas de detalle y desde enclaves que no se pensaba que fueran posibles de alcanzarse, o no se pensaban en absoluto.

Entre la cohorte de demostraciones paralelas que acompaña a la ejecución de los objetivos principales he concedido especial prioridad al señalamiento de posibilidades de innovación que se constituyen merced a capacidades formales antes inconcebibles. Así como en la Argentina las efemérides patrióticas no celebran el nacimiento de los próceres sino que rememoran los días de sus muertes, en ciencias sociales (y aquí el ejemplo de Edgar Morin es paradigmático) ciertos pensadores han hecho hincapié en los caminos que se han cerrado para las ciencias sociales debido a la demostración de determinadas conjeturas y teoremas en las ciencias básicas, con el teorema de Gödel, la teoría de la relatividad y el principio de indeterminación de Heisenberg a la cabeza. Por ningún lado aparecen referencias a las perspectivas que se inauguran a partir de la demostración de otros teoremas, lemas y corolarios no menos universales, así como de la creación de metaheurísticas capaces de afrontar suficientemente bien situaciones extremas de intratabilidad (indecidibilidad, incertidumbre e incompletitud inclusive). Las teorías de la complejidad y el análisis de redes están atestados de estas instancias, como en seguida se comenzará a demostrar; qué cosa signifiquen y qué alcance tengan será parte primordial de la cuestión. En estricto rigor, la mayor parte de esas demostraciones teoremáticas conciernen más de lleno a las técnicas que a las teorías. El progreso de las ciencias puede ponerse filosóficamente en duda llegado el caso y no es un punto que me interese defender; el progreso de las técnicas matemáticas, en cambio, está más allá de toda discusión. Habrá objetivos que no podrán satisfacerse nunca, y eso es seguro; pero lo que hoy se puede pensar o pensar en hacer no guarda proporción con lo que era el caso (digamos) veinte años atrás en la historia.

Insistiré todo el tiempo en la puesta en contexto, significado y valor de las teorías referidas y en la consulta intensiva de los textos originales, antes que en la vulgata esquemática plagada de errores endémicos y de efectos de teléfono descompuesto que se ha enquistado

en la comunidad de los especialistas y en su periferia (v. gr. Castells 2004; Rosemberg 2006; Zhang 2010). Aunque han comenzado a surgir unos pocos conatos,<sup>4</sup> el análisis de redes todavía no ha generado en torno suyo un tejido cristalizado de elaboraciones metafóricas de bajo vuelo, como el que ha acordonado, casi sitiándolas, a las teorías de la complejidad, la dinámica no lineal y el caos determinista (Reynoso 2006a: 318-328; 2009). Conjeturo que todavía se está a tiempo de prevenir semejante malformación; pero en la medida en que la dificultad de los requerimientos técnicos siga creciendo al ritmo actual, la tentación de las lecturas ligeras y de las fundamentaciones endebles sin duda encontrará oportunidad de propagarse.

También trataré de quebrar el tabú implícito que la antropología ha impuesto en torno de las estrategias de redes. Cuesta creerlo, pero éstas no han sido jamás homologadas en el círculo áureo de las grandes crónicas históricas de la disciplina aunque se originaron sesenta o setenta años atrás en las ciencias humanas o (según afirman al menos seis autores calificados y neutrales) en el corazón de la antropología misma (Wellman 1988: 21-22; Marsden 1990: 435; Kilduff y Tsai 2003: 13; Freeman 2004: 160; Furht 2010: 9). Conjeturo que este silencio se debe a que el formalismo de redes impone aprender no pocos rudimentos de estadísticas, combinatoria, álgebra, topología y geometría, y eso obliga a comprometerse mucho más intensamente en el juego metodológico y en la capacitación técnica de lo que el antropólogo promedio está dispuesto a hacerlo tras casi cuatro décadas de hedonismo hermenéutico y posmoderno. Mi hipótesis en este punto es que si críticos y partidarios dominaran efectivamente esos formalismos (y si de refinar el debate se trata) no habría razones para *no* hablar de la teoría de redes, aunque más no fuese para imputarla, para comprender mejor sus limitaciones o para señalar lo que en ella se debería corregir.

Como sea, es indudable que el análisis de redes sociales ha sido uno de los episodios negados de la historia de la antropología social británica, al menos. Adam Kuper (1973: 173-200) ni siquiera lo nombra en sus referencias a la escuela de Manchester; Richard Werbner (1984) sí lo menciona pero nada comenta sobre ello; y en América Marvin Harris (1978) no les concede un solo renglón. Peor aun, fuera de los textos específicos de redes sociales, los grandes manuales de metodología y técnicas en antropología social y cultural no se ocupan de redes en absoluto o lo hacen con displicencia. Mientras se dedican capítulos enteros a técnicas de probada caducidad o nunca articuladas verdaderamente, las redes, los grafos, el análisis de series temporales y las técnicas transdisciplinarias de reconocimiento de patrones o de descubrimiento de sistemas brillan por su ausencia. El grueso manual de Russell Bernard sobre métodos en antropología cultural dedica a las redes un solo párrafo, tras el cual confunde groseramente la teoría de grafos abstracta con las redes semánticas y otras formas reticulares de representación del conocimiento (Bernard 1998: 621-622). Ni redes ni grafos hallan tampoco cabida en su catálogo de estrategias cualitativas y cuantitativas (Bernard 1995) o en el compendio canónico de métodos de antropo-

---

<sup>4</sup> Véase por ejemplo Deleuze y Guattari (2007 [1980]: cap. I); Capra (1996); Ibáñez (1990); Latour (2005); Kilduff y Tsai (2003); Kilduff y Krackhardt (2008).

logía urbana (Low 1999), hecho que se repite (con una salvedad periférica) en el estudio de Oswald Werner y Joann Fenton (1970) para el denso tratado comparativista pos-murdockiano de Raoul Naroll y Ronald Cohen (1970), obra cumbre y canto del cisne de la antropología transcultural.

Hace diez años la pérdida de la teoría de redes o la falta de una indagación compleja en la antropología hubiera sido una anécdota o un mal menor; pero han sucedido cosas en el campo de la ciencia que hacen que ahora ya no lo sea y es por eso que un estudio como el presente deviene necesario. No tanto porque desagravie una teoría pretérita que ha sido harto menos atroz de lo que muchos creen, y no tanto porque el *Zeitgeist* de comienzos del milenio esté impregnado de una experiencia irreductible de reticularidad compleja y multisituada, sino porque señala herramientas, conceptos y hallazgos que están impactando ahora y han de impactar también en el futuro de la antropología, una disciplina con potencial de ser la mediadora por autonomía en la red que comunica las ciencias entre sí.

La tesis que sigue está articulada en torno de una hipótesis dominante que no es otra, insistió, que la de la relevancia urgente del análisis de redes (imbuido de ideas derivadas de la complejidad) en el trabajo antropológico. El camino hacia esa demostración acumulativa está jalona por el registro de una docena de instancias en las cuales las herramientas reticulares por un lado definen saberes frescos y por el otro rompen con otras tantas narrativas placenteras pero engañosas incrustadas en la epistemología y en la práctica disciplinarias: lugares comunes que hace falta poner en evidencia y a los que es menester superar, más allá de que al final del día se termine adscribiendo o no a una estrategia de redes, de complejidad, de modelado matemático, de antropología o de lo que fuere. El efecto multiplicativo de esas consecuencias (que a razón de una o a lo sumo dos por capítulo han marcado el ritmo de la organización temática y la secuencia cronológica del trabajo) decidirá si el objetivo que me he impuesto ha sido o no satisfecho.

Aun cuando mi postura pueda definirse a grandes rasgos como de aceptación del conjunto de instrumentos que habré de poner en foco, registraré por último algunas notas de caución y vigilancia reflexiva ante lo que percibo como la posibilidad (y la ocasional existencia efectiva) de un uso fetichista y estéril de las teorías y técnicas del nuevo siglo, tanto en materia de redes como de complejidad; más todavía que el rechazo por parte de quienes se resisten a unos y a otros aportes, este factor es sin duda el mayor obstáculo a enfrentar.

## 2 – Especificación epistemológica

[E]xiste poca evidencia de que los analistas de redes pasen mucho tiempo revisando la literatura [de filosofía de la ciencia]. Ella no es citada en *Social Networks* ni en *Connections*. La palabra “hermenéutica” nunca aparece allí, ni los autores de esos artículos especulan independientemente sobre los sutiles dilemas que dominan las discusiones de los filósofos de la ciencia y de otros que escriben profesionalmente sobre modelos. [...] Los analistas de redes producen una profusión de modelos, no inhibidos por duda alguna sobre cómo encajarlos en una tipología y despreocupados por el estatuto ontológico o epistemológico de la conexión entre el modelo y el mundo.

John Arundel Barnes (1982)

En la mayor parte de la literatura de redes sociales y en la casi totalidad de la bibliografía sobre herramientas de complejidad la epistemología acostumbra ser implícita y escuálida, sobre todo si se la contrasta con la densidad y la expansividad discursiva que se han tornado costumbre en las ciencias humanas. Si se toma, por ejemplo, *Social Network Analysis*, el manual clásico de Stanley Wasserman y Katherine Faust (1994), técnicamente insuperable en su momento, se buscará en vano un par de páginas corridas sobre el particular.<sup>5</sup>

No ha de esperarse que ése sea aquí el caso; tampoco será este ensayo un resumen de los conceptos, fórmulas y magnitudes más importantes, o una introducción escolar a la subdisciplina, o un pretexto para la exaltación de una técnica. Es sólo una tesis centrada en la

<sup>5</sup> Cuatro o cinco años después de editado ese manual considerado pináculo en su género se descubrió que las redes de la vida real no exhiben las propiedades estadísticas que Wasserman y Faust dan por sentadas. No son pocos los cálculos que propone este tratado que deberían plantearse ahora de otra manera; lo mismo se aplica a diversos supuestos metodológicos (distribuciones de Bernoulli, muestreo, monotonía) y a las correspondientes estrategias de modelado y visualización. Aquí y allá el texto de Wasserman-Faust habla (con formulio denso pero escasa precisión) de modelado estadístico y pruebas de significancia sin reconocer que estas técnicas de *statistical testing* (englobadas en la sigla NHST) hace mucho se saben problemáticas (véase p. ej. Berkson 1938; Rozeboom 1960; Bakan 1966; Meehl 1967; Morrison y Henkel 1970; Carver 1978; Carver 1993; Gigerenzer 1993; Cohen 1994; Falk y Greenbaum 1995; Harlow, Mulaik y Steiger 1997; Hunter 1997; Shrout 1997; Daniel 1998; Feinstein 1998; Krueger 2001; Haller y Krauss 2002; Gigerenzer 2004; Armstrong 2007a; 2007b; McCloskey y Zilliaak 2008). Conceptos que se han vuelto fundamentales (la fuerza de los lazos débiles, los mundos pequeños, las transiciones de fase, la coloración de grafos y sus generalizaciones, la teoría de Ramsey, las cajas de Dirichlet, el principio de los *pigeonholes*, los grafos de intersección, de intervalo y de tolerancia, los grafos pesados, los árboles abarcadores mínimos, la tratabilidad, la percolación, la escala, la no-linealidad, las alternativas a la ley del semicírculo, la teoría extremal de grafos, la optimización combinatoria, el análisis espectral, las matrices laplacianas, la noción misma de vectores o de valores propios) no se tratan en absoluto o se despachan a la ligera. El texto, de apariencia extrañamente setentista, permanece anclado en una concepción estructural-estática de las redes que contrasta con la visión procesual-dinámica que hoy se cultiva en los principales centros de investigación. Lo más grave, consecuentemente, es que el libro consolidó una visión analítica de las redes sociales, sin interrogar a través de un modelado genuino los mecanismos que hacen a su accionar o la posibilidad de intervenir en ellas.

teoría que pone en foco una importante inflexión contemporánea, que intenta evaluar su significación y que entiendo que es necesario que se escriba porque en todo el campo, hasta donde se alcanza a ver, nadie se ha hecho cargo de la tarea. Mientras que se han escrito miles de páginas justificadamente cubiertas ya sea de demostraciones simbólicas de teoremas o de descripciones diagramáticas de las relaciones sociales, la reflexión epistemológica sobre la teoría de redes se agota en unos pocos párrafos de cinco o seis renglones canónicos fatigosamente replicados en cada publicación de la especialidad. Ése es precisamente el estado de cosas que urge revertir aquí.

Dado el carácter epistemológicamente complejo y la textura crítica y autocrítica del presente trabajo, conviene establecer desde el principio las metodologías y heurísticas que lo orientan. Ellas configuran el aparato reflexivo del estudio y son fundamentalmente de tres clases.

La primera heurística concierne a una tipología de modelos que ya articulé en otros trabajos. Esta tipología, cuyos orígenes se remontan a la idea de complejidad organizada de Warren Weaver (1948), es la que se describe en la tabla 2.1; la nomenclatura, las propiedades y los propósitos de la clasificación son lo suficientemente claros como para no requerir más comentario. El objetivo de la tipología es demarcar qué clase de resultados cabe esperar de qué clase de modelos (o de qué forma básica de plantear un problema).

Modelo	Perspectiva del Objeto	Inferencia	Propósito
I. Mecánico	Simplicidad organizada	Analítica, deductiva, determinista, cuantificación universal	Explicación
II. Estadístico	Complejidad desorganizada	Sintética, inductiva, probabilista, cuantificación existencial	Correlación
III. Complejo o sistémico	Complejidad organizada	Holista o emergente, determinista, cuantificación conforme a modelo	Descripción estructural o procesual, modelado dinámico
IV. Interpretativo o discursivo	Simplicidad desorganizada	Estética, abductiva, indeterminista, cuantificación individual	Comprensión

Tabla 2.1 – Los cuatro modelos

A diferencia de lo que es rutina en las teorías discursivas o literarias de la complejidad, lo que aquí llamo perspectiva no deriva de (ni se refiere a) las características del objeto real, si es que existe semejante cosa. Mal que le pese a los antropólogos urbanos o a los que han echado su mirada hacia Occidente o hacia la sociedad (pos)moderna, es una ingenuidad creer que hay sociedades o culturas simples o complejas, u órdenes sociales inherentemente más contemporáneos, más líquidos, polimorfos o multivariados que otros. En mi concepto, simplicidad y complejidad resultan de adoptar escalas, articular variables o definir focos en el plano epistemológico, y no de cualidades dadas en la realidad. En teoría puede postularse que algunas sociedades son cuantitativamente más complicadas en diversos sentidos: ciertos parámetros con que se las contraste podrán exhibir más grados de libertad, mayor número de elementos, relaciones de más alta densidad; pero en la práctica

ni aun en los extremos del análisis multivariado de alta dimensionalidad alguien ha encontrado clases de complejidad que no estén presentes también en los casos que la mayoría acuerda en considerar más simples.

Conforme a las inferencias que ellas aplican y al propósito que se han propuesto, casi todas las formas teóricas a revisarse en este ensayo pertenecen a los tipos que en la tabla 2.1 he llamado I o II; unas pocas, las más recientes, se inclinan hacia el tipo III. Ahora sí, convendría dejar particularmente en claro que no soy partidario de un tipo en detrimento de otros; cada uno de ellos, incluso el tipo IV, puede ser de aplicación recomendable cuando se plantean los problemas de determinada manera. Es verdad que las investigaciones empíricas en la vida real conmutan o hibridizan los diversos tipos con o sin autoconciencia de estar haciéndolo, pero también lo es que una taxonomía organizada de este modo sirve para ordenar el campo (como dirían Erdős y Rényi) la mayor parte de las veces.

El segundo artefacto que propongo es, como no podría ser de otra manera, una definición de problema. Esta es una criatura conceptual que debería ser de especificación obligatoria en todo texto, pero a la que la epistemología constituida no ha prestado mayor obediencia. Ni siquiera en la hermenéutica de Hans-Georg Gadamer (1977: 454-455), el primer lugar en el que a uno se le ocurriría buscar, se encuentra el menor rastro de una definición de este tipo. Gadamer especifica cuáles son las propiedades o atributos de un problema: un problema es para él algo que ofende, que choca, que llama la atención; algo que posee también una naturaleza dialéctica de pregunta y respuesta, que se materializa en la conversación y que se encarna en el lenguaje; pero él no ha definido sustantiva o algorítmicamente el concepto. La misma elisión se encuentra en la obra de maestros de la heurística y la analogía consagrados al asunto de tiempo completo (Pólya 1954; 1957; Michalewicz y Vogel 1999). Cortando de un tajo este nudo gordiano, la definición de problema que he hecho mía se origina en la teoría de autómatas y en la tradición de los métodos formales en computación científica, campos en los que una definición así (u otra equivalente) es con claridad un prerequisito imposible de pasar por alto: un problema consiste en determinar si una expresión pertenece a un lenguaje (Hopcroft, Motwani y Ullman 2001: 31).<sup>6</sup>

Abstracta o metafórica como parece, esta cláusula permite evaluar si una expresión (es decir, un caso empírico, un instancia de una clase) es susceptible de ser engendrada por la gramática y/o el conjunto de constreñimientos del lenguaje que se utiliza, entendiendo por ello la teoría, sus operadores y/o sus métodos aplicados a los datos. Como las ideas de solución y la jerarquía de la complejidad están también embebidas en la cláusula, ésta permite asimismo determinar si un problema es tratable en la forma en que se lo plantea, definir la escala de proporciones entre la pregunta que se formula y los medios que se de-

---

<sup>6</sup> No es casual que John E. Hopcroft sea el mismo autor que desarrolló junto con Robert Tarjan un algoritmo de tiempo lineal para determinar si un grafo puede ser planar (o linear), esto es, si se puede dibujar de tal modo que sus aristas no se crucen (Hopcroft y Tarjan 1974; Nishizeki y Rahman 2004: 4). Hopcroft y Tarjan han sido ambos ganadores del prestigioso Premio Turing en 1986. El legendario libro de Hopcroft, Motwani y Ullman es conocido en el ambiente como el “Libro Cenicienta” por su curiosa ilustración de tapa; pero mil veces he escrutado la portada y no he logrado discernir el personaje. Una leyenda urbana, tal vez.

senvuelven para contestarla, orientar el modelo de datos, clarificar la naturaleza y por último evaluar la sostenibilidad del modelado propuesto.

La definición permite dar cabida tanto a los problemas directos como a los inversos. En los primeros las reglas de producción de la expresión ya se conocen; en el segundo se las debe encontrar o construir. De más está decir que los casos de problemas inversos o de inducción (o abducción) gramatical, aunque implícitos como tales, suelen ser mayoría en la ciencia empírica, desde las formales a las interpretativas: dado un estado de cosas, el investigador procura inducir, conjeturar o modelar el conjunto de reglas, restricciones o singularidades que lo generan. En la totalidad de las disciplinas y bajo cualquier régimen teórico, los problemas que se relacionan con la interpretación de los datos observados son (o pueden formularse como) problemas inversos (Bertuglia y Vaio 2005: 12).

Educado en una concepción mecanicista, Jacques Hadamard [1865-1963], el padre de la idea, consideraba que los problemas inversos son categóricamente problemas mal planteados y que existía una sola solución estable por cada problema (Hadamard 1902; Tarantola 2005). Ya son pocos los puristas que piensan de este modo; ahora se sabe que es más productivo articular la estrategia para que engrane con alguno de los muchos estilos de solución posibles inscriptos a su vez, de todas maneras, en unas pocas clases de problemas.<sup>7</sup> La distinción entre esos estilos y clases podría llegar a servir (con los recaudos del caso) para definir heurísticas o patrones metodológicos en función de lo que ya se sabe de las clases a las que pertenecen (cf. Miller y Page 2007). En el ensayo que va a leerse la definición de problema (directo o inverso) estará siempre activa, como residente en el fondo de la escena pero a tiro de piedra, mientras analizo los escenarios y propongo los instrumentos.

Connatural a la definición de problema es el concepto de sistema. Cuando el investigador opera en modo directo lo usual es que proponga un sistema mecánico, estadístico, complejo o de significación cuyos parámetros ya conoce y luego compruebe si la trayectoria de los datos que educe coinciden con el comportamiento del objeto observado. Cuando se procede en modo inverso se toma como punto de partida este comportamiento y luego se induce o construye el sistema que podría dar cuenta de él. En ciencias humanas ésta es, lejos, la especie de modelos que ocurre por defecto. Mientras en las ciencias axiomáticas consolidadas a la usanza antigua se parte de un conjunto de algoritmos *prêt-à-porter* para predecir algún estado de cosas, en las ciencias humanas, más humildemente, se toma como punto de partida un estado de cosas mal o bien conocido para inferir de qué manera (es decir, mediante qué conjunto de algoritmos a [re]construir) éste pudo llegar a ser lo que es. Si más adelante ese conjunto algorítmico, gramática o “lenguaje” se puede reciclar *sistemáticamente* para dar cuenta de otro problema o para predecir en otro contexto otro estado de cosas en el futuro, tanto mejor; pero es de la inducción primaria y de sus efectos operativos inmediatos de lo que cabe ocuparse primero.

---

<sup>7</sup> No tiene caso preguntar cuántas clases de problemas hay. De acuerdo con la resolución y perspectiva que se adopten, ese número oscilará siempre entre 1,  $n$ ,  $\zeta$  (indeterminado) y  $\infty$  (infinito). En la práctica, empero, se ha decantado un puñado de clases abarcativas y un conjunto de algunos cientos de clases de complejidad.

En las ciencias recientes se ha elaborado un pequeño y apretado conjunto de procedimientos para inducir, descubrir, retrodecir, identificar o reconstruir sistemas subyacentes a los conjuntos de datos. Unos cuantos de estos procedimientos han nacido del análisis de series temporales cuya dinámica algorítmica (no necesariamente cuantitativa) constituye la incógnita a desentrañar; la práctica se conoce como “identificación de sistemas” en estadística matemática y en teoría del control automático, y como “reconstrucción de sistemas dinámicos” en dinámica no lineal.<sup>8</sup> No sólo los científicos de vanguardia o los fundamentalistas de la cuantificación trabajan con estos conceptos en mente; por más que el marco en el que ellos tienen sentido conserve siempre un carácter irreduciblemente conjetural, los procedimientos a que dan lugar han devenido rutinarios para oficinistas y gente del común: los usuarios de programas de cálculo tales como Excel, GAUSS, TISEAN, JMUlti o MATLAB® utilizan funciones y cajas de herramientas para descubrir o re-construir diferentes clases de sistemas (o clases de universalidad). La práctica guarda afinidad con el descubrimiento de patrones, un procedimiento inductivo que Gregory Bateson supo intuir oscuramente y que al cabo se codificó en esa subdisciplina que es la ingeniería del conocimiento: un método cuya relevancia para la antropología es de alto orden sea cual fuere la estrategia de investigación, por más que la sistematicidad del modelo que se construye sea un ideal al que sólo cabe acercarse asintóticamente, un objetivo inalcanzable.

La tercera clase de artefactos es un conjunto de criterios epistemológicos. Más allá de los requisitos obvios de correspondencia con los hechos y de consistencia interna, se aplicarán a lo largo de este ensayo tres principios que han demostrado ser útiles en las prácticas de diagnóstico de la epistemología que he ido elaborando con los años. Ellos son:

- El principio de Nelson Goodman (1972): Nada es parecido o diferente en absoluto, sino con referencia a una escala y a criterios escogidos por quien define los observables. Un corolario de este precepto sería el principio de Georg Cantor, que establece que hay más clases de cosas que cosas, aun cuando éstas sean infinitas. En función de estas ideas se puede hacer colapsar metodologías que se creían consagradas, tales como el pensamiento por analogía de Mary Douglas, o el análisis estructural basado en oposiciones binarias, o incluso las técnicas que se fundan en la similitud de estructuras o redes. Está claro que cuando se trata de definir si un objeto pertenece a una clase o a otra, es quien articula los criterios que rigen la pregunta el que decide el valor de la respuesta. Tanto la naturaleza de la relación como la organización en clases de los objetos que se relacionan son relativos al planteo del problema. Como bien dice Rafael Pérez-Taylor (2006: 11, 93-94), incluso en la estrategia más materialista los observables no están dados de antemano sino que se construyen. Por más que cause cierto resquemor conceder tanta entidad a una idea que proviene de un relativista recalcitrante como lo ha sido Goodman, la lógica de este principio es férrea y no admite componendas. Más adelante se verá en qué medida extrema estos preceptos inhiben, entorpecen o aclaran el

---

<sup>8</sup> Véase Ljung (1987) y Box y Jenkins (1970) respectivamente, los textos fundacionales de dichas formas de modelado; también son recomendables Kugiumtzis, Lillekjendlie y Christoffersen (1994) y Lillekjendlie, Kugiumtzis y Christoffersen (1994); de suma importancia histórica es Yule (1927).

desarrollo de algoritmos o de juicios para establecer, por ejemplo, criterios de semejanza estructural.

- El principio de René Thom (1992): No tiene sentido hablar de fluctuación, de alea, de desorden, de emergencia e incluso de evento, excepto en relación con la descripción epistemológica en cuyo seno esas conductas se manifiestan como tales. Este principio vulnera fatalmente a todas las epistemologías en que se invoca (por ejemplo) el azar como entidad y como causa última. Por supuesto, las cualidades opuestas también aplican: no hay equilibrio, determinismo, orden, reductibilidad o suceso que no dependan (o que no se constituyan en función) de la clase de modelo que se desenvuelve.
- El principio de Korzybski/Whitehead/Bateson: La forma de lo que se considera conceptualmente el objeto depende de los procedimientos de mapeado y no tanto de las características objetivas del territorio o del dominio disciplinar. Por ejemplo, no hay verdaderamente “bucles” en los sistemas recursivos, ni “pirámides” en las poblaciones, ni “grafos” en las relaciones sociales o de parentesco. Si para representar la conducta de esos sistemas se escoge otra forma de representación (por ejemplo, matrices, funciones, reglas, listas recursivas o historias de vida) la noción imaginaria de circularidad, de estructura jerárquica o de diagrama conexo se difumina. Del mismo modo, si para representar un sistema se utiliza álgebra de procesos en vez de la lógica usual de objetos y propiedades, ni siquiera en fenómenos reputados complejos se presentan situaciones de emergencia; en un formalismo algebraico casi todos los objetos se avienen a reducirse a las conductas de sus componentes, aunque no necesariamente en términos lineales (Hatcher y Tofts 2004). Para mayor abundamiento, algunas formas de representación muy distintas son equivalentes a ciertos respectos: los grafos y las matrices de adyacencia, los grafos de Ore y los grafos- $p$ , por ejemplo. Este conjunto de ideas rompe con el esencialismo y amarga la vida de las estrategias en las que se sindica una abstracción o una comodidad nomenclatoria (típicamente “cultura”, “estructura”, “identidad”, “etnicidad”, “sujeto”, “símbolo”, “texto”, “habitus”, “campo”, en ciertos contextos quizás incluso “red”) como una instancia dotada de verdadera dimensión ontológica, preñada de las propiedades que la teoría necesite y generadora de la fuerza causal que convenga a los fines de la explicación.

La definición de problema, los cuatro tipos modélicos y los tres principios epistémicos se encuentran interrelacionados. En el ejercicio de una crítica teórica o en la evaluación reflexiva de un modelo, la definición de problema es el criterio estructural y la condición funcional a satisfacer por los demás elementos, a efectos de que una operatoria que ha puesto en blanco todas y cada una de sus decisiones inevitablemente arbitrarias no degenera en subjetividad o constructivismo. La prioridad la tiene entonces la resolución del problema y el examen de sus condiciones de posibilidad; todo lo demás, con sus libertades y libertinajes inherentes, ha de ser instrumental a ese objetivo. Estas ideas pueden resultar abstractas ahora pero se ilustrarán suficientemente, espero, en el abordaje crítico y metacrítico de las teorías de redes y complejidad que comienzan a examinarse ahora.

### 3 – Redes, una vez más

Predigo que en un futuro no muy distante la gente en la vida académica se definirá no por una sola área de especialización, sino por dos sub-especializaciones pertenecientes a dos especialidades más bien distintas. Esto significa que tendremos una red de intereses en la cual cada persona servirá como un puente entre distintas partes de la estructura general. Pueden ver que esto es mucho mejor que tener una jerarquía en árbol que se ramifica y ramifica, sin que nadie sea capaz de hablar con gente de otras sub-ramas. Tendremos personas que pertenezcan a dos áreas, en dos partes diferentes de la estructura global. Ellas serán entonces capaces de afrontar el nuevo conocimiento a medida que sobrevenga.

Donald Knuth, *Things a computer scientist rarely talks about* (1999)

Este capítulo, que admito atravesado por una cierta inquietud, constituye una especie de justificación de la naturaleza del proyecto que aquí se desenvuelve. Su lectura puede ser omitida por aquellos que piensen (ansío decir: por quienes ya saben) que incluso en una ciencia humana un proyecto que promueve algún grado de formalización no debería verse obligado a formular un alegato especial.

La pregunta a plantear en primer término no creo que deba ser ¿por qué redes? sino más bien ¿por qué no? Que el peso de la prueba caiga donde deba caer, o que al menos se reparta un poco. En efecto, se me ocurren muy pocos asuntos de posible interés en antropología cultural (y casi ninguno en antropología social) que *no* acepten ser tratados productivamente en términos de redes, es decir, en términos de elementos y relaciones entre ellos bajo la forma de álgebras, algorítmicas, grafos o sistemas predicativos diversos, lengua natural incluida. Podría pensarse que los conceptos subyacentes a la teoría de redes guardan relación con principios algo más familiares para los antropólogos como lo son los del estructuralismo, y en concreto con la idea estructuralista de sistema, que se define casi de la misma manera: elementos que se relacionan de algún modo, con énfasis en la naturaleza formal de esa relación más que en la ontología de los elementos. Melvin Whitten y Alvin Wolfe (1973: 719) han advertido esa analogía profunda: “En la década de 1940 –escriben– los penetrantes análisis de [Meyer] Fortes [...] y de [Claude] Lévi-Strauss [...], diferentes como ellos lo son, pusieron tanto énfasis en las intrincaciones de las relaciones socioestructurales que alguna vislumbre de teoría de redes se puede discernir en ellos”.

Tan pujante ha sido el modelo de redes en campos como la sociología económica o el modelado sociológico que en esas disciplinas, que no han poseído en su momento a un Lévi-Strauss o experimentado un período estructuralista, la metodología reticular constituye el tronco de lo que se ha llamado y se sigue llamando sociología estructural o análisis es-

tructural a secas (Harary, Norman y Cartwright 1965; Berkowitz 1982; Wellman 1988; Swedberg 2000). Mientras el estructuralismo declina en antropología desde los setenta, Cambridge University Press sostiene desde 1986 una colección de referencia, *Structural Analysis in the Social Sciences*, dirigida por Mark Granovetter, un teórico mayor que nos ocupará más adelante. Sabido es que cuando en la industria editorial angloparlante se dice a grandes trazos “ciencias sociales” se quiere decir primariamente sociología y luego, bien por debajo, el resto de las prácticas de cobertura similar.

Pero a despecho de los nombres que se utilicen en otras disciplinas, el análisis de redes y el estructuralismo antropológico de linaje lévi-straussiano no son la misma cosa. Por empezar, la mal llamada teoría de redes ha sido más cauta que el estructuralismo en muchos respectos; por más que un grafo cualquiera (o, para el caso, una expresión arbitraria) involucre un sinfín de propiedades sistemáticas, un buen teórico nunca afirmaría que toda red califica como sistema (o infunde sistematicidad a su objeto) sólo por estar constituida como lo está. Y ésta es una precaución a tener en cuenta: el hecho de poder representar un conjunto de relaciones como si fuera una red a la que subyacen ciertas regularidades ineludibles o universales no establece por eso solo su carácter sistemático ni promueve la indagación a un plano superior de complejidad.

En esta tesisura se percibe otra drástica diferencia con el estructuralismo: en este último por momentos pareció prevalecer la idea de que bastaba con re-escribir unos cuantos enunciados estructuralistas como expresiones algebraicas o como aserciones flotando en la vecindad de modelos axiomáticos, para sin más trámite conferir a cualquier conjunto discursivo producido en el seno de la escuela el estatuto de una teoría formalizada (cf. Fadwa El Guindi 1979; Tjon Sie Fat 1980; Weil 1985; Turner 1990; Barbosa de Almeida 1990; 1992). La misma quimera epistemológica prevaleció –sospecho– en el proyecto fallido de la antropología matemática. La idea parecía ser que así como uno se expresa mediante signos o habla en prosa sin mayor esfuerzo, uno matematiza sin darse cuenta, inevitablemente. Pero no por dibujar el avunculado como grafo (desencadenando así un universo de cuantificaciones y cualificaciones anexas) acudirán el álgebra, la topología y la combinatoria al auxilio de ideas sin mayor inspiración.

En tercer lugar, el estructuralismo es un movimiento teórico circunscripto mientras que el análisis de redes ha sido y seguirá siendo una técnica independiente de toda toma de postura en materia de teoría. Algunos practicantes de análisis reticulares, obviamente, han adscripto a escuelas más o menos consolidadas o impermanentes; pero el análisis es tan poco inherente a los postulados teóricos de una corriente específica como podría serlo el álgebra de matrices. Tanto Wasserman y Faust (1994) como quien esto escribe despliegan a lo largo de sus textos todo género de análisis de redes; pero las posturas teóricas de ellos y las del suscripto no podrían ser más distintas, igual que lo son las de Benoît Mandelbrot por un lado y las de Michael Barnsley por el otro en geometría fractal. Análogamente, por más que el ARS se identifique con una cierta teoría que algunas llaman estructuralista, el hecho es que existe una creciente representación de teorías de redes que adscriben a posturas posestructuralistas, anti-estructuralistas y hasta posmodernas (Kilduff y Tsai 2003; Kilduff y Krackhardt 2008). Por eso es que cuando Pierre Bourdieu (2001: 26, 226; 2008)

arremete contra una “teoría de redes” que él mismo ha montado como si fuera un saber ideológico y metodológicamente unánime, perpetra (según haya sido el caso) o bien una equivocación científica mayor o un acto de pequeñez intelectual que no están a la altura de lo que sus lectores esperamos de él.

Elementos y relaciones, estaba diciendo. Es en el carácter de ambos donde una vez más se pone en evidencia la naturaleza mucho más abstracta y genérica de las redes en relación al análisis estructural. Mientras que en éste a veces conviene imaginar al parentesco o a los mitos semiológicamente, como si fueran un lenguaje, en aquél no se impone siquiera esta coacción primaria. Algo de grano tan grueso, de dimensión tan concreta, de multidimensionalidad tan ostentosa y de historia tan accidentada como el lenguaje es una reserva inagotable de metáforas, heurísticas e imágenes; pero no es razonable que sea la fuente preferencial de las primitivas de un sistema conceptual que ha de ser tanto más aplicable transdisciplinariamente cuanto más independientes de objeto sean sus componentes y sus operadores.

En las redes, en cambio, desde el punto de vista semántico los elementos pueden ser cualesquiera (personas, grupos, instituciones, moléculas, piezas de música, acentos rítmicos, palabras, países, trayectorias) y los vínculos también (relaciones de conocimiento, transacciones comerciales, influencia, afinidad, enemistad, contagio, derivación, violencia, poder, tráfico, relaciones sintagmáticas o paradigmáticas, clientelismo y por supuesto alianza, filiación y consanguinidad); estos vínculos pueden ser además nominales, signados, predicativos o hasta finamente cuantitativos.

Los elementos y las relaciones pertenecen asimismo a un nivel de abstracción que se ha de administrar cuidadosamente si se pretende que el modelado sea conceptual y materialmente sostenible en términos de un retorno razonable de la inversión de tiempo y esfuerzo que su aprendizaje y su despliegue involucran. Descubrir el isomorfismo entre los grafos o las redes subyacentes a objetos en diferentes dominios no impone un gesto figurativo semejante al de considerar –digamos– los procesos sociales como si fueran dramas, las reglas de la interacción social como si fueran juegos, las culturas como si fueran textos (cf. Turner 1974; Geertz 1980). Esas extrapolaciones o relaciones asociativas *in absentia* no tienen por qué quedar excluidas, desde ya; pero justamente por ser más abstractas, las redes (como modelos y como metáforas) son mucho más generales que cada una de esas analogías y están menos implicadas en las convencionalidades, estéticas, institucionalidades e historicidades particulares de las figuras implicadas en ellas. Es por esto, sin duda, que han devenido un tópico de desarrollo transdisciplinario intensivo.

Uno de los objetivos reconocidos del análisis de redes es obtener a partir de los datos relationales de bajo nivel una descripción de alto nivel de la estructura del conjunto. Contemplándolo de otra manera, se puede decir también que el formalismo de redes constituye un metalenguaje para la descripción de la estructura (Hage 1979: 115). En tanto metalenguaje o más bien conjunto meta- y multi-lingüístico (en el que se suman teoría de grafos, álgebra lineal, topología, geometría, combinatoria y estadísticas), constituye una instancia de un nivel de tipificación diferente (diría Bateson) al de una teoría que reposa en el modelo del lenguaje natural como heurística maestra: un acercamiento a la estructura poli-

valente y adaptativo que por eso mismo es más puramente relacional y menos sospechable de sesgo sustantivo, paradójicamente, que el que propiciara el estructuralismo.

Aunque en una u otra ocasión el estructuralismo haya articulado rudimentos de modelado abstracto, en general reposa en un plano prevalentemente lingüístico, verbal, semántico. Nada tengo en contra del lenguaje natural, por cierto; pero éste nos viene dado como un mismo ropaje para toda ocasión, en tanto que los lenguajes artificiales (sistemas de símbolos, algoritmos, grafos) aún cuando sean de propósito general o independientes de objeto, han sido articulados conforme a los fines analíticos a los que deben aplicarse, diseñándoselos específicamente para que optimicen sus prestaciones en ese espacio. En caso de impropiedad siempre es posible, por otro lado, migrar de un lenguaje formal a otro distinto pero de algún modo conexo: de grafos a matrices, por ejemplo, o de la topología al álgebra, de la teoría de la percolación a la geometría fractal, o de una región a otra de cada uno de esos mundos inmensos.

Las redes, además, son polimorfas. Los modelos de redes pueden ser estáticos o dinámicos, topológicos o geométricos, analógicos o cuantitativos, axiomáticos o exploratorios. Aunque se han creado infinidad de medidas (de centralidad de grado, de proximidad, de *betweenness*, de conglomerado, de conectividad, de diámetro, de cohesión) la teoría de redes no es ni unilateral ni exclusivamente cuantitativa. Las cifras que resultan del cálculo, cuando las hay, no denotan magnitudes absolutas sino más bien posiciones relativas en un espacio o campo de atributos. Es más frecuente que un modelo de redes proporcione *insight* y comprensión antes que explicación y medida, y es por eso que en esta tesis es en esa cualitatividad donde me propongo ahondar, no sin dejar sentadas mis reservas ante los vuelos del lenguaje sin método cabal a la vista que reclaman ser los únicos *métodos cualitativos* imaginables (cf. Given 2008).

Rizando el rizo, se me ocurre ahora postular la hipótesis de que no han de ser las formalizaciones reticulares las que proporcionen alguna forma de explicación (un concepto epistemológico ligado a las particularidades de un dominio y de una teoría) sino las que establezcan el campo de posibilidades y constreñimientos inherentes a una explicación dada, o en el caso extremo, las que demuestren o sugieran la imposibilidad de encontrar alguna. De otro modo alcanzaría con modelar un problema en términos de red (o de MBA, o de autómatas celulares, o del principio algorítmico que fuere) para creer que está condenado a resolverse: algo así insinuaron de hecho André Weil (1985) o Harrison White (1963) con sus álgebras de parentesco. Como contrapartida, la formalización reticular quizá pueda servir, en condiciones controladas, para poner un límite a la propensión de encontrar explicaciones a toda costa, a caer en la llamada “trampa de la causación” o en lo que el profesor de Ciencias de la Incertidumbre Nassim Taleb (un pensador raro, dispar, a interpretar con infinitas precauciones) concebía como la “falacia narrativa”:

[L]a falacia narrativa es en realidad un fraude, pero para ser más cortés la llamaré una falacia. La falacia se asocia con nuestra vulnerabilidad a la sobreinterpretación y con nuestra predilección por las historias compactas por encima de las crudas verdades. [...] La falacia narrativa concierne a nuestra limitada capacidad para contemplar secuencias de hechos sin tejer una explicación entre ellos, o, equivalentemente, sin forjar entre ellos un

vínculo lógico, una flecha que los relacione. [...] Pero esta propensión se torna errónea cuando incrementa nuestra *impresión* de haber comprendido (Taleb 2007: 63-64).

La parsimonia narrativa de las redes no se debe a que el uso de la metáfora reticular resulte más “artificial” que la aplicación de otras figuras del lenguaje en el discurso sociocultural; algo menos familiar puede ser, pero no mucho más que eso. Como fuere, un antropólogo no debería contemplar peyorativamente lo que se reputa fruto de la industria humana; debería poner más bien bajo sospecha aquello que pasa por ser la forma “natural” de abordar un problema. En todo caso, la metáfora de las redes es tentadora y hasta se puede expresar de esas maneras densamente cualificadas, casi afásicas, a que nos acostumbrara Charles Sanders Peirce: en una ciencia compleja, la estructura de numerosos modelos de la cosa real puede ser, en ocasiones, algo que podríamos pensar en algunos respectos formales y con alcances susceptibles de precisarse como si se tratara de una red.<sup>9</sup>

En tanto método formal la teoría de redes discurre en un registro de una cualidad analógica que la hace particularmente útil e inteligible en ciencias sociales; a juicio de algunos, yo incluido, ella sería de antemano más apropiada que (por ejemplo) los modelos de simulación. De éstos se ha llegado a decir que deben utilizarse sólo como último recurso allí donde los métodos analíticos han probado ser intratables (Friedkin 2003). El estudio de redes constituye en efecto uno de esos métodos analíticos, una especie de modelado *down to top* que permite pasar de los niveles individuales a las agrupaciones colectivas (y también a la inversa) menos conflictivamente de lo que es el caso con otros instrumentos.

Es verdad, sin embargo, que los modelos reticulares (en función del número de sus elementos y de sus grados de libertad) pueden tornarse impenetrables analíticamente por poco que se los complique. Pero los modelos de simulación y las redes no necesariamente se contraponen. Es frecuente que los nodos de una red denoten agentes, o que las relaciones entre agentes se redefinan como vínculos reticulares. En muchos escenarios el objeto de análisis de un modelo de simulación es lisa y llanamente el comportamiento dinámico de una red, como en el programa Krackplot; también es posible que la semántica del modelo commute de una clase a otra, o que diversas clases de modelos se combinen, algo que en el ambiente de las ciencias complejas está pasando cada vez con mayor asiduidad (Barabási 2003; Amaral y Ottino 2004; Zhang y Zhang 2004; Tomassini 2005; Mitchell 2006; Grosan y otros 2007).

Esta versatilidad ha tenido sus consecuencias. El impulso que las teorías de la dinámica no lineal y la complejidad infundieron al análisis de redes puede inferirse de las estadísticas de PubMed ([www.pubmed.com](http://www.pubmed.com)) de hace un par de años. La figura 3.1 muestra las cifras correspondientes a artículos que incluyen los nomencladores “network” o “net-

<sup>9</sup> Sobre la relación entre los grafos existenciales de la lógica peirceana y los grafos conceptuales véase Sowa (1984, esp. 375-379), Lukose y otros (1997) y Chein y Mugnier (2009). Al igual que sucede con las redes semánticas, estas formas de representación del conocimiento y el razonamiento lógico (cuyo prestigio crece o declina alternativamente a lo largo de los años) no se hallan hasta hoy ligadas a la teoría de grafos en general. Grafos representacionales, redes semánticas, redes neuronales, redes bayesianas, redes informáticas, redes de conocimiento, gramáticas de grafos y redes de Petri son ocho de las instancias reticulares que he optado por no tratar aquí.

*works*" en sus títulos o palabras claves. A comienzos del período contemplado hay un ciclo de crecimiento moderado vinculado a esa Biblia de las formas clásicas del ARS que es el manual de Wasserman y Faust (1994); el punto de inflexión, señalado con una flecha, corresponde al momento de la publicación de los artículos fundamentales de Watts y Strogatz (1998) y Barabási y Albert (1999) y al lanzamiento del programa Ucinet y su *suite* de utilitarios (Borgatti y otros 2002). Duele admitirlo, pero al menos en los sistemas de indexación que he consultado en los últimos cuatro o cinco años los trabajos sobre redes (sumados a los de grafos y matemáticas discretas, no considerados en el inventario) exceden a los de toda la antropología en su conjunto, la cual no está por cierto experimentando una curva empinada de crecimiento de unas décadas a esta parte ni en este sistema ni en ningún otro.

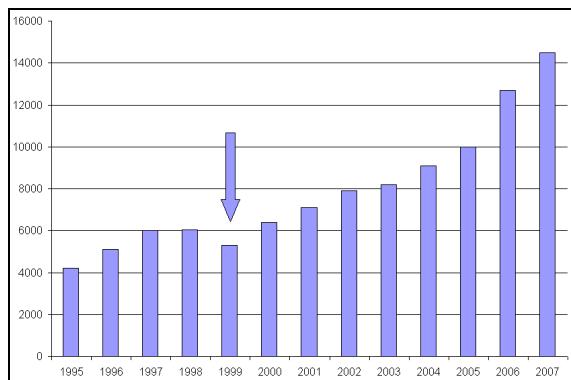


Figura 3.1 – Artículos académicos sobre redes en PubMed – Basado en Csemerly (2006: 6)

Este es el punto en el que cabe preguntarse si no estaremos en presencia de algún *hype* como aquellos que en algún momento hicieron que en más de una disciplina se renunciara a conceptos y saberes venerables en beneficio de otros que no superaron la prueba del tiempo. Como tópico técnico, las redes a veces se ponen pedantes. Hay quienes desearían que las referencias a las redes desaparezcan de los títulos y sobrevivan discretamente en los resúmenes, en las palabras claves, escondidas en medio de los datos, de las razones, de los instrumentos, y asomando a la superficie sólo cuando hace estrictamente falta.

Me temo que eso no sucederá en los días que corren; el campo está en expansión, todavía se ofrece mucha resistencia a los métodos que se atreven a ser explícitos y hay mucho trabajo por hacer antes que las tecnologías de redes puedan adoptarse como herramientas que no requieren ni pedagogía para los operarios ni justificación ante los altos estamentos. Por otra parte, la proporción entre el número de trabajos de elaboración teórica y el número de estudios de casos en la ciencia de las redes complejas no está en el orden anómalo de uno a mil como según toda evidencia lo está en las ciencias humanas, sino, más probablemente, en una equilibrada relación de paridad.

Tampoco el protagonismo de las redes es algo tan ofensivo, aunque pueda sospecharse que hay un toque de oportunismo en eso del ARS y aunque algunos se liguen a la corriente sólo porque está bien visto hacer lo que otros muchos hacen, o porque ante los SMS que dieron vuelta una elección después de los sucesos de Atocha, los mensajes en Twitter que impulsaron la campaña de Barack Obama, la redefinición de la propiedad intelectual

y de las industrias culturales tras Napster y las redes *peer-to-peer*, la transformación de modestos servicios de *social networking* en corporaciones de primera magnitud o los acontecimientos en torno a WikiLeaks no hay nadie en su sano juicio que crea que pensar en términos de redes es sólo una forma de pensar entre otras, o que la tecnología de redes ha de ser de importancia periférica en las estrategias de gestión sociocultural del futuro próximo. Ahora que la idea y la praxis de las redes en general y las redes sociales en particular viene arrasando después de una siesta que ha durado décadas, puede que haya una especie de factor correctivo en la adopción de esos modelos: pues, como decía el hermeneuta Gadamer (1977: 646), “forma parte de la lógica del enderezamiento de algo torcido el que se lo tenga que torcer en sentido contrario”.

En última instancia, no parece que la moda de las redes resulte particularmente inhumana, ni que sea mutilante, como suelen decir de todo empeño un poco abstracto los empiristas más o menos confesos que invitan a tratar el objeto de estudio que fuere sin mediación de modelos, cara a cara. Es verdad que en tanto modelo el formalismo de redes selecciona ciertos aspectos de la realidad y deja de lado otros; pero en esto no hay diferencia entre un tratamiento modelado y otro discursivo: aun cuando descreo del carácter canónico de estas correspondencias, un nodo puede ser cualquier sustantivo, un vínculo puede representar cualquier verbo, un valor puede connotar cualquier cualidad. De hecho, en la obra de autores como Igor Mel'čuk (1985; 2003) o Richard Hudson (2003; 2006) las redes han demostrado ser metalenguajes cabales del lenguaje mismo, capaces de expresar relaciones que trascienden la camisa de fuerza del encadenamiento sintagmático y de la contigüidad de las palabras.

Pese a que unas cuantas escuelas perfectamente definidas suelen dejar que se trasunte lo contrario, no existen formas naturales, no mediadas o directas de tratar una cuestión y los antropólogos deberíamos ser, sin excusas, los primeros en saberlo. Tampoco las hay que sean más humanas o humanizadoras que otras, o que sólo por promover un estilo metodológico más sencillo, un régimen más laxo de accesibilidad o una manera de expresión verbal más amigable garanticen ser más profundas, completas, concretas o mejores.

Aún cuando el análisis de redes se hubiese quedado estancado en la década de 1980 su utilidad para la práctica de las ciencias sociales seguiría siendo formidable. La lista que sigue, extraída de las reuniones rutinarias del INSNA hace un cuarto de siglo (vol. 6, nº 3 de febrero de 1983) es elocuente a ese respecto; preguntados por la utilidad del análisis de redes sociales, los especialistas responden que éste podría servir para:

1. Plantear preguntas y buscar respuestas en términos de conectividad estructurada (Wellman).
2. Representar parsimoniosamente los rasgos esenciales de la estructura (Holland/Leinhardt).
3. Habilitar el uso de instrumentos deductivos poderosos provenientes de las matemáticas estructurales para postular y poner a prueba las teorías (Holland/Leinhardt).
4. Proporcionar un lenguaje común para el intercambio de información entre diversas profesiones y disciplinas académicas (Ratcliffe).
5. Tornar visibles, comprensibles y manejables como si fueran variables las estructuras de la comunicación (Rogers y Kincaid).

6. Proveer un marco de referencia unificador a la práctica clínica (Erickson).
7. Suministrar un punto de vista analítico (Erickson).
8. Oficiar como heurística para la identificación de problemas (Rogers y Kincaid).
9. Servir como foro común para la práctica y la investigación (Erickson).
10. Contribuir a poner en foco las relaciones de intercambio de información en tanto unidades de análisis (Rogers y Kincaid).
11. Ser de utilidad para investigar el sistema social mayor en que interactúan los individuos (Tolsdorf).
12. Moverse de manera sistemática entre los niveles de análisis macro y micro (Hammer, Anderson).
13. Reflejar el interés antropológico en los procesos, fenómenos y modelos generativos de reacción (Wolfe).
14. Poner de manifiesto las formas estructurales que permiten tener acceso a recursos escasos (Wellman).
15. Explicar la conducta de elementos recurriendo a rasgos específicos de las interconexiones entre ellos (Noble).
16. Devenir una ideología que enfatice la comunicación persona a persona en intercambios no jerárquicos (Tranet).
17. Ser de utilidad en el estudio de las clases sociales (Barnes).
18. Constituir una herramienta para estudiar la influencia del entorno en la conducta de los individuos (Barnes).
19. Tornar más real la sociología de Simmel de la libertad y el constreñimiento (Breiger).
20. Tornar posible el estudio sistemático de las diferencias entre sociedades (Breiger).
21. Sugerir niveles de análisis (Harary y Batell).
22. Reflejar limitaciones o constreñimientos de la conducta (Leinhardt).
23. Capturar los conceptos sociales básicos en la investigación empírica sustantiva (Ratcliffe).
24. Haber estimulado la investigación en los antecedentes sociales de desórdenes específicos (Ratcliffe).
25. Estimular la investigación en el uso de servicios laicos y profesionales (Ratcliffe).
26. Haber estimulado la investigación en el desarrollo de la innovación y la intervención preventiva (Wellman).
27. Alentar el análisis de la asistencia en un contexto más amplio (Wellman).
28. Ilustrar la fuerza y la simetría en la disponibilidad de diferentes recursos (Wellman).
29. Vincular los lazos interpersonales a fenómenos de mayor escala (Wellman).

También es dudoso que una forma esquemática de representación como la que es propia de los modelos de redes involucre una pérdida de sustancia semántica. Tal vez lo que estoy sosteniendo refleje el efecto siniestro de cuarenta años de experiencia profesional en computación científica. Pero cuando se dedica algún tiempo a, por ejemplo, formalismos de representación del conocimiento u ontologías de la significación, se cae en la cuenta de todo lo que las formas dominantes de la hermenéutica antropológica usual, centradas en la palabra, se han perdido de saber sobre dimensiones del significado que el modelado en redes torna palpables, precisamente porque en este escenario dichas dimensiones se tornan problemáticas y no pueden darse por sentadas. Por otra parte, el formalismo de redes (y

para el caso cualquier otro) no impone renunciar a otras formas de expresión; más bien es el *modus hermenéutico* y posmoderno el que presupone encarnar un giro superador en la concepción de las ciencias humanas, proclamando ser moralmente preferible a toda otra opción y demandando para sus alegaciones imposibles de falsar una lectura sumisa y una epistemología separada, como ya se ha hecho manifiesto demasiadas veces (cf. Turner 1974; Geertz 1980; Rabinow y Sullivan 1987; Marcus 2002).

Aunque Lévi-Strauss venía batiendo el parche de los modelos desde antes que yo naciera, es un hecho que en antropología han sido pocos los que se preocuparon por ir hasta el fondo de la cuestión. Recién ahora, tardíamente, se está comenzando a tratarla con seriedad (Miceli 2011). Aunque el modelado bien podría usarse saludablemente para des-naturalizar el discurso, precisar el lugar de éste en la metodología y repensar unos cuantos hábitos disciplinarios, las técnicas no pretenden competir discursivamente con el discurso en sí ni ocasionan tampoco que éste deje de ser el bien más preciado: sus ámbitos de actuación y validez son muy otros. La clave de un modelo jamás finca en la completitud o si quiera en la “densidad” representacional, una aspiración a la cual el discurso (insisto) tampoco consuma. En las técnicas de modelado reticulares, igual que en otras clases de modelos, la idea no es reproducir las propiedades de un fenómeno complejo hasta los detalles más escondidos, sino proporcionar resultados acordes con las suposiciones realizadas, permitirnos tratar con las implicancias esenciales de nuestras hipótesis e incluso desarrollar argumentos en torno de ellas que resulta tortuoso volcar en lenguaje natural.

En otras palabras, si alguien alega que las relaciones entre los sujetos, agentes, actores o lo que fuere tienen tales o cuales características o se relacionan conforme a tal o cual dinámica, la analítica de redes permite verificar diversos aspectos de la alegación y afrontar algunas consecuencias probables (o, en ocasiones, deterministas) que se siguen de aquello que se postula, por más laxo, permisivo o duro de verbalizar que sea el postulado.

En contraste con lo que fuera el caso con la analítica estructuralista de la antropología (por poner un ejemplo) una vez formulado el modelo ya no se trata de que su autor lo maniiple, auscule secretamente su caja negra y nos cuente lo que pasa mientras añade los elementos de juicio que va necesitando. Por el contrario, al materializar un modelo explícito el autor se ve impedido de contrabandear mutaciones ad hoc, de escamotear corolarios y de imponer retóricas, pues las reglas del juego ya no son privadas sino intersubjetivas.

A decir verdad no son siempre los modelos en plenitud los que se socializan; en general alcanza con que circulen los *datasets* y sus contextos (familias florentinas, clubes de karate, mineros de Zambia, intercambios de mujeres) para que otros modelos se les apliquen. Que el vocabulario descriptivo, la semántica de los functores, los operadores, la hermenéutica de las distribuciones estadísticas, los saberes formales, la emergente lógica espacial de la representación (cf. Aiello, Pratt-Hartmann y van Benthem 2007) y demás factores del planteo sean públicos y transdisciplinarios –aunque no unánimes– añade otra instancia más de reflexividad. Una reflexividad que, al lado de la que reclaman o declaran quienes se niegan desde siempre a los placeres del modelado, nunca estará de más y no hay duda que estaba haciendo falta.

## 4 – El momento fundacional: La teoría de grafos

Especificando propiedades de los digrafos que se siguen necesariamente de ciertas condiciones, [los teoremas] nos permiten derivar conclusiones sobre propiedades de una estructura a partir de conocimiento sobre otras propiedades.

Harary, Norman y Cartwright (1965: 3)

Pasando por algunos hitos preliminares de fuerte impacto, como el famoso “problema de los cuatro colores” propuesto por Francis Guthrie [1831-1899] en 1852, la historia de la teoría de las redes sociales se remonta a los orígenes de la teoría de grafos en matemáticas, creada hacia 1736 por el suizo Leonhard Euler [1707-1783]. Este matemático prodigioso, uno de los escritores más prolíficos de la historia, inventó de la noche a la mañana la teoría de grafos al resolver el famoso problema de los siete puentes sobre el río Pregel en Königsberg, una ciudad hace tiempo impersonal que en algún momento se renombró Kaliningrado.<sup>10</sup>

El problema consistía en averiguar si se puede pasar por los siete puentes sin cruzar más de una vez por cada uno de ellos. Lo que hizo Euler en su planteamiento fue como lo que acostumbraba hacer el antropólogo Clifford Geertz sólo que al revés: en lugar de ahondar el problema en sus más ínfimos matices de significado (como imponen los modelos de la descripción densa y del conocimiento local) lo despojó de todo cuanto fuese inesencial al razonamiento ulterior; en vez de subrayar su peculiaridad, lo vació de lo contingentemente específico y lo generalizó. Para ello eliminó de cuajo toda información irrelevante al cálculo de la solución, dejando sólo las masas de tierra representadas por un punto, vértice o nodo, y los puentes mismos concebidos como líneas, aristas, bordes o vínculos. La orientación y longitud de los trazos tampoco fueron tomados en consideración. Integrando a un razonamiento casi algebraico nada más que la paridad o imparidad de los grados, ni siquiera el número de nodos o de conexiones formó parte del planteo. El grafo abstraído por él es lo que hoy se conoce como un multigrafo, un grafo que admite más de una arista por vértice (figura 4.1).

Un grafo es una de las representaciones que admite una red; y a la inversa una red es a su vez una clase, una interpretación o una instancia empírica de un grafo (Ore 1962: 2; Bon-

---

<sup>10</sup> La vez que estuve un día calendario en Kaliningrado, enclavada en ese jirón de Rusia separada del resto del territorio nacional por los países bálticos, quise conocer los siete puentes originales, pues no hay otra cosa que pueda hacerse allí un domingo de invierno al morir la tarde salvo visitar la tumba de Kant, o comprar una copia de una copia de 1945 de una copia de 1922 de su máscara mortuoria, cuyo original se encuentra en Tartu, Estonia. Por desdicha no quedaba casi nada de esos puentes (véase figura 4.2); respecto a Euler ni siquiera desvela a los kaliningradenses averiguar si alguna vez los caminó. En 1944 gran parte de la ciudad vieja ocupada por los nazis fue demolida por los bombardeos ingleses por necesidad imperiosa, pero sin cuidado alguno por lo que hoy llamaríamos la puesta en valor del patrimonio histórico. Dos de los puentes originales fueron destruidos de ese modo por la RAF. Otros dos fueron demolidos por la administración rusa y sustituidos por una autopista. Uno más fue derribado y vuelto a construir por los alemanes en 1935. De la época de Euler subsisten sólo dos (Taylor 2000; Blanchard y Volkenchov 2009: 1).

dy y Murty 1976; Harary 1969; Wilson 2004). Sólo hace falta resemantizar los nodos como actores y los vínculos como relaciones para que los grafos representen redes sociales. Pero antes de entrar en el tema de las redes creo que es preciso detenerse en los grafos un poco más, pues aparte de fundar un campo esencial Euler halló una solución más amplia de lo que el problema parecía requerir.

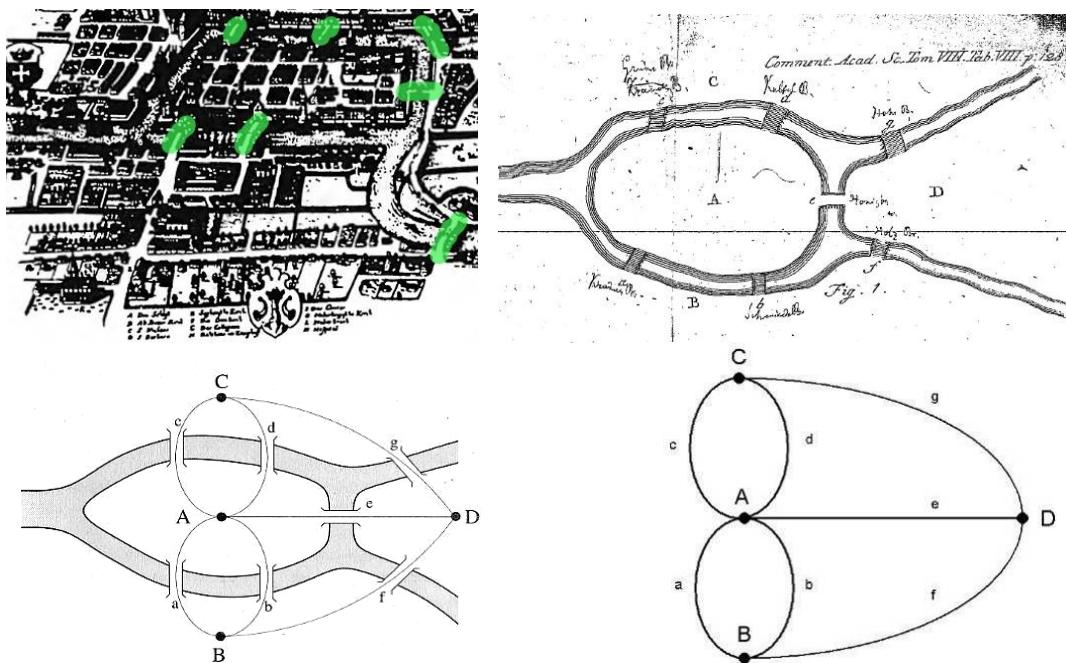


Figura 4.1 – Serie de abstracciones desde los puentes de Königsberg hasta su grafo.

- (1) Mapa de dominio público de Königsberg basado en Aldous y Wilson (2000: 9); (2) Dibujo original de Euler (1741: 129); (3) Diagrama basado en Barabási (2003: 11); (4) Grafo diseñado por el autor con JgraphEd.

Euler encontró que la pregunta formulada en el problema de los puentes de Königsberg debía responderse por la negativa. Definió para ello dos conceptos:

- (1) Se dice que un grafo tiene un *camino de Euler* si se pueden trazar arcos sin levantar la pluma y sin dibujar más de una vez cada arco.
- (2) Un *círculo de Euler* obedece a la misma prescripción, con la exigencia agregada de finalizar en el mismo nodo en que se comenzó. Todos los circuitos son caminos eulerianos.

Euler estableció que:

- (1) Un grafo con todos los vértices pares contiene un círculo de Euler, sea cual fuere su topología.
- (2) Un grafo con dos vértices impares y algunos otros pares contiene un camino de Euler.

Un grafo con más de dos vértices impares no contiene ningún camino y tampoco contiene ningún círculo de Euler. Siendo que en el caso de los puentes hay tres nodos de grado 3 y uno de grado 5, no hay ningún camino de Euler entre ellos. En su forma moderna, mucho más práctica, los hallazgos de Euler se sintetizan de este modo:

- (1) Si hay más de dos vértices impares, el trazado es imposible.
- (2) Si hay exactamente dos vértices impares, el trazado es posible si comienza en uno cualquiera de ellos.
- (3) Si no hay ningún vértice impar el trazado es posible comenzando en cualquier vértice.



Figura 4.2 – Kaliningrado – El puente entre A y B – Fotografía del autor, enero de 1995.

Aunque no utilizó esas palabras precisas, Euler advirtió que la solución del problema debería considerar la paridad o imparidad del grado de los nodos, esto es, del número de aristas que inciden en ellos. Así como se llama grafo euleriano a secas a un ciclo que atraviesa cada línea del grafo exactamente una vez, se llama grafo hamiltoniano a un ciclo que pasa exactamente una vez por cada punto.<sup>11</sup> Un famoso grafo antropológico que no contiene ni caminos ni circuitos eulerianos es el anillo del Kula, dado que no hay en él un ciclo de intercambio que active todas las relaciones o pase ordenadamente por todas las islas (Hage 1979: 117; Malinowski 1986 [1922]). Algunos especialistas en etnomatemática afirman haber encontrado grafos eulerianos (a veces más específicamente grafos planares gaussianos 4-regulares) en los diseños *sona* de los Chokwe de Angola o en los dibujos en arena Malekula de la isla de Vanuatu, pero no han ahondado en los detalles de los mecanismos cognitivos involucrados (Ascher 1988; Gerdes 2006; Demaine y otros 2007).<sup>12</sup>

---

<sup>11</sup> La distinción entre trayectorias eulerianas y hamiltonianas se reproduce en la diferenciación de las dos clases mayores de procesos de percolación existentes (de sitio y de ligadura), entre las gramáticas de reescritura de nodo y reescritura de borde en los fractales sintetizables mediante sistemas-L, entre coloración de vértice y coloración de arista en teoría cromática de grafos, y entre los modelos primal y dual de la sintaxis del espacio. Véase capítulo 14, pp. 211 y capítulo 16 más adelante.

<sup>12</sup> Un grafo planar es aquél al cual se puede dibujar de tal manera que sus aristas no se cruzan (Nishizeki y Chiba 1988). La teoría de los grafos planares también se origina en los trabajos de Euler de 1736; Hopcroft y Tarjan han elaborado algoritmos de tiempo lineal para probar la planaridad de un grafo. Para grafos simples la prueba de planaridad es trivial; según Euler, si un grafo simple y conexo tiene  $e(\geq 2)$  aristas y  $v$  vértices, entonces  $e \leq (3v - 6)$  (Koshy 2003: 580). Algunos problemas que son intratables para grafos en general son tratables para grafos planares semejantes. Un grafo 4-regular es aquél en el cual los vértices tienen grado 4; algunos creen que todos los sona (y también otros diseños tales como los pulli kōlam de Tamil Nadu) pertenecen a esta categoría (cf. Reynoso 2010: cap. 4). No estoy seguro que los diseños sona sean grafos planares en sentido estricto, pues los vértices no son explícitos y pueden entenderse más bien como los puntos en los cuales la curva se cruza consigo misma.

Grafos hamiltonianos se han encontrado en antropología aquí y allá, como se verá luego (p. ej. págs. 37, 40, 95).

La lección para los científicos sociales, imbuidos de una extrema propensión idiográfica de un siglo a esta parte, es que estas soluciones son universales y permanentes por cuanto derivan de propiedades inherentes a los respectivos tipos de grafos; no vale la pena pasar noches en vela intentando encontrar soluciones alternativas porque no puede haberlas. En el deslinde de estas propiedades topológicas que rigen más allá de los confines de un caso (y que algunos llamarán estructura) finca precisamente el origen y el espíritu de la moderna teoría de redes. Al contrario de lo que suele creer, la configuración de grafos y redes no contradice la existencia de reglas o propensiones socialmente construidas, de *habitus* históricamente sedimentados, de “especificidades y [...] particularismos propios de cada microcosmos social” (Bourdieu 2001: 16, 22, 224) ni se expide sobre la existencia o inexistencia de universales de la sociedad, la cognición o la cultura; simplemente establece, al lado de o subyacente a todo esto, un campo formalmente irreductible de posibilidades y constreñimientos de las prácticas, y sobre todo una vía para el conocimiento de diversos aspectos constitutivos de las mismas.

En cuanto a los grafos propiamente dichos, admito que he distorsionado y simplificado la historia. La distorsión, en la que incurre todo el mundo, se debe a que si bien los *Commentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae* donde se publicó el trabajo de Euler están fechados en 1736, la presentación se realizó el 27 de agosto de 1735, mientras la publicación tuvo lugar en 1741 (Fleischner 1990: I.1). En cuanto a la simplificación, de hecho Euler ni siquiera dibujó un grafo en el trámite de su prueba ni mencionó tampoco la palabra *grafo*, que (se dice) recién fue introducida por James Joseph Sylvester [1814-1897] casi ciento cuarenta años más tarde. Esta crónica es a su vez inexacta, pues la expresión *grafo* (como sufijo) viene de poco antes de lo que indica su historia canónica. En el breve documento original de Sylvester (1878) que tengo ante los ojos, en efecto, el autor describe una analogía cuyo descubrimiento lo ha impresionado fuertemente entre “dos ramas del pensamiento humano en apariencia tan disímiles como lo son la química y el álgebra”. Desconociendo (creo) el antecedente euleriano, escribe Sylvester:

La analogía es entre átomos y cuánticos binarios exclusivamente.

Yo comparo cada cuántico binario con un átomo químico. El número de factores (o de rayos, como se los puede considerar mediante una obvia interpretación geométrica) en un cuántico binario es el análogo del número de ligaduras [*bonds*] o la *valencia*, como se la llama, en un átomo químico. [...]

Un invariante de un sistema de cuánticos binarios de los diversos grados es el análogo de una sustancia química compuesta de átomos de las *valencias* correspondientes. [...] Un co-variente es el análogo de un compuesto radical (orgánico o inorgánico). [...] Cada invariante o covariante deviene entonces expresable mediante un *grafo* precisamente idéntico a un quimicografo [*chemicograph*] de Kekulé (Sylvester 1878).

Ahora bien, si todo el mundo refiere el caso de los siete puentes (o de las valencias químicas) dibujando un grafo o pensando en él es porque esa abstracción conceptual es no sólo útil sino irreprimible. Euler llamó grado al número de vértices que convergen en un nodo. La solución solamente considera la distribución de grados en los vértices y es por ello *ad*

*geometriam sitvs pertinentis*, relativa a la geometría de la posición. El grafo propiamente dicho, ilustrado en la parte inferior de la figura 4.1 con su notación originaria, fue trazado por vez primera por el matemático inglés Walter William Rouse Ball (1892) a fines del siglo XIX y la primera prueba formal de la condición necesaria fijada por Euler fue desarrollada por Carl Hierholzer en 1873 (Hopkins y Wilson 2004; Hsu y Lin 2009: 79). El grafo de Ball no fue tampoco el primero que se dibujó; hasta donde he podido averiguar, los primeros diagramas en forma de grafo vienen de la química y concretamente de las notas inéditas de conferencias del escocés William Cullen [1710-1790] fechadas en 1758 y que preceden por mucho a los trabajos de Friedrich August Kekulé [1829-1896] (Bonchev y Rouvray 1991: 4-5). Ni Ball ni Cullen son mencionados en las crónicas históricas de la disciplina anteriores a los años noventa del siglo pasado (Biggs y otros 1983).

Volviendo a Euler, en rigor éste podría haber usado la expresión *topologiam* en lugar de *geometriam*, dado que en su modelo no hay métrica; pero la noción de topología no se acuñaría hasta 1847 y la práctica topológica no acabaría de asentarse sino hacia fines del siglo XIX. Muchos consideran, sin embargo, que también la topología se remonta al problema de los siete puentes (James 1999). Al fin y al cabo, *analysis situs* es, según la exquisita crónica de John Stillwell (1989: 292) el nombre antiguo de la topología. La expresión *geometria sitvs*, por añadidura, puede que no implicara geometría en el sentido histórico de la palabra, sino que haría alusión a una rama de las matemáticas mencionada por Leibniz y consagrada a aspectos de la posición antes que al cálculo de las magnitudes, ángulos y distancias; esta interpretación, no obstante, ha sido discutida por los revisionistas, que los hay tanto en matemática como en historia (Pont 1974).

Como no podría ser de otra manera, de Euler en más (luego de un silencio de dos siglos) se ha derivado la teoría de grafos, cuyo trámite histórico pasare por alto. Basta decir que en ella se distinguen varios estilos y tradiciones, con participación destacada de una escuela húngara (König, Erdős, Rényi, Turán, Gallai, Hajós, Bollobás, Szekeres, Szele) que se funda a mediados del siglo pasado y que continuará luego en el ámbito aplicativo de las redes, sociales y de las otras (Barabási, Réka Albert, Vicsek, Ravasz, Farkas, Derényi).

Pese a su carácter abstracto, la especialidad que se conoce como la teoría matemática de grafos, con sus cliques, matroides, árboles y ciclos, ha trabajado con frecuencia en relación con estudios operativos en diversas disciplinas, las redes sociales entre ellas.<sup>13</sup> El concepto de árbol, por ejemplo, no se inspiró primariamente en los árboles de la botánica sino en los árboles familiares de la genealogía, los cuales se remontan, según las fuentes,

<sup>13</sup> La teoría de grafos siempre comienza presentándose como un asunto de simplicidad extrema pero se pone fastidiosa y complicada a poco de empezar. Minimizando la redundancia y excluyendo textos sobre aplicaciones más específicas o campos teóricos más generales (enfoques algebraicos, análisis espectral, grafos aleatorios, optimización combinatoria, matemática discreta), los libros sobre teoría de grafos en estado puro que recomendaría a un lectorado antropológico serían (en orden creciente de distancia conceptual): Sierksma y Ghosh (2010), Haggard (1980), Harary (1969), Jungnickel (2009), Ore (1990), Beineke y Wilson (2004), Wilson (1996), Aldous y Wilson (2000), Berge (1991), Bondy y Murty (1976), Diestel (2000), Gimbel y otros (1993), Golumbic y Hartman (2005), Gross y Yellen (2004), West (2001), Hsu y Lin (2009), Capobianco y Molluzzo (1978), Bollobás (1998), Christofides (1975), Ore (1962).

a los siglos VIII o IX de nuestra era (Wilson 1996: 5; Klapisch-Zuber 2000; Freeman 2004: 21, 160). Y el de *clique*, más todavía, acuñado en sociología y psicología de grupos donde significaba nada menos que “pandilla” o “camarilla”, ha ingresado en la terminología matemática formal vinculada a los hipergrafos conservando su nombre y al menos una porción importante de su semántica (Berge 1991: 76, 146, 176; Erdős 1973a: 361-362; 1973b). En verdad resulta extraño encontrar una palabra con connotaciones tan callejeras al lado de términos tales como residuos cuadráticos, circuitos disjuntos y automorfismos.

El hecho es que las disciplinas empíricas o la vida real constantemente presentan a las matemáticas problemas de aplicación de los más diversos que, como los puentes de Königsberg, mantienen viva la oferta y la demanda de conjjeturas, búsquedas, descubrimientos y pruebas formales. No se trata tanto de que a los matemáticos les desvelen los desarrollos aplicativos, sino al hecho de que en la investigación empírica surgen a cada momento problemas formales de relevancia (no siempre en primer plano) que toca a los matemáticos resolver, a riesgo de quedar matemáticamente en evidencia si así no lo hicieren. Pues, en efecto, las diversas áreas de las matemáticas examinan con regularidad sus problemas pendientes, un gesto decididamente hermenéutico que las ciencias humanas (regidas por un modo de producción teórica irreflexivamente individualista) nunca se han atrevido a implementar. Si no se hubiera planteado el juego de ingenio que imponía caminar por los puentes de Königsberg ateniéndose a ciertas reglas, tal vez nunca nadie habría supuesto que para la resolución de un problema semejante conviene pensar en algo tan improbable como un grafo: el grado cero, la esencia platónica, la iconología subyacente, la estructura formal de todas las redes.

Una solución como la que encontró Euler podría haberse encontrado (teóricamente) en base a otra forma muy distinta de representación. Pero la forma escogida fue providencial, no tanto por su calidad intrínseca como por sus asociaciones y consecuencias. Por empezar, hay una correspondencia afortunada entre grafos y matrices. Aunque matrices y grafos pertenecen a dos mundos matemáticos diferentes, ligado aquél más bien al álgebra lineal y la teoría de grupos y vinculado éste (según se mire) a cierta topología o la combinatoria de matemáticas discretas, en casi todos los casos una matriz se puede representar como grafo y viceversa, lo cual es, si se lo piensa un poco, un vínculo inesperado entre extremos de un tremendo hiato representacional. La condición para ello es que las filas y columnas de la matriz representen los mismos elementos y que las celdas contengan información sobre las relaciones entre pares de elementos. En tal caso los individuos se pueden representar como puntos y la relación entre ellos con una línea, eventualmente con algún símbolo, textura o color adicional que especifique el tipo, sentido y fuerza de la relación (White 1973: 402).

Si los datos empíricos admiten representarse bajo la forma sugerida por la teoría de grafos, el formidable cuerpo de teoremas, lemas y corolarios de esta teoría proporciona derivaciones para ciertas propiedades estructurales que podrían resultar modelos útiles de los fenómenos empíricos, tal como anuncian Harary y los suyos en el epígrafe. Cuáles sean las derivaciones depende en todo caso de la denotación y naturaleza de las relaciones. Los grafos son versátiles: una relación simétrica admite representación como grafo simple,

una relación asimétrica demanda un grafo dirigido o digrafo. En ambos casos podría tratarse de relaciones positivas, negativas o neutras, en cuyo caso el grafo o digrafo sería además signado. Por supuesto que no es tarea sencilla establecer taxativamente signos o valores cuantitativos a las relaciones humanas; pero la teoría de grafos comparte ese inconveniente con cualquier otra que se aplique<sup>14</sup> y en algunos casos puede aportar un principio de solución de otro orden y un interesante fondo de experiencia.

Para poner sólo un ejemplo, propongo traer a colación el famoso estudio lévi-straussiano del avunculado. Barriendo someramente la bibliografía, he encontrado que al menos cinco analistas abordaron este famoso “átomo de parentesco” utilizando teoría de grafos: Claude Flament (1963), Dorrian Apple Sweetser (1966; 1967), Peter Abell (1970), Michael Carroll (1973) y Per Hage (1976). Para el primero fue una aplicación más de teoría de grafos, mapeando el grafo sobre el diagrama de parentesco y los esquemas de relaciones; el segundo examinó el equilibrio estructural, el tercero aplicó la teoría del equilibrio cognitivo del psicólogo social Fritz Heider y el cuarto desarrolló grafos signados.

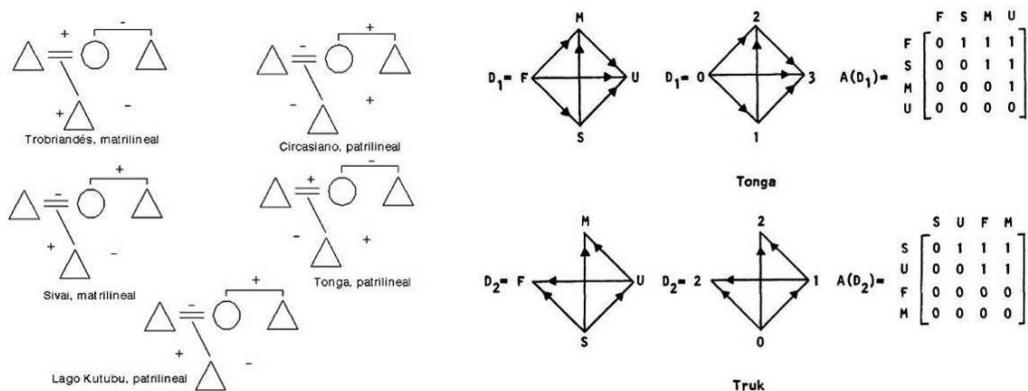


Fig 4.3 – El avunculado según Lévi-Strauss (izq.) y según Hage (der.) para los casos Tonga y Truk

Quien identificó los mayores impedimentos en el modelo estructuralista fue Carroll. Este autor encontró débil soporte etnográfico en una prueba transcultural, debido quizás a que los datos ofrecidos por Lévi-Strauss y su bibliografía de referencia no son consistentemente aptos para la representación mediante grafos signados; en particular, las relaciones unitarias y simétricas de sentimientos positivos y negativos no se distinguen adecuadamente de las relaciones de estatus diferencial como rango ceremonial, autoridad política, etcétera. Carroll ha argumentado con persuasión que las relaciones de reciprocidad, sentimiento y autoridad no pueden ecualizarse o promediarse tratándolas como una relación singular, sino que se las debe distinguir como relaciones separadas que recién podrían tratarse adecuadamente implementando grafos simples, grafos signados y digrafos respectivamente. La notación genealógica de Lévi-Strauss (debo recordarlo) no delinea ni siquiera un grafo sui generis respaldado por alguna fundamentación formal o por una semántica

<sup>14</sup> Casos a cuento son, por ejemplo, el modelo lévi-straussiano del avunculado que en seguida revisaremos, las coordenadas de grilla y grupo de Mary Douglas (1978), las técnicas del diferencial semántico de Charles Osgood (Osgood, Suci y Tannenbaum 1957), la escala actitudinal de Louis Leon Thurstone (1928), el diferencial estructural de Alfred Korzybski (1933) y la teoría de campo de Bourdieu (1993).

relacional bien definida. En rigor, ni falta hace hablar de parentesco clasificatorio o ahondar demasiado en teoría de grafos para que el modelo muerda el polvo, como se verá.

Por otra parte, la imposibilidad de tratar en forma monolítica medidas o dimensiones heterogéneas fue probada teóricamente por Kenneth Arrow y Edward McNeal, según describiré más adelante (pág. 54). En teoría de grafos aplicada a las redes sociales ese particular se encuentra bien desarrollado en el estudio de Dorrian Sweetser (1967) sobre la consistencia de trayectoria en los grafos orientados que representan estructuras sociales. El mismo Sweetser (1966) ya había percibido que el “hermano de la madre” no es una posición distintiva en todas las sociedades, que Lévi-Strauss nunca describió adecuadamente las condiciones para identificar esa posición, y que las relaciones entre padre↔hijo y hermano de la madre↔hijo no siempre son contrastantes en el registro etnográfico.

El texto de Claude Flament (1963) que he tenido a la mano, *Applications of graph theory to group structures* (el cual es, curiosamente, traducción exacta de *Théories des graphes et structures sociales* publicado dos años después) realiza un tratamiento del átomo de parentesco que en opinión de muchos especialistas implica una mejora y una extensión sustancial de los originales (cf. Atkins 1966). En particular, Flament aduce que si se añadieran dos supuestos empíricos no tratados por Lévi-Strauss (que las relaciones entre la madre y el hijo y entre el hermano de la madre y el esposo de la hermana son siempre ‘+’ y ‘-’ respectivamente) existiría un acuerdo sustancial entre el modelo teórico de Lévi-Strauss y las predicciones formales de la teoría del equilibrio estructural de Heider (ver más adelante pág. 48). En lo personal no estoy seguro que esos supuestos puedan mantenerse a la luz de los datos etnográficos. Sweetser (1967: 288) además sostiene que en la teoría del equilibrio estructural las características denotadas por los signos ‘+’ y ‘-’ deben ser verdaderos opuestos y no meramente un par de estados distintivos. Aunque su crítica apunta a Flament con referencia a la teoría de Heider, el cuestionamiento también afecta a la interpretación de Lévi-Strauss. Escribe Sweetser: “La apreciación y el desprecio, el amor y el odio, son cualidades opuestas que son intrínsecamente contrastantes; el respeto y la informalidad, o la autoridad y la cercanía, no lo son”.

Per Hage, por su parte, afirma que si una relación de parentesco determinada o un conjunto de relaciones involucra tanto elementos de sentimiento como de superordinación (entre los cuales podría no haber una conexión simple y necesaria, como Rodney Needham ya lo ha sugerido) sería preciso separar ambas instancias y coordinar cada una de ellas con el modelo apropiado de teoría de grafos. Hage concluye que aunque el uso de un solo signo para calificar un “haz de actitudes” (que el propio Lévi-Strauss admite como una sobre-simplificación) puede ser un atajo conveniente, si se han de usar modelos de grafos y si se pretende que el análisis proporcione resultados que permitan comparaciones válidas y que eluciden diversos tipos de estructura, se requiere una discriminación mucho más fina (Hage 1976: 566). A mi juicio resulta paradójico que un modelo abstracto ponga de manifiesto matices de significación ligados al dominio que en el régimen discursivo se pasaron por alto. Desde ya que Hage tiene razón: a diferencia de lo que es costumbre en las discusiones antropológicas, su juicio no constituye una opinión sobre los recursos de persuención requeridos, sino (como en el caso de Euler y los puentes de Königsberg) una estipu-

lación de un requisito formal que la mirada tal vez perciba, que la imaginación puede que intuya, pero que el modelo de grafos ha tornado cristalino e inapelable.

En mi crítica del esquema lévi-saussiano, aplicando implícitamente teoría de grafos y lógica bastarda, yo he encontrado que el modelo del avunculado lisa y llanamente no funciona como se esperaría que lo hiciese (cf. Reynoso 2008: 309-340). Reprochando a Radcliffe-Brown su metodología por cuanto ésta “*aísla arbitrariamente* ciertos elementos de una estructura global, que debe ser tratada como tal”, Lévi-Strauss opera como si entre cuatro términos existiesen cuatro relaciones, cuando en realidad hay seis (doce, si es que no son simétricas) o muchas más, por cuanto nunca hay verosímilmente un solo rubro de relaciones entre dos personas cualesquiera. Una “estructura global” como la que él refiere implica lo que técnicamente se llama un grafo completo; los grafos de esta clase (en este caso un 4-clique o  $K_4$ ) poseen exactamente una arista entre cualquier par de vértices y exhiben además numerosas y bien definidas cualidades estructurales, ninguna de las cuales se explota en su análisis a pesar de su palpable relevancia (Harary 1969: 16, 20, 21, 43, 49, 77, 78, 84, 91, 98, etc.; Ore 1974; Wilson 1996; McKee y Morris 1999; West 2001; Rosen 2007: 601; Jackson 2008; Hsu y Lin 2009: 3, 36, 44, 120, etc.). Lévi-Strauss también aísla entonces un número parecido de elementos; resulta extraño, por eso, que la estructura global sea tratada, a los fines de la refutación del modelo browniano, como si estuviera dada en la realidad o como si hubiera una marca formal, susceptible de consenso a través de las teorías, que distinguiera entre las simplificaciones que son arbitrarias y las que no lo son.

Por otro lado, Lévi-Strauss alega haber hallado una constante universal: la relación entre tío materno y sobrino es a la relación entre hermano y hermana, dice, como la relación entre padre e hijo es a la relación entre marido y mujer. De manera tal que conociendo un par [cualquiera] de relaciones, sería posible siempre deducir el otro par (Lévi-Strauss 1973: 41). No hace falta ser experto en teoría de grafos para darse cuenta que esta afirmación no se sostiene. Si se observa con detenimiento la figura 4.3, se observará que en el caso trobriandés la relación tío/sobrino es negativa y la de padre e hijo es positiva; en el caso Sivai también. Pero las otras dos relaciones difieren: entre los trobriandeses es ‘- +’, entre los Sivai ‘+ -’. Aun en un inventario tan pequeño y por más que se admita que el número de signos positivos y negativos es una constante, *no es verdad que conociendo un par de relaciones se puede deducir el otro*. Ciento es que el argumento está envuelto en una espesa retórica; pero me sigue sorprendiendo que en sesenta años nadie (ni siquiera los estudiosos que elaboraron el modelo del avunculado en términos de grafos y álgebras) haya podido percibir este error, argucia o ambigüedad (White 1963; Courrèges 1965; Boyd 1969; Ballonoff 1974; Kemeny, Snell y Thompson 1974; Hage 1976).

Más allá de las críticas que se le puedan hacer al modelo por razones etnográficas, desde el punto de vista de la teoría de grafos es evidente que las “relaciones entre los términos” postuladas por Lévi-Strauss son de orden recíproco y potencialmente asimétrico y demandan por ende un multigrafo cíclico signado, el cual impone, a su vez, una doble valoración de las actitudes entre dos nodos cualesquiera (a menos que la simetría actitudinal de

las relaciones se demuestre antes de manera taxativa o se deje al margen del problema por razones bien fundadas).

Llevado a engaño por una notación de enlaces nacido de un relevamiento centrado en algún Ego antes que del registro de todas las relaciones posibles, Lévi-Strauss también soslaya dos relaciones culturalmente salientes: entre los cuñados y entre la madre y el hijo. En el primer caso ello se debe a que en los diagramas genealógicos no hay ninguna indicación del vínculo, que se presume transitivo y por ende homogéneo a través de la mediación de la esposa; en el segundo la distorsión se origina en el hecho de que por azares de la historia de la notación utilizada un solo vínculo liga al hijo con los dos progenitores. Más todavía que el sesgo de género inherente al supuesto de que el hijo que está presente en un átomo de parentesco es siempre varón (o que nada importaría que no lo sea), la notación gráfica utilizada de manera irreflexiva por los antropólogos desde los estudios fundacionales de Rivers en la expedición al Estrecho de Torres (sobre cuyas limitaciones se tratará varios capítulos más adelante) ha sido la causa eficiente, como queda demostrado, de una serie de simplificaciones modélicas sistemáticamente delusorias.

Pero así como los grafos desvelan errores y elisiones de otro modo insospechados, su uso no está exento de contraindicaciones. En cuanto a la posibilidad de derivar razonamientos antropológicos *dinámicos* rigurosos montados sobre el hecho conveniente de que la teoría de grafos posee una amplia fundamentación establecida en términos de teoremas, por ejemplo, es necesaria una nota de caución: muchos de los teoremas dinámicos más conspicuos se aplican a grafos aleatorios, es decir, a grafos cuya dinámica de evolución es estocástica. Hace rato se sabe que los grafos de ese tipo y los algoritmos que describen las evoluciones que los rigen no son formalismos adecuados para representar las clases de redes que se dan en la vida real o para dar cuenta de los procesos que las generan, mantienen o transforman (Erdős 1973: 344; Barabási 2003: 56; Watts 2004a: 47). Después dedicaré un capítulo entero a tratar esta cuestión.

En antropología la teoría de grafos fue una herramienta que encontró su punto culminante entre mediados de la década de 1960 y el fin de la década siguiente (Flament 1963; White 1973; Hage 1979). Con relativa independencia del ARS, algunos antropólogos utilizaron teoría de grafos en el contexto de una antropología matemática separada tanto de la corriente principal antropológica como de la teoría de redes. En el masivo manual de antropología cultural de John Honigmann (1973) hay un capítulo sobre antropología matemática que incluye teoría de grafos y otro sobre análisis de redes sociales que no tienen casi elementos comunes entre sí (White 1973; Whitten y Wolfe 1973). Más grave que eso todavía es el hecho de que en el mismo tratado se dedica un capítulo al método genealógico y la demografía estructural y otro al parentesco, la descendencia y la alianza que no se relacionan en modo alguno entre ellos ni tampoco con los otros dos (Hackenberg 1973; Scheffler 1973). La modalidad de ARS hoy dominante tampoco ha aplicado sistemáticamente el cuerpo principal de la teoría matemática de grafos sino apenas una parte ínfima de ella; no he podido encontrar, por ejemplo, un solo programa de computadora de ARS que incluya prestaciones para encontrar conjuntos dominantes, identificar árboles abarcadores mínimos, distinguir si un grafo es planar o calcular su número cromático, operacio-

nes cuya relevancia matemática y antropológica también examinaremos poco más adelante.

Al replegarse en el interior de la alguna vez floreciente antropología matemática (una subdisciplina cuyo *journal* epónimo ha dejado de publicarse, cuyo exceso de pomposa notación simbólica y alto umbral de exigencia siempre amilanó al lector común y cuyas cátedras concomitantes hace rato se esfumaron de la currícula) la teoría de grafos desapareció de la escena antropológica junto con las prácticas mal llamadas cuantitativas, barridas ambas por el vendaval de la intransigencia hermenéutica y posmoderna que signó el carácter de la disciplina en el último cuarto del siglo veinte. Combinada a menudo con otras técnicas (teoría de juegos, teoría del equilibrio cognitivo, teoría de la decisión), en ámbitos aislados de las ciencias sociales se usó teoría de grafos más bien para la reducción de datos, junto con el análisis matricial asociado. La reducción de datos, huelga decirlo, nada tiene que ver con un reduccionismo obsesionado por encontrar una *última ratio* fundada en argumentos de naturaleza ontológica; se trata sólo de un proceso que intenta identificar la naturaleza de las relaciones de ordenamiento o de las propiedades estructurales en un corpus de información, reduciendo ese corpus a un modelo que despliega dichas propiedades en grado máximo.

No todas son luces, asimismo, en las ideas que se han pensado en las disciplinas que desde fuera parecen uniformemente rigurosas. Dado que a veces los antropólogos tendemos a sobreestimar las consecuencias del hecho de que exista cualquier asomo de respaldo formal, viene bien saber que en el ambiente matemático de origen la imagen de la teoría de grafos oscila entre una glorificación incondicional y un descrédito absoluto. Escribía Béla Bollobás a principios de los noventa:

La teoría de grafos se encuentra bajo asedio, igual que sus practicantes. Se nos acusa de ser huecos, de no saber o no usar matemáticas reales y de afrontar problemas de escaso interés cuyas soluciones son fáciles, si es que no triviales. Aunque estas críticas a menudo proceden de gente que no tiene simpatía por nada que sea combinatorio, hay una pizca de verdad en estas acusaciones; quizá más que una pizca. En teoría de grafos *efectivamente* escribimos demasiados *papers*, a veces abordamos problemas que *son* demasiado fáciles y tenemos tendencia a quedar envueltos en nuestros círculos de ideas y problemas, sin preocuparnos del resto de las matemáticas. Sin embargo, estoy convencido que esos son mayormente problemas de temprana dentición.

La teoría de grafos es joven, muy joven por cierto, y todavía se encuentra altamente subdesarrollada. Ocasionalmente pretendemos que nuestro objeto se inició en 1736 con Euler y los puentes de Königsberg y que Dénes König estableció 200 años más tarde la teoría de grafos como un área de importancia; pero la verdad es que el campo comenzó realmente a tomar vuelo sólo en los cincuentas y consiguió muchos seguidores recién en los setentas.

Puede que la mayor fuerza de la teoría de grafos sea la abundancia de problemas bellos y naturales que aguardan solución [...] Paradójicamente, gran parte de lo que anda mal con la teoría de grafos se debe a la riqueza de problemas. Es fácil encontrar nuevos problemas que no se basan en ninguna teoría en absoluto, y resolver los primeros pocos casos por métodos directos. Por desgracia, en algunas instancias es improbable que los problemas nos lleven a alguna parte, y debemos estar de acuerdo con Dieudonné respecto de que publicamos soluciones embrionarias para “problemas sin asunto” (Bollobás 1993: 5-6).

Por completo al margen de estas polémicas para bien o para mal, los estudios antropológicos que echaron mano de teoría de grafos son tal vez un centenar. Algunos de ellos son de lectura provechosa todavía hoy, aunque quizá pocos lleguen a constituir obras maestras. Erik Schwimmer, por ejemplo, en un marco comunicacional-semiológico densamente lévi-straussiano, representó el sistema de intercambio de regalos entre las casas de una aldea Papua como un grafo hamiltoniano. Los asociados de un intercambio pueden tomar los requerimientos económicos y políticos en forma directa o a través de intermediarios. El análisis muestra al menos dos rasgos estructurales: “conglomerados” [*clusters*] de asociación estrecha (subgrafos máximos completos) y “circuitos” que unen a los socios mediante intermediarios. Este último es, asegura Schwimmer, “cercano a lo que los teóricos de grafos llaman un circuito hamiltoniano [...] y sería consistente con una ausencia casi total de estratificación” (1974: 231). El texto que refiere el hallazgo de Schwimmer luce bastante añejo para el gusto actual y sus logros fueron relativizados por el oceanista holandés Per Hage [1935-2004], tal vez la máxima autoridad en grafos de la antropología (Hage 1979: 117); pero es la teoría que lo envuelve, un estructuralismo de las mediaciones embarazosamente optimista, lo que ha envejecido más que las técnicas de grafos que le sirven de sustento.

Thomas Crump (1979) aplicó teoría de grafos y en particular árboles y estrellas (ubicuos en los estudios de análisis de grupos de la época) para dramatizar la centralización del poder basada en la ocupación de oficinas político-religiosas en dos grupos del sur de México. De todo el estudio resulta de interés la observación de la correspondencia entre los modelos *folk* y los del antropólogo. “En gran medida –aduce Crump– mi propia razón para ver estas estructuras como puntos y líneas de un grafo es que ésta es sustancialmente la forma en que los informantes las han analizado para mí, a menudo en términos sumamente explícitos” (1979: 27). No será la última vez que se diga que grafos y redes coinciden con la perspectiva del actor.

Pero la verdad es que también hay información contraria al paradigma egocéntrico que echa sombras de duda sobre la realidad psicológica de las abstracciones antropológicas en general y de los fundamentos cognitivos de la llamada “teoría del linaje” en particular. ¿Se parecen en algo –cabe preguntar– los grafos que nos vienen a la cabeza cuando pensamos en cosas y relaciones con los que el nativo imagina al pensar más o menos en lo mismo? Cuando Edward Evan Evans-Pritchard [1902-1973] intentó elicitar un diagrama Núer de las relaciones de “clan” o de “linaje”, el dibujo que le entregaron los informantes no se pareció en nada a la imaginería de árboles y ramas que él esperaba encontrar. Por el contrario, los Núer dibujaron algo así como un foco del cual emanaban rayos que trasuntaban relaciones diferentes a las consideradas por el estudiioso (ver figura 4.4). Evans-Pritchard lo racionalizó de este modo:

Esa representación y los comentarios Núer sobre ella muestran varios hechos importantes sobre la forma como los Núer ven el sistema. Lo ven primariamente como relaciones efectivas entre los grupos de parentesco dentro de comunidades locales más que como un árbol de filiación, pues las personas que dan su nombre a los linajes no proceden todas ellas de un único individuo (1940: 202-203 [1992: 220-221])

Hay más isomorfismo entre el árbol *etic* de Evans-Pritchard y el grafo Núer de lo que el autor sospecha, sin embargo; aunque en el segundo falte un tronco, denotativo de la idea genealógica de *pedigree*, las ramas divergen desde un mismo vértice. Careciendo de ciclos ambos grafos son, técnicamente, árboles, sólo que la representación ocurre a una escala distinta. Además de sus usuales funciones topológicas, el árbol Núer tiene una pinzellada de geometría, dado que la longitud de las aristas y su orientación son también significativas; pero ésa es su mayor diferencia sustancial. Los árboles (que se remontan a los trabajos de Gustav Kirchhoff de 1845 sobre redes eléctricas y a los de Arthur Cayley de 1874 sobre enumeración de moléculas) poseen infinidad de propiedades bien conocidas y campos de aplicación en los que ha sedimentado una rica experiencia (como la toma de decisiones, la lingüística, la taxonomía biológica, la ingeniería del conocimiento, la química orgánica, la genealogía, el análisis componencial, la cladística y por supuesto el parentesco) (Reynoso 1986: 85-86; Wilson 1996: 43-59; Balakrishnan 1997: 31, 32, 46-48; Aldous y Wilson 2000: 138-181; Diestel 2000: 251-282; Hsu y Lin 2009: 61-78). Dado lo temprano de la época, a casi nada de todo esto se le pudo sacar algún jugo en tiempos de Evans-Pritchard. Tampoco nadie se ocupó de la cuestión hasta el día de hoy.

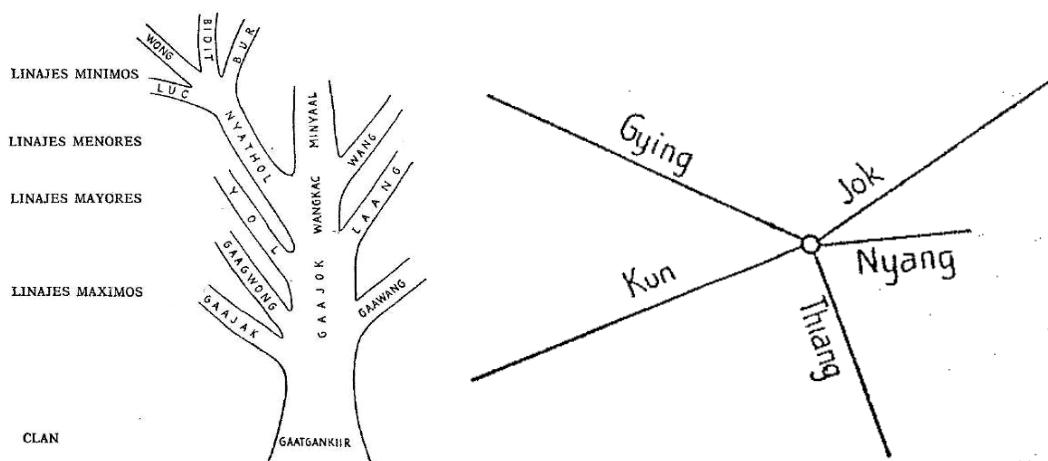


Figura 4.4 – Contraste entre grafo *etic* y grafo Núer (basado en Evans-Pritchard 1992: 216 y 221). Jok, Thiang y Kun (der.) son fundadores de los linajes máximos Gaajak, Gaawong y Gaawang (izq.). El linaje de Gying no pertenece al Gaatgankiir, pero se encuentra junto a Kun debido a la proximidad de sus respectivas secciones. Nyang figura con una línea corta junto a Jok porque vive en la tribu Gaawang junto con un linaje descendiente de Jok.

Curiosamente, los antropólogos nunca se preguntaron sobre si la imaginería de los grafos, de indiscutible pregnancia, es o no universal. He estado tratando de averiguar si la representación de tipo “nodos y aristas” (o una diagramación equivalente) posee algún viso de universalidad o por lo menos algún precedente en otra tradición cultural, o en la antigüedad de Oriente y Occidente. Algo de eso hay, pero con seguridad no es mucho. En Europa la notación genealógica mediante árboles se remonta a los siglos VIII o IX pero recién florece en el XVIII (Bouquet 1993). En la China medieval el diagrama de nodos y aristas mejor conocido quizás haya sido el triángulo de Yáng Huī [楊輝, 1238-1298], una especie de ábaco complejo cuya ilustración más antigua procede del tratado Xiangjie Jiuzhang Suanfa [詳解九章算法], el cual se remonta al año 1261 dC. Algo más temprana es una

versión india dibujada en el siglo X dC por Halāyudha [हलायुध] en su comentario al Chandah-Śāstra de Piṅgala [पिङ्गल]. Ambos son diagramas análogos al triángulo de Pascal y poseen la misma geometría fractal que se encuentra en el triángulo de Sierpiński. Entre ambas versiones se conocen otras debidas al persa Al-Karajī [953-1029], a Omar Khayyam [1048-1123] y a Petrus Apianus [1495-1552]. Algunos de estos diagramas se pueden ver en la Web, otras debí recabarlas en las fuentes publicadas o inéditas; no parece haber mucho más que eso.<sup>15</sup> Hasta el magnífico tratado de cognición matemática de Jamie Campbell (2005) o el ingenioso *Visual complex analysis* de Tristan Needham (1997) guardan silencio sobre la cuestión. Debido a la rareza de su manifestación y a despecho de su “naturalidad” y amplitud de dispersión, hasta tanto se disponga de la evidencia etnogeométrica o etnotopológica requerida me permito dudar, en una palabra y con todo el dolor del alma, que la notación de grafos brinde un acceso privilegiado a la perspectiva del actor, a los arquetipos del inconsciente colectivo, a las estructuras intemporales de la mente humana, a los mecanismos que rigen la pregnancia o al universal cognitivo o simbólico que fuere.

En el orden práctico, mientras tanto, resulta imposible aquí mencionar todos los trabajos antropológicos que han usado creativamente teoría de grafos; aunque muchos de ellos puedan resultar de lectura árida, lo que más asombra es su diversidad: el cognitivista precursor Harold Conklin (1967), por ejemplo, representó patrones de tenencia de la tierra entre los Ifugao de Filipinas como grafos dirigidos para poder observar patrones potenciales e interpretar así los casos concretos; Pierre Maranda (1977) también usó esa clase de grafos en la última década de plenitud estructuralista para representar de la manera más exacta posible la relación entre los personajes en mitos; antes que ganara estado público la teoría de grafos, Jules Henry (1954) usó grafos de Bavelas (cf. más adelante, pág. 69) para contrastar dos clases de organizaciones, “pinos” y “robles”, en las que los miembros, ilustrados con casos de internación psiquiátrica, o bien están subordinados a varias estructuras (generándose situaciones de estrés, doble coacción o disonancia), o bien reciben órdenes de una sola fuente; John Arundel Barnes (1969) utilizó un grafo en estrella en su taxonomía de estructuras de red centradas en el actor o en Ego, denominadas “estrellas primarias Alfa o de primer orden de las relaciones sociales”, y que resultan ser de utilidad en el análisis de movilizaciones de apoyo o en el del ejercicio de presión para la conformidad en redes sociales; Charles Dailey (1976) implementó grafos simples para el análisis de documentos personales, de modo tal que los puntos representan afirmaciones autobiográficas y las líneas su similitud psicológica desde el punto de vista del actor, estableciendo un modelo que está a mitad de camino entre los protocolos clínicos, que eliminan muchos datos, y las historias de vida, que retienen demasiados; y los cognitivos Paul Kay (1975) y Oswald Werner & Joann Fenton (1970) hicieron uso de digrafos para ilus-

---

<sup>15</sup> Véase [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Yanghui\\_triangle.gif](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Yanghui_triangle.gif). Sobre las tradiciones antiguas de notación basada en grafos en altas culturas véase Srinivasiengar (1967); Cajori (1993) [1928, 1929]; Martzloff (1987: 230 & ss., 344-351); Netz (1999) y Ben-Menahem (2009). Sobre grafos en diversas culturas hasta hace poco “ágrafas” en el sentido gramatológico véase Ascher (1988; 1991); Gerdes (2006); Demaine, Demaine y otros (2007). No es probable que hayan existido culturas ágrafas en sentido estricto (carentes por completo de alguna forma de diagramación) en tiempos recientes.

trar las estructuras de las taxonomías folk. Omito por ahora toda referencia detallada a los estudios de parentesco que han usado grafos debido a que luego se tratará esa clase de investigaciones con mayor detalle cuando se aborde el tema de la analítica parental, su desaparición y su posible retorno.

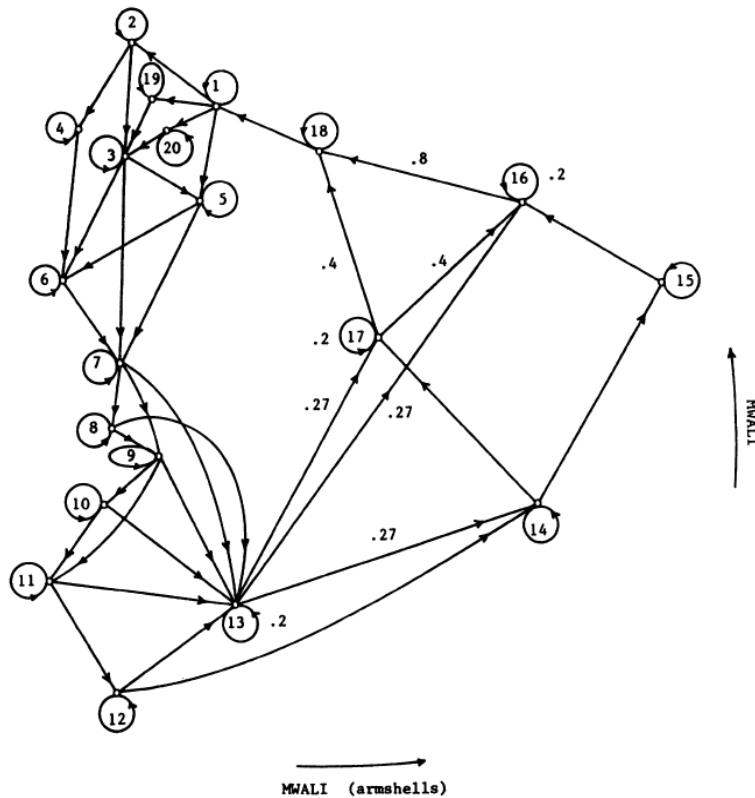


Figura 4.5 – Anillo del Kula basado en digrafos. Circulación del *mwali*.

Comunidades participantes: 1. Kitava; 2. Kiriwina; 3. Sinaketa; 4. Kayleula; 5. Vakuta; 6. Amphletts; 7. N.O. de Dobu; 8. Dobu; 9. S.E. de Dobu; 10. East Cape; 11. East End Islands; 12. Wari; 13. Tubetube; 14. Misima; 15. Laughlan; 16. Woodlark; 17. Alcesters; 18. Marshall Bennetts; 19. Wawela; 20. Okayaulo.

(Hague, Harary y Norman 1986: 111)

La culminación de los estudios antropológicos basados en grafos coincide, como podría esperarse, con el desarrollo de las investigaciones de Per Hage, muchas de ellas en colaboración con Frank Harary. El más representativo de esos trabajos, naturalmente, quizás sea el re-estudio de algunos aspectos del anillo del Kula. Si bien el ensayo pasa en limpio con elegancia la topología del intercambio de los largos collares de concha roja (*soulava*) en el sentido de las agujas del reloj y de los brazaletes de concha blanca (*mwali*) en el sentido contrario con finísimo sentido del detalle etnográfico, percibo que la aplicación del formalismo es un poco obvia, como si no fuera más que un mapeado miembro a miembro entre los elementos de juicio documentados y la nitidez descriptiva del trazado visual de los digrafos (ver figura 4.5). El grafo es menos un grafo que un esquema del mapa cognitivo del antropólogo, convenciones euclidianas de distancia y angularidad de los puntos cardinales incluidas y con el norte religiosamente arriba. En lo personal preferiría que los grafos se traigan a colación cuando la clave en la comprensión del objeto no se reduzca a la indagación de su topografía, sino que afecte a propiedades estructurales

que vayan más allá del plano de la descripción espacial. Complementado por elementos de juicio por demás heterogéneos, el grafo del Kula ciertamente corrobora que la trayectoria del poblamiento y de los circuitos ulteriores resultaba adaptativa y contribuye a explicar algunas percepciones de similitud cultural; pero una cartografía común habría sido igual de eficiente a esos propósitos.

Tampoco me resulta afortunada la decisión de tratar el anillo del Kula como una cadena de Márkov, deduciendo su distribución a partir de las entradas de su vector de probabilidad limitante, como se propuso en el texto monumental de Harary, Norman y Cartwright (1965). Las cadenas de Márkov, bien se sabe, son una variante de camino al azar [*random walk*]; aunque alguna vez se las sobre-utilizara en simulación de procesos en arqueología y etnografía (casi siempre en estudios de poblamiento, difusión y movilidad de cazadores-recolectores o pastores) la tendencia actual es la de sustituir los procesos estocásticos por modelos basados en vuelos de Lévy<sup>16</sup> u otros formalismos equivalentes. Mi relativo recepción hacia las cadenas de Márkov no radica en que se hayan pasado de moda, sino en el hecho de que son estocásticas; por ello quienes todavía concedan crédito a este género de prueba estadística (ver arriba pág. 11 y más adelante pág. 316) deberían utilizarlas como parte de los mecanismos concomitantes a la hipótesis nula, antes que como modelo de las estructuras del proceso efectivo a demostrar.

Aun cuando aquí o allá haya algunos casos fallidos, los casos de éxito del uso de grafos en diversas ciencias son numerosos tanto en la teoría como en la práctica. Más allá de la antropología y de los usos *bons à penser*, los grafos eulerianos y hamiltonianos (y en particular los multidigrafos planares de la especie) han sido y siguen siendo utilizados en la minería de datos en la Web, el diseño de trayectorias para servicios urbanos de vigilancia, recolección de basura, sincronización de semáforos o barrido de nieve, o para servicios de transporte de mercaderías, reparto de correspondencia o suministro de víveres (Liebling 1970; Beltrami y Bodin 1973; Tucker 1973; Tucker y Bodin 1976; Roberts 1978: 65-78; Toth y Vigo 2002; Schenker y otros 2005; Hsu y Lin 2009).

Un requerimiento habitual en estos diseños es que se satisfagan ciertas condiciones de no redundancia a lo largo del tiempo (por ejemplo, estipulando que los recorridos deben cumplirse en días hábiles, o de lunes a sábado). En estos casos los especialistas han encontrado que esta problemática es afín a la coloración de grafos, cuya instancia más conocida es la Conjetura (hoy en día Teorema) de los Cuatro Colores. La *k-coloración* de los

<sup>16</sup> Los vuelos de Lévy (o procesos de Lévy  $\alpha$ -estables), llamados así con referencia al matemático francés Paul Lévy [1886-1971], son una clase de caminos al azar en la cual las longitudes de los pasos se toman a partir de una distribución de probabilidad con una cola de ley de potencia (ver más adelante cap. 11, p. 151). En este contexto esta pauta se conoce también como distribución estable o distribución de Lévy. Las longitudes  $l$  de los saltos o pasos de esos caminos, de tamaño muy variado, se distribuyen como una ley de potencia  $P(l)=l^{-\mu}$  con  $l < \mu \leq 3$  (Viswanathan y otros 1999). Los procesos de Lévy (pero no los gaussianos) describen la difusión en los objetos fractales; los vuelos de Lévy son, en efecto, invariantes de escala, de variancia infinita (excepto para el caso gaussiano  $\alpha=2$ ) y autosimilares (ben-Avraham y Havlin 2000). Como patrones de búsqueda son más eficientes que el movimiento browniano porque (al igual que sucede en la búsqueda tabú) la probabilidad de volver a sitios ya visitados es menor y la de visitar sitios nuevos es más grande.

vértices de un grafo  $G$  es la asignación de  $k$  colores (a menudo los enteros  $1, \dots, k$ ) a los vértices de  $G$  de manera que no haya dos vértices adyacentes con el mismo color. El *número cromático* de  $G$ , denotado  $\chi(G)$ , es el  $k$  mínimo para el cual puede haber una  $k$ -coloración de los vértices de  $G$  (Molloy y Reed 2002: 3). Cuanto más bajo el valor de  $k$  más difícil es la prueba. Cualquier grafo  $k$ -colorizable es también  $(k+1)$ -colorizable (Skandera 2003: 11). Puede considerarse también la coloración de aristas, pero la de vértices es la más común, la que se aplica en la mayoría de los casos y la que se presupone por defecto.

Las aplicaciones de esta combinatoria cromática son numerosas y al menos para nosotros, sorprendentes (Barnette 1983: 7): un teorema que, engañosamente, resultó tener muy poco impacto en la práctica de la cartografía resultó ser esencial en múltiples esferas de la investigación operativa, el planeamiento, la manufactura y la gestión. Muchos procesos de interés antropológico que involucran distribución de elementos o servicios con alguna clase de requisitos o normativas de tiempo o secuencia, al ser isomorfos a problemas de coloración o etiquetado se saben extremadamente duros; pero lo son en un sentido muy preciso y definitivamente instrumental (Roberts 1978: 2). Las técnicas cromáticas, a veces bajo la guisa de otros estilos de procedimiento (PERT, camino crítico, teoría de colas), subyacen a muchas de las aplicaciones de la investigación operativa. En la vida práctica éstas son cualquier cosa menos triviales o abstractas; los problemas de decisión, asignación y coordinación de recursos (con el mismo carácter de subyacencia) impregnán el diseño y la ejecución de diversos procesos de la experiencia cotidiana y la vida social.

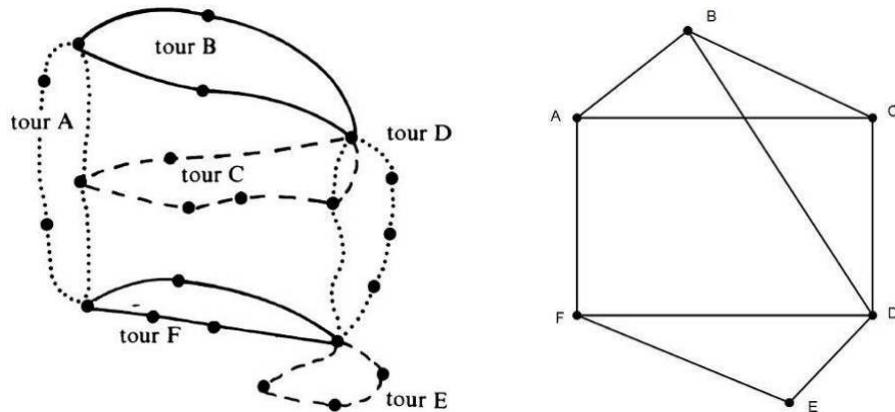


Fig 4.6 – (Izquierda) Rutas de circuitos: ¿es posible programar los *tours* A y B en día 1, B y F en 2, C y F en 3? (Derecha) Grafo del tour: ¿Es el grafo  $G$  3-coloreable? (Basado en Tucker 1973: 589)

En este punto es necesario un toque de advertencia, ya que no porque existan heurísticas matemáticas aptas para afrontar problemas empíricos ellas vienen servidas para su uso *out of the rack*; por el contrario, se verá que la relación entre el planteamiento de los problemas y su representación contradice muchas veces los dictados del sentido común antropológico, el cual, a pesar de sus ínfulas, suele ser extremada y sistemáticamente común. En efecto, he encontrado (y lo comprobé en diversos seminarios y reuniones académicas) que en la literatura técnica el trazado de grafos difiere del que haría espontáneamente un estudiioso entrenado en ciencias sociales. En un problema de circuitos o distribución urbana, éste procuraría, por ejemplo, representar las calles mediante aristas y las esquinas median-

te vértices. Los matemáticos (más emancipados que los antropólogos, sin duda, de la lógica de lo concreto y de las coacciones del lenguaje natural de las que hablaban Bourdieu y Wacquant [2008: 40] sin llegar a liberarse de ellas) tienden a alentar el mapa cognitivo del planteo de modos diferentes. Vaya este caso como ilustración:

Dada una colección de circuitos [*tours*] de camiones de recolección de basura ¿es posible asignar cada circuito a un día de la semana (que no sea domingo), tal que si dos circuitos visitan un sitio en común lo hagan en diferentes días? [...] Para formular este problema en términos de teoría de grafos, si  $G$  es el grafo de circuito (el grafo cuyos vértices son los circuitos) y si existe una arista entre dos circuitos si y sólo si ellos visitan un sitio en común, el problema es equivalente al que sigue: ¿es posible asignar a cada vértice (circuito) uno de los seis colores (días), de modo tal que si dos circuitos se unen con una arista (visitán un sitio en común) obtienen colores diferentes? Esta pregunta deviene entonces: ¿es el grafo en cuestión 6-coloreable? (Roberts 1978: 49).<sup>17</sup>

Es seguro que un antropólogo habría pensado el grafo más bien como una red espacial primal o a lo sumo dual (cf. capítulo §16, pág. 269): puntos para las encrucijadas, líneas para las calles, o (en el extremo de su capacidad de abstracción) a la inversa. Procuraría también, imagino, extrapolar explícita o implícitamente la solución conocida a todo otro requerimiento con algún viso de similitud, pensando que el concepto de semejanza posee algún asidero formal. Quienes han trabajado en problemas inversos, sin embargo, saben (como lo expresaría en términos de la definición de problema que propuse antes [pág. 12]) que expresiones muy semejantes (o incluso idénticas) quizá pertenezcan a (o sean indicadoras de) lenguajes en extremo disímiles. La teoría de grafos ha probado este fenómeno, como se verá ya mismo.

Un problema en apariencia tan parecido al primero como el barrido de la ciudad minimizando el tiempo necesario para llevarla a cabo no acostumbra resolverse por coloración sino mediante la noción de circuito euleriano cerrado. Para esto se requiere trazar el multidgrafo correspondiente a las calles de una ciudad en el cual (esta vez sí) los vértices representan esquinas y los arcos corresponden a los cordones de las veredas, los cuales deben ser recorridos en el mismo sentido. Omito aquí el procedimiento de resolución de este problema, bastante tedioso por cierto; lo esencial finca en su disparidad radical con el desarrollo antes descripto (cf. Liebling 1970; Tucker y Bodin 1976; Roberts 1978: 67-70). El siguiente problema de agenda, en cambio, vuelve a requerir técnicas cromáticas aun cuando no tenga asociado ningún parámetro de espacialidad:

Cada miembro de un congreso o legislatura pertenece a diversas comisiones. Se debe programar la agenda semanal para las reuniones de comisión. ¿Cuántas sesiones de comisión se requieren? Para contestar esa pregunta, trazamos un grafo  $G$  con vértices para las comisiones y una arista entre dos comisiones si sus miembros se superponen (éste sería el gra-

<sup>17</sup> El Problema de los Cuatro Colores, hablando con más propiedad, es equivalente a la coloración de los vértices de los grafos planares. Sobre coloración de grafos y sus posibles aplicaciones en la ciencia y en la vida real véase Ore (1967), Barnette (1983), Fritsch y Fritsch (1998), Molloy y Reed (2002), Marx (2004), Chartrand y Zhang (2009). En este contexto también es relevante el concepto de grafos perfectos (aquéllos en los que el número cromático de cada subgrafo inducido iguala el tamaño del clique más grande que el subgrafo alberga), idea que no he de desarrollar por el momento (Berge 1963).

fo de intersección de las comisiones [...]). Deseamos asignar a cada vértice (comisión) un color (hora de encuentro) de modo que si hay dos vértices unidos por una arista (porque tienen miembros en común), obtienen diferentes horas. El menor número de horas de encuentro requeridas es el número cromático del grafo  $G$ . Un problema similar surge obviamente en la planificación de la agenda de exámenes finales en una universidad. Aquí las comisiones equivalen a las clases (Roberts 1978: 50; cf. Marx 2004: 11).

Pese a que existen demostraciones teóricas positivas para estos problemas de coloración en particular (Appel y Haken 1977; Appel, Haken y Koch 1977; cf. Tymoczko 1979), eventualmente la teoría de grafos debe complementarse con robustos algoritmos de optimización (algoritmo genético, algoritmo cultural, simulación de templado, colonia de hormigas, etc), dado que la mayor parte de los problemas inherentes a estos diseños en apariencia triviales (aun para circuitos con un número relativamente bajo de vértices) suelen ser NP-duros, NP-completos o intratables por medios convencionales (véase al respecto el capítulo 15). No conviene al antropólogo que haya de trabajar en proyectos de planificación urbana o en modelos de estructura análoga ignorar el riesgo de la explosión combinatoria y desconocer los formalismos que se han inventado para hacerle frente.

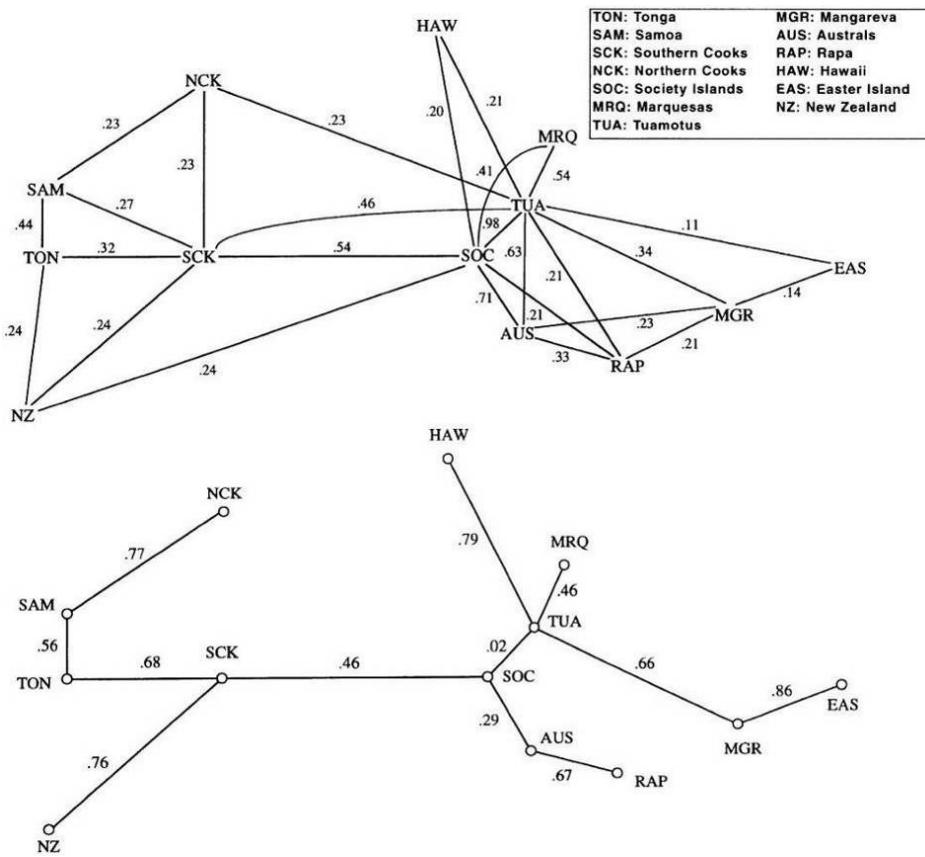


Figura 4.7 – Grafo de proximidad y árbol abarcador mínimo del poblamiento de Oceanía.  
Basado en Irwin (1992) y Hage, Harary y James (1996: 152).

Uno de los ejemplos más dramáticos de la aplicación de teoría de grafos en general y optimización combinatoria en particular concierne a la invención independiente y el uso del llamado problema del árbol abarcador mínimo [*minimum spanning tree problem*, mSTP]

por parte de arqueólogos, antropólogos y matemáticos. En efecto, el arqueólogo Colin Renfrew junto con Gene Sterud (1969) inventó una técnica de seriación denominada “método del doble vínculo de análisis de estrecha proximidad”, sin darse cuenta que su método involucraba un árbol abarcador. Con posterioridad, el arqueólogo e historiador Geoffrey Irwin (1992) propuso un modelo similar para establecer la red de accesibilidad mutua de los archipiélagos polinesios. Este modelo no sólo debía optimizar las distancias (como en el problema del vendedor viajero o TSP),<sup>18</sup> sino resultar congruente con lo que se conoce de las técnicas de navegación, los cambios temporales de la dirección de las corrientes, la existencia de vientos de lado o de popa y las similitudes culturales, lingüísticas y biológicas. A partir de una matriz de accesibilidad entre las islas análoga a la “matriz de coeficiente de similitud” de Renfrew & Sterud, Irwin generó un grafo de proximidad como el que se muestra en la parte superior de la figura 4.7; los valores de las líneas son más altos cuanto mayor la accesibilidad, la cual es a su vez un buen criterio predictivo de patrones de similitud cultural.

El problema con la red de Irwin –señalan Hage y otros– es que contiene muchas aristas superfluas que tienden a oscurecer los paralelismos entre configuración y cultura más que a clarificarlos. En este juicio cada palabra pesa; aunque no lo parezca, la analítica de esta clase de grafos es combinatoriamente explosiva: se ha probado que el grafo de Petersen, bastante más simple que éste, alberga en su engañosa simetría de 10 vértices y 15 aristas nada menos que 2.000 árboles abarcadores (Valdes 1991; Holton y Sheehan 1993; Jakobson y Rivin 1999; Aldous y Wilson 2000: 144; cf. más adelante pág. 75). No cualquier subgrafo minimiza las distancias en el plano abstracto: a la escala de las distancias oceánicas, tampoco cualquier estructura de trayectorias resulta adaptativa o sostenible en la experiencia concreta. Aplicando el algoritmo que había inventado Kruskal para encontrar el camino más corto en un TSP, Hage, Harary y James (1996) elaboraron la red de accesibilidad mutua que se muestra en la parte inferior de la figura 4.7; dicha red es no sólo óptima matemáticamente porque establece un mST, sino compatible con la mayor parte de los hechos conocidos y con las teorías que de ellos dan cuenta.<sup>19</sup> Ni duda cabe que la herramienta constituye, para decir lo menos, un apreciable generador de heurísticas, un mecanismo de evitación de conjeturas que derivan en lo imposible y (al menos en el plano formal) un formidable instrumento de corroboración de hipótesis.

Cada día que pasa se descubre que aspectos sumamente técnicos y en apariencia intrínsecos a los laberintos íntimos de la teoría de grafos rebosan de potencialidades aplicativas insospechadas, como comprobaremos al examinar el concepto de grafos homométricos (pág. 84). Uno de esos aspectos concierne a la idea de dominación en grafos. La forma

<sup>18</sup> Véase más adelante, pág. 222.

<sup>19</sup> El método de [Joseph] Kruskal, creado en la década de 1950, es uno de los algoritmos voraces de tiempo polinómico que más se utilizan junto a los de Robert Prim/Vojtěch Jarník y Otakar Borůvka. Kruskal, matemático y experto en léxico-estadística de las lenguas indoeuropeas, ha sido extraoficialmente alumno de Paul Erdős, a quien me referiré en el capítulo siguiente; ha sido también hermano de William Kruskal [1919-2005], co-creador del test de análisis de varianza Kruskal-Wallis. Terminaré de aclarar la terminología que ha quedado pendiente en el capítulo sobre grafos espaciales hacia el final de la disertación.

más sencilla de ilustrar el concepto es pensando en un tablero de ajedrez de 8x8 casilleros en el cual una reina puede moverse a (o atacar, o dominar) las líneas horizontal y vertical así como las diagonales que pasan por el casillero en el que ella se encuentra. En la década de 1850 se trató de determinar cuántas reinas hacían falta y dónde se las debía colocar para cubrir todo el tablero ya sea con casilleros dominados por las reinas u ocupados por las reinas mismas.

No vale la pena demostrar la respuesta (que es “5 piezas”); lo que sí me interesa señalar aquí es el concepto más general de *dominar los vértices* de un grafo. En este terreno, un conjunto  $S \subseteq V$  de vértices en un grafo  $G=(V,E)$  se llama un *conjunto dominante* si cada vértice  $v \in V$  es ya sea un elemento de  $S$  o es adyacente a un elemento de  $S$  (Haynes y otros 1998: 16). Hay diferentes maneras de definir y encontrar un conjunto dominante en un grafo, cada una de las cuales ilustra un aspecto diferente del concepto de dominación. En un digrafo  $D$ , por ejemplo, un conjunto  $B$  de vértices se llama *conjunto dominante* si aunque  $x$  no esté en  $B$ , hay algún  $y$  en  $B$  tal que  $(y, x)$  es un arco de  $D$ ; el *número de dominación* de un digrafo es el tamaño del más pequeño de sus conjuntos dominantes. Igual que sucede con el número cromático o con los árboles abarcadores, el interés de los matemáticos usualmente radica en determinar los *conjuntos dominantes mínimos*, que en este caso se consideran tales cuando ningún subconjunto de ellos es un conjunto dominante.

Otros conceptos muy útiles en este ámbito son los de *conjunto independiente* y *conjunto estable*. Un conjunto de vértices de un digrafo  $D$  se llama independiente si no hay ninguna arista que vincule ningún par de vértices en el conjunto. Un conjunto de vértices que sea al mismo tiempo un conjunto independiente y un conjunto dominante se llama conjunto estable o núcleo [*kernel*] de un digrafo. Si tenemos un digrafo triangular con aristas que vayan de  $a$  a  $b$ , y de  $b$  a  $c$ , el conjunto  $\{a, c\}$  es el conjunto estable. Los conjuntos estables fueron introducidos (sin referencia a teoría de grafos) en la teoría de juegos por John von Neumann y Oskar Morgenstern (1953: 261) en el proceso de determinar soluciones posibles para distintos juegos. Su relevancia en problemáticas de influencia y política es obvia. Supongamos que los vértices de un digrafo representan posibles resultados de una acción, y que se traza un arco desde el vértice  $x$  al vértice  $y$  si y sólo si hay un grupo de participantes que prefiere  $x$  a  $y$ , y que no sólo tiene esa preferencia sino el poder para hacerla efectiva. Lo que están buscando von Neumann y Morgenstern en este juego es un conjunto de resultados que tiene la propiedad de que ningún resultado en el conjunto sea preferido sobre ningún otro (independencia) y de que por cada  $y$  que no se encuentre en el conjunto exista un  $x$  en el conjunto, tal que  $x$  sea efectivamente preferido por encima de  $y$  (dominación).

Como anticipé, lo notable de estas abstracciones es que todos los conceptos involucrados en la problemática de la dominación son de aplicación práctica en un número creciente de dominios empíricos, tales como la ubicación óptima de puestos de vigilancia en el terreno (Berge 1973; 1991: 303), la instalación de vínculos de comunicación entre ciudades (Liu 1968), la designación de personas representativas de puntos de vista generales dentro de un grupo, la distribución conveniente de estaciones de policía, hospitalares o cuarteles de bomberos en un territorio, la definición de soluciones (en teoría de juegos) a problemas

de votación, regateo económico, negociaciones de desarme, o la satisfacción de requisitos tan peregrinos y rebuscados como encontrar un libro en un sistema bibliográfico desde el cual sea posible ramificarse a todos los demás libros de la biblioteca y que se atenga a la propiedad de que ningún libro de un subconjunto específico (un *conjunto estable*) se refiera a (o dependa de) ningún otro libro de ese conjunto (Roberts 1978: 57-64; Liu 1968).

En materia antropológica, he comprobado que hay una aproximación razonable entre la elección de individuos representativos que respaldarían las posturas de otros individuos de un grupo (modelada por Harary, Norman y Cartwright 1965), la escisión en el equipo de mineros de Zambia descripta en el estudio clásico de redes sociales por Bruce Kapferer (1972), el voto de elección en la segregación de los miembros del club de karate estudiado por Wayne Zachary (1977) y el proceso de encontrar un conjunto dominante o un conjunto estable en un digrafo.<sup>20</sup>

La clave de la cuestión finca en que ninguno de estos casos se estudió en términos de dominación en grafos, lo cual nos lleva a preguntarnos cómo se hace para escoger la clase de grafos o de propiedades adecuadas para la resolución de un problema. La pregunta no tiene una respuesta decidible porque no existe tal cosa como una única proyección “correcta” de una realidad en un grafo (o en el formalismo que fuere); y ello ocurre no porque se trate de una ciencia blanda, sino porque todos estos problemas son problemas inversos. La misma descripción antropológica puede dar lugar a un número indefinido (probablemente muy grande) de aproximaciones distintas, cada una de las cuales ilumina diferentes aspectos de la realidad. Una solución, por bella que sea, es apenas un camino perdido en un espacio de soluciones de un tamaño abismal. Los matemáticos y los expertos en métodos formales saben de esta enojosa característica de los problemas inversos y del carácter provvisorio de toda conjetura que no repose en algún teorema; los científicos sociales no, y de allí la asertividad y el dogmatismo de sus afirmaciones empíricas, de sus giros paradigmáticos y de sus adscripciones teóricas.

Un concepto adicional en teoría de grafos de resonancias antropológicas notables es el de *dualidad estructural*. En un artículo de excepcional claridad, Frank Harary (1957) demostró de qué manera existe para cada tipo de grafo una operación de la cual resulta una ley de dualidad estructural. El concepto es sobre todo útil para el análisis estructural a la manera lévi-saussiana porque clarifica y enriquece un conjunto de significados del término “opuesto”, y porque puede usarse para indagar de qué manera una estructura dada es transformación de otra, por ejemplo: de qué forma un ritual es “la vida social normal [...] ejecutada en reversa” o hasta qué punto un mito es una “inversión” de otro (Hage 1979a: 132). La idea arroja algún grado de precisión sobre las nociones más o menos intercambiables de antítesis, asimetría, ausencia, contradicción, contraste, disparidad, desigualdad, divergencia, enantiosis, inversión, negación, oposición, retrogradación y simetría de Lévi-Strauss, para quien, como dije hace ya unos largos años (Reynoso 1991a), todas las diferencias resultan iguales.

---

<sup>20</sup> Véanse más adelante págs. 111 y 330 respectivamente.

Harary propuso varias clases de dualidades. La *dualidad existencial* se basa en la operación de complementación. El complemento de un grafo  $G$  es otro grafo  $G'$  que tiene el mismo conjunto de puntos que  $G$ , pero en el cual dos puntos son adyacentes o ligados por una línea si y sólo si los puntos no son adyacentes en  $G$  (Harary 1957: 257). La *dualidad antitética* se basa en la operación de negación: la negación  $S^-$  de un grafo signado  $S$  se obtiene cambiando el signo de cada línea de  $S$  (p. 260). La *dualidad direccional* se basa en la operación de conversión: el converso  $D^\vee$  del digrafo  $D$  es el digrafo con el mismo conjunto de puntos que  $D$  en el cual la línea dirigida  $AB$  ocurre si y sólo la línea  $BA$  está en  $D$  (pp. 258-259). Para cada tipo de grafo hay una operación que produce su grafo “opuesto”, y cada teorema de la teoría de grafos resulta en otro teorema (su dual) cuando se reemplazan todos sus conceptos con sus complementos, conversos o negaciones (figura 4.8). De esta manera, correspondiente a una estructura de equilibrio siempre existe una estructura de teorema para el antiequilibrio; una u otra podría resultar útil en una situación determinada (Hage 1979a: 132).

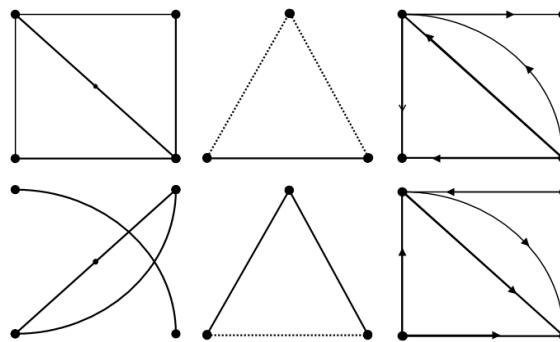


Figura 4.8 – Los grafos de la hilera inferior son complemento, negación y converso de los de la hilera superior

Hay algunas (pocas) aplicaciones antropológicas de la idea de dualidad. Thomas Crump (1979) utilizó la idea de complemento (y por ende la dualidad existencial) para definir grupos exogámicos en un grafo de intercambio matrimonial. Per Hage (1979b) utilizó la negación (dualidad antitética) y la conversión (dualidad direccional), primero por separado y luego en conjunto, para mostrar relaciones transformacionales entre dos versiones freudianas del mito de Edipo según Lévi-Strauss. Ira Buchler y Henry Selby (1968), por último, utilizaron el direccional dual para la derivación de variables de un mito.<sup>21</sup>

Una última clase de análisis basada en teoría de grafos con alto impacto en psicología social, ciencias políticas, dinámica grupal y sociología guarda relación con el concepto de

<sup>21</sup> No confío mucho en ninguna de las aplicaciones mencionadas en este párrafo, incidentalmente; pero ello no se debe a la implementación de teoría de grafos (la cual aclara radicalmente el espectro de las relaciones involucradas) sino a la lógica de clases implicada por el análisis semántico que le precede, del cual la notación gráfica (igual que las expresiones algebraicas de Weil que especifican las relaciones lévi-straussianas) es simplemente una réplica descriptiva expresada en un lenguaje distinto: una taquigrafía de un análisis que se basa en el discurso para generar el grafo inicial y que vuelve a pasar por la máquina discursiva cuando se interpreta el grafo resultante de la operación de dualidad. Ello es evidente en particular en el análisis de Hage (1979b), quien no pone bajo sospecha la asignación de los mitemas sintagmáticos a las clases paradigmáticas que yo he cuestionado en otras partes (cf. Reynoso 2008: 324-340).

equilibrio [*balance*], bien conocido en esas disciplinas a través de elaboraciones que se remontan a las teorías del equilibrio social de Fritz Heider (1946), aunque la problemática se conoce desde la época de Georg Simmel. Hay un eco de estas teorías en un texto bien conocido de Theodore Caplow (1974), *Dos contra uno: Teoría de las coaliciones en las tríadas*, en el cual ciertamente no se utilizan métodos que remitan a la teoría de grafos. Generalizada como teoría del equilibrio estructural, la teoría original de Heider se concentraba en la cognición o percepción individual de las situaciones sociales. La teoría del equilibrio puede que sea discutible a esta altura del desarrollo científico, pero es evidente que la implementación mediante grafos que a propósito de ella elaborara Frank Harary (1954) permite operacionalizarla mejor, utilizarla como referencia para la contrastación y describirla en forma más sistemática, sobre todo cuando los grupos que constituyen el caso son más grandes que simples tríadas.

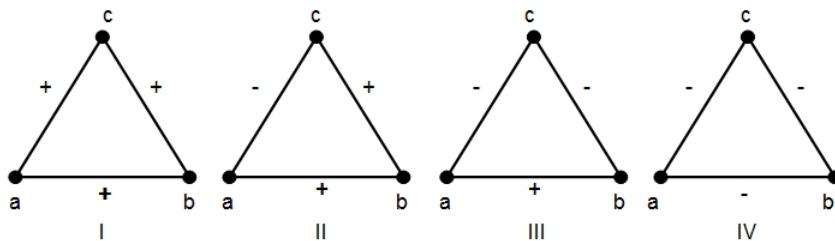


Figura 4.9 – Teoría del equilibrio, de Heider a Harary.  
Para tres sujetos, naturalmente, hay ocho configuraciones posibles de tripletes.

En sociología se ha utilizado el término impreciso de *equilibrio* para describir grupos que funcionan bien juntos, carecen de tensiones, etcétera. En general, se estima que grupos de los tipos I y III (figura 4.9) serían equilibrados, mientras que los de los tipos II y IV no lo serían. Aquéllos se pueden distinguir de éstos porque forman circuitos de signo positivo (es decir que en su ciclo hay números pares de signos “-”). En lo que respecta a tríadas, Heider define como equilibrado un sistema en el cual hay tres relaciones positivas, o una positiva y dos negativas. Es fácil ver por qué: “Yo amo (+) a Jane”; “Yo amo (+) la ópera”; “Jane (+) ama la ópera” es equilibrado; “Yo amo (+) a Jane”; “Yo amo (+) la ópera”; “Jane (-) detesta la ópera” no lo es.

Observaciones como éstas llevaron a Cartwright y Harary (1956) a proponer que se llamaría *equilibrado* a un grafo signado y al grupo de individuos que representa si todo circuito en él fuese positivo (Roberts 1978: 80). El enunciado del teorema es el siguiente: *Un grafo signado es equilibrado si y sólo si los vértices pueden particionarse en dos clases tal que cada arista que vincula vértices dentro de una clase es “+” y cada arista que vincula vértices entre clases es “-”*. A partir de ahí se sigue una cantidad de conceptos, de los cuales el grado de equilibrio es especialmente útil; se lo define en términos de la relación entre el número de ciclos en un grafo signado  $S$ , o en los bloques de  $S$ , y la cantidad de líneas que deben negarse o de puntos que deben removese para que  $S$  se equilibre. El equilibrio se puede restringir tomando en cuenta solamente ciclos de una cierta longitud; se habla entonces de  $n$ -equilibrio, 3-equilibrio, etcétera (Wasserman y Faust 1994: 232).

El número de estudios que ha utilizado teoría del equilibrio en términos parecidos a éstos en diversas disciplinas es demasiado alto para intentar referirlos. El libro canónico sobre el tema es el de H. F. Taylor (1970), aunque en relación con esta tesis la lectura obligada sigue siendo el de Fred Roberts (1976: §3.1). En antropología, Claude Flament (1963) y Michael Carroll (1973) utilizaron el concepto de equilibrio de ciclo en su análisis del “átomo de parentesco” de Lévi-Strauss mientras que Peter Abell (1970) prefirió usar un cálculo equivalente, el equilibrio de participación.

Aunque Hage no lo plantea usando esas palabras, existiría un modelo *emic* de equilibrio incrustado en el sistema de parentesco de los bosquimanos G/wi. Ellos biparticionan su universo de parentesco en relaciones binarias, antitéticas y simétricas de “broma” y “evitación”. Su modelo folk de equilibrio afirma que: (a) una persona debe bromear con el pariente bromista de su pariente bromista; (b) una persona debe evitar al pariente evitador de su pariente bromista [figura 4.8, hilera superior al centro]; (c) sería “malo” o “embarazoso” que una persona bromeara con el pariente que su pariente bromista debe evitar [idem, hilera inferior] (Hage 1976).

Independientemente del valor de la teoría heideriana primaria, a la larga se descubrió que la importancia del concepto de equilibrio en grafos radicaba no tanto en la concidencia de sus postulados básicos con la realidad sino en la productividad de sus generalizaciones en el plano formal, en particular las generalizaciones de conglomerabilidad [*clusterability*] y transitividad; de hecho estas nociones se fueron templando en el ejercicio de numerosas pruebas empíricas y hoy en día constituyen la columna vertebral de los conceptos métricos y estructurales del ARS.

No sólo hay entre el grafo y la cosa representada una conveniente dialéctica entre lo abstracto y lo concreto, sino que las diversas formas lógicas del dominio de la representación que estuvimos viendo están densamente interrelacionadas. Inspeccionando la noción de equilibrio y sus generalizaciones, Claude Flament (1963), por ejemplo, probó que un grafo completo es balanceado si todos sus ciclos de longitud 3 lo son. Esto que parece una observación inconexa en realidad señala una característica interesante de los sistemas modelados con un mínimo de adecuación. Los teoremas de conglomerados de James Davis (1967), junto con el hallazgo de Flament, en efecto, llevaron a la conclusión de que las propiedades de (todos) los tripletes son suficientes para evaluar la condición de equilibrio de un grafo signado completo.<sup>22</sup>

Esas propiedades son entonces indicadoras de características estructurales fundamentales tanto a nivel de la teoría de grafos como en la analítica de redes. Si me he entretenido en narrar su crónica es para que quede en evidencia que las mejores entre esas ideas nacieron del diálogo de las ciencias humanas con los especialistas de la teoría matemática, o del

<sup>22</sup> Puede que a usted, lector antropológico, esta conclusión así como viene le commueva tan poco como a mí. El interés del asunto, empero, radica en la clase de potencialidades y limitaciones formales que tiene un análisis de partes (el “conocimiento local” en torno del cual se desenvuelve la etnografía) de cara al tratamiento de problemáticas de escala mayor bajo presunciones de homogeneidad. Ningún abordaje antropológico de (digamos) la globalización o las sociedades complejas debería desatender este género de cuestiones.

intercambio entre matemáticos con distintas percepciones frente a lo concreto, y que no surgieron ni del consenso corporativo de los analistas de redes de tiempo completo, ni de la elaboración de antropólogos maquinando en solitario, ni fueron engendradas (como se dice) *out of the thin air* por motivos contingentes. Como decía George Pólya, quizá el más notable estudioso de las lógicas inherentes a la resolución de problemas, “ningún problema es jamás resuelto en forma directa” (Rota 1998: 5). Más que de los formalismos del cálculo, puede que haya algo que aprender de esos modos híbridos de producción del conocimiento. Más adelante seguiré tratando las derivaciones formales de la teoría del equilibrio con el debido detalle (cf. pág. 198 y ss.).

A esta altura del desarrollo de la idea, podría seguir tratando las correspondencias entre aspectos de la problemática antropológica y conceptos organizadores emanados de la teoría de grafos indefinidamente. He dejado sin tratar, por ejemplo, categorías tales como orientaciones transitivas, orientación de grafos y grafos de intervalo (aptas para representar evaluaciones de preferencia o indiferencia, o para analizar secuencias y superposiciones en la seriación histórica y arqueológica), o los grafos de indiferencia (adecuados para el análisis de grano fino de decisiones complejas hechas por individuos, grupos o sociedades), o la clase de artefactos que surgen de imaginar “cajas” en grafos de intersección en el espacio euclíadiano (excelentes para estudiar el tejido de las redes ecológicas, la competencia por los recursos, los nichos, las superposiciones de especies en los mismos nichos, los procesos de ajuste entre cultura y ambiente o de intervención como los que estudió Roy Rappaport entre los Tsembaga), o el modelado estructural y los procesos de pulsos (aplicables al modelado de la polución ambiental, de las reglas matrimoniales, de los sistemas de transporte, de las energías alternativas, de las políticas ambientales), o la idea de condensación en digrafos (explotada en el análisis del sistema de Grandes Hombres en Nueva Guinea), o las tríadas de trayectorias consistentes (instrumentada en el examen de relaciones de autoridad en la estructura social). La bibliografía sobre estos respectos no tiene aire de contemporaneidad y es virtualmente desconocida en la corriente principal antropológica; pero es masiva y ejemplar, y no merece el olvido (Robinson 1951; Kendall 1963; 1969; Sweetser 1967; Livingstone 1969; Chen 1971; Hoffmann 1971; Wilkinson 1971; Roberts 1976; 1978: 15-47, 89-99; Hawkes 1977; Rappaport 1984).

La lección que podríamos destilar de ese repositorio es que si bien cada caso tiene sus matices, las estructuras de problemas que pueden encontrarse en la práctica son recurrentes. Faltando en nuestra disciplina la más mínima noción de clases de problematicidad (y estando sujetos, como todo el mundo, a impedimentos lógicos que fueron pensados por Hilbert, Turing, Hadamard...) no es posible, por desdicha, establecer a priori cuál es el algoritmo de grafos (de entre todos los que habitan un repositorio cada vez más grande y laberíntico) que conviene usar en qué circunstancia.<sup>23</sup> También sucede que en estos mun-

---

<sup>23</sup> Esto es: resulta imposible, por un lado, determinar de manera general si un determinado algoritmo ha de encontrar una solución, dado que el *Entscheidungsproblem* es, como probó Alan Turing en una demostración de una lucidez que quita el aliento, indecidible; y también lo es inducir una sola solución (o determinar la solución óptima) para un problema inverso (Gandy y Yates 2001: 3-56; Turing 1937; Tarantola 2005). De más está decir que estos dilemas no sólo afectan a las ciencias llamadas duras o formales. Que en las que se reputan blandas o humanas no se tome conciencia del asunto –insisto– es otra cuestión.

dos complejos (el de la vida real y el de las matemáticas) la definición del procedimiento adecuado es, como se ha visto, extremada y desproporcionadamente sensitiva a las variaciones de escala del problema. Pero la fuerza y la sutileza de esta familia de ideas no son por ello menos formidables. El antropólogo Per Hage (1979: esp. 132-133) vislumbró algunos usos posibles de esta clase de conceptos en la disciplina, pero lo mejor de sus prestaciones está todavía esperando que se las implemente. Después de todo, los descubrimientos críticos en materia de redes que nos ocuparán más adelante ocurrieron veinte años más tarde de que se formularan esas intuiciones.

Recién después que la mayor parte de las aplicaciones antropológicas que usaban teoría de grafos se consumara, el campo de exploración de las clases de grafos se consolidó, alcanzando recién un nivel explosivo en lo que va de este siglo. La especialización se inició sin duda en 1980 con los primeros *surveys* de Martin Charles Golumbic (2004) en los que redescubrió la superclase de los grafos perfectos propuestos veinte años antes por Claude Berge e ilustrados con un caso de servicios municipales.

Allí fue donde comenzó a armarse la taxonomía de las especies de grafos, cada cual con su exquisito conjunto de propiedades bien definidas y sus algoritmos de tratamiento asociados: grafos de comparabilidad (o transitivamente orientables), de intervalos, de permutación, partidos, superperfectos, de umbral, de acorde. Las clasificaciones se coronan con el magistral tratado de Brandstädt, Le y Spinrad (2004) en el cual se describen más de docenas de clases. Hace apenas semanas se ha publicado *Networks in Action* (Sierksma y Ghosh 2010), un compendio de algunas de las cosas que pueden hacerse en las disciplinas más diversas con el inmenso *insight* que se está ganando. Las prácticas se han probado en disciplinas y especializaciones administrativas que reciben nombres tales como investigación operativa, optimización combinatoria, programación lineal, modelos de toma de decisión, gestión logística. Los textos mencionados y muchos más, rebosantes de toda suerte de ideas, presentan elementos relationales que bien pueden funcionar como primitivas para re-imaginar los viejos conceptos o para pensar otros que en las ciencias sociales todavía están pendientes de descubrimiento.

Aquí es donde cuadra, al fin, la especificación de las primeras consecuencias epistemológicas que irán estableciendo, al terminar cada capítulo, los elementos de juicio que al cabo del texto articularán el aparato demostrativo de esta tesis.

**Consecuencia n° 1:** La moraleja epistemológica a sacar de este primer punto en el tratamiento de la teoría de redes es que al menos unos cuantos problemas de la investigación empírica en ciencias sociales podrían abordarse (si es que no resolverse) en función de las propiedades universales de la topología o de la estructura conceptual del fenómeno, antes que en función de los detalles contingentes del caso en particular. Décadas antes que los científicos formales pensaran en clases de problemática escribió la socióloga Florence Kluckhohn:

Hay un número limitado de problemas humanos comunes para los cuales todos los pueblos en todas las épocas deben encontrar alguna solución. [...] Todas las variantes de todas las soluciones están en grados variables en todas las sociedades y todas las épocas (1963: 221).

También decía Clifford Geertz en “Persona, tiempo y conducta en Bali”, escrito en 1966:

En cualquier sociedad, el número de estructuras culturales en general aceptadas y frecuentemente usadas es extremadamente grande, de manera que discernir aun las más importantes y establecer las relaciones que pudieran tener entre sí es una tarea analítica considerable. Pero la tarea se ve algún tanto aligerada por el hecho de que ciertas clases de estructuras y ciertas clases de relaciones entre ellas se repiten de una sociedad a otra por la sencilla razón de que las exigencias de orientación a que sirven son genéricamente humanas (1987: 301)

Por una vez, el futuro creador del enfoque hermenéutico, con quien casi nunca estoy de acuerdo, ha sabido poner en dedo en la llaga y señalar un criterioso argumento universalista, aunque a su razonamiento puede que le falte una vuelta de tuerca. Cuando él dice que “ciertas clases de estructuras o relaciones” poseen “exigencias de orientación” universales, ello podría suceder no sólo porque ellas sean genéricamente humanas (una inferencia cercana a la trivialidad), sino porque resultan congénitas a la naturaleza formal del problema, la cual puede que no implique una “sencilla razón” sino algo bastante más complejo y elusivo que eso.

Que yo haya escogido mi ejemplo de entre las ideas geertzianas no es casual. Lo que pretendo señalar es que en ellas, igual que en otras elaboraciones interpretativas, está faltando una inspección genuina de la naturaleza hermenéutica del problema y de la lógica de la clase de preguntas que en función de esa naturaleza corresponde hacer. Aun cuando luzca moralmente virtuoso exaltar la imaginación en el planteo de preguntas, en algunas disciplinas ha llegado a aprenderse, por la vía dura, que no todas las estructuras de interpelación pueden ser resueltas, que tal vez sean muy pocas las formas que sí admiten una solución y que (por el contrario) algunos dilemas que creemos bordean lo insoluble podrían ser de fácil tratamiento o quizás ya estén resueltos en alguna especialidad de la cual ni siquiera registramos la existencia. En antropología se ha hecho costumbre sobreestimar los estudios o las críticas que se fundan en una etnografía saturada de términos nativos, en una escritura persuasiva, en un *expertise* ligado a dominio o en un trabajo de campo prolongado; todo eso es relevante y sustutivo, por supuesto, pero hay muchas otras posibilidades de razonamiento ahí afuera y muchas otras variedades de comprensión.

A lo que voy en esta primera lección es al hecho de que aun una leve reflexión sistemática sobre los constreñimientos estructurales de un problema ayudaría a evitar más de una falacia recurrente en la investigación sociocultural. No se necesita echar mano de teoría de redes de última generación para señalar y soslayar lo que Jorge Miceli, tomando la idea de la arquitectura de software, ha sugerido llamar “antipatrones” del razonamiento antropológico, pero una parte de mi conjectura apunta en esa dirección. Tres breves ejemplos de señalamiento de inferencias incorrectas formalmente evitables vienen aquí a cuenta: el principio de Condorcet, el teorema de la imposibilidad de Arrow y la falacia de la personalidad modal de las escuelas de Cultura y Personalidad.

- El principio de Condorcet (1785) se manifiesta en sistemas de votación muy simples y poco numerosos en los cuales se establece como condición que cada votante exprese sus preferencias mediante un rango. En una situación con tres votantes

(A, B y C) y tres candidatos ( $x, y, z$ ), si A elige  $x-y-z$ , B escoge  $y-z-x$ , mientras C prefiere  $z-x-y$ , no se podría generalizar un orden de preferencia, porque  $x$  derrota a  $y$  por 2 a 1,  $y$  vence a  $z$  por la misma cantidad y lo mismo sucede con  $z$  y  $x$  (Blair y Pollack 1999). Simple y lúdica como parece, la paradoja de piedra-papel-tijera (el dilema del prisionero, en último análisis) aparece en la problemática social con acerba recurrencia.

- El teorema del Premio Nóbel Kenneth Arrow (uno de los más distorsionados por lecturas simplistas después del teorema de Gödel) también tiene que ver con mecanismos de votación, o sea que presenta un problema de decisión. Lo que el teorema demuestra no es que no se puede pasar de lo individual a lo general, sino que ningún mecanismo de votación colectivo puede cumplir simultáneamente con un conjunto acotado de condiciones (no-dictadura, universalidad, independencia de alternativas irrelevantes [IAI], monotonicidad, soberanía del ciudadano, eficiencia de Pareto). Lo que Arrow quiere decir con esto es que un mecanismo de votación es no lineal y no trivial y que para predecir un resultado se debe utilizar necesariamente teoría de juegos o un modelo de simulación. Por último, y según lo ha probado teóricamente Edward McNeal discutiendo el problema de “cuál es la mejor ciudad para vivir”, la condición de IAI (que impide crear una medida escalonar homogénea a partir de diferentes categorías incommensurables o sensibles al contexto) impediría por ejemplo llevar a la práctica el modelo de grilla y grupo de la antropóloga Mary Douglas (Arrow 1950; McNeal 1994).
- El concepto abstracto del “hombre promedio” de Adolphe Quetelet [1796-1874] y la “personalidad modal” de la vieja antropología psicológica son también expresiones sistemáticamente engañosas, como diría Gilbert Ryle (1932). Muchas veces hablamos de un americano típico, un Tchambuli característico, un Kwakiutl representativo, y construimos esa tipicidad en base a los valores intermedios de un conjunto de variables. Pero una persona construida de ese modo puede no corresponder a ningún caso real y ser una construcción intelectual simplemente ultrajante; si tomamos, por ejemplo, un conjunto de triángulos rectángulos de distintas longitudes de lados, está claro que el triángulo que resulta de la media aritmética de cada uno de los lados y de la hipotenusa no satisface el teorema de Pitágoras; lo mismo se aplica, más dramáticamente, a los perfiles de personalidad (Bertuglia y Vaio 2005: 7). Una vez más mi alusión a Gilbert Ryle (filósofo favorito de Clifford Geertz) no es accidental; la objeción que he señalado (emparentada con la falacia ecológica) viene a cuento cuando uno, por ejemplo, generaliza lo que se sabe de unos pocos personajes por él conocidos a “los balineses” en general. Hay desde ya generalizaciones legítimas (pasar del caso singular a la forma del problema, por ejemplo); pero esta variedad explícitamente denominada “generalización en el interior de los casos”, en la que incurren de manera sistemática no pocos particularistas, taxativamente no lo es. Mucho menos todavía –como se comprobará más adelante– cuando la distribución estadística prevaleciente en un orden cualquiera no es una distribución normal.

La teoría de grafos es especialmente hábil en lo que atañe a establecer si ciertos procesos en apariencia simples son viables o si no lo son. Propongo este ejemplo trivial: en un grupo con nueve subgrupos (representados por nodos), si la premisa es que todos los subgrupos tienen que dar o recibir tres documentos (o –pensando en Lévi-Strauss– tres mujeres) hacia y desde cualesquiera otros, es imposible que cada miembro entregue y reciba documentos o mujeres de los mismos subgrupos. Para ello debería ser viable un grafo de grado 3 en cada uno de sus 9 vértices. Pero eso es imposible, dado que *todo* grafo con nodos de grado impar (sea cual fuere su configuración) posee un número par de vértices de dicho grado; o lo que es lo mismo, la suma de los grados de cualquier grafo siempre es un número par (West 2001: 35-36).

Hay otras docenas de ejemplos de relaciones que parecen posibles a primera vista pero que la teoría combinatoria sabe impracticables y también viceversa. Éste es, verbigracia, un ejemplar famoso en el género: Supongamos que hay seis personas sentadas en el vestíbulo de un hotel; hay que probar ya sea que tres de ellas se conocen entre sí, o que hay tres que no se conocen.

Aunque parezca absurdo, tal prueba es por completo superflua, lo cual se ha demostrado una vez más mediante el clásico procedimiento de coloración de grafos: cualquiera sea la relación existencial entre las personas, es inevitable que exista al menos una tríada de conocidos y/o una de perfectos desconocidos para un grafo de seis vértices. La prueba canónica (que no reproduciré aquí) es un caso de la llamada teoría de Ramsey, llamada así en homenaje a Frank Plumpton Ramsey [1903-1930], el primero en investigar este campo de la teoría de la enumeración a principios del siglo XX (Graham, Rothschild y Spencer 1990; Gardner 2001: 437-454; Bóna 2006: 287-288). La pregunta formulada en el problema de Ramsey es: ¿cuál es el número mínimo de elementos que debe tener un conjunto para que en él se presente un número  $n$  de subconjuntos de  $r, \dots, s$  elementos?<sup>24</sup> Una manera más formal de presentar el teorema del cual se derivó la teoría es ésta:

Siendo  $S$  un conjunto que contiene  $N$  elementos, y suponiendo que la familia  $T$  de todos los subconjuntos de  $S$  que contienen exactamente  $r$  elementos se divide en dos familias mutuamente excluyentes,  $\alpha$  y  $\beta$ , y siendo  $p \geq r$ ,  $q \geq r$ ,  $r \geq 1$ . Entonces, siendo  $N \geq n(p, q, r)$ , un número que depende sólo de los enteros  $p$ ,  $q$  y  $r$  y que no está en el conjunto  $S$ , será verdad que hay ya sea un subconjunto  $A$  de  $p$  elementos, todos cuyos subconjuntos  $r$  están en la familia  $\alpha$ , o que hay un subconjunto  $B$  de  $q$  elementos, todos cuyos subconjuntos  $r$  están en la familia  $\beta$  (Hal 1986: 73).

<sup>24</sup> El problema en cuestión es el que se conoce como Problema E 1321 y se publicó en *The American Mathematical Monthly* de junio-julio de 1958. A la misma familia de teorías en que se encuentra este problema pertenecen el principio del nido de palomas [*pigeonhole principle*] y el principio de las cajas [*Schubfachprinzip*] de Johann Dirichlet. Una familia afín de problemas analíticos se agrupa en la llamada teoría de grafos extremales [*extremal graph theory*], consistente en el análisis del número de aristas u otras propiedades que debe poseer un grafo de  $n$  vértices para garantizar que contenga (o no) un cierto grafo o tipo de grafo (Turán 1941; Valdes 1991; Stechkin y Baranov 1995: 101-136; Jakobson y Rivin 1999; Rosen y otros 2000: cap. 8.11.1; Bollobás 2001: 103-144; Gross y Yellen 2004: cap. 8.1; Bollobás 2005: 163-194). La relevancia antropológica de esta teoría es palpable, dado que ella estudia la forma en que las características globales inciden en los atributos locales.

Este ejemplar de la teoría de la enumeración, cuyo planteo se conoce como el teorema de amigos y extraños y cuya notación es  $R(3,3)=6$  (siendo 6 el número de Ramsey y denotando 3,3 dos subgrafos completos de tres elementos cada uno) es al mismo tiempo la punta del iceberg de un campo combinatorio caracterizado por la completa ausencia de métodos de prueba que no sean de fuerza bruta y por la explosión de la dificultad de la prueba incluso ante grafos completos de un número de vértices relativamente bajo.

El hecho es que las soluciones a problemas de Ramsey se conocen para una cantidad muy pequeña de casos. Para dos colores o propiedades el inventario se reduce a  $R(3,4)=9$ ,  $R(3,5)=14$ ,  $R(4,4)=18$ ,  $R(3,6)=18$ ,  $R(3,7)=23$ ,  $R(3,8)=28$ ,  $R(3,9)=36$ ,  $R(4,5)=25$ ,  $R(6,7)=298$ . Para algunos casos [por ejemplo  $R(3,10)=40-43$ ] sólo se pueden establecer los límites inferior y superior del número correcto. Insólitamente, la diferencia entre el procedimiento para encontrar el número de  $R(4,4)$  y el de  $R(5,5)$  es tan mayúscula que mientras el primero se conoce bien hace ya mucho tiempo el segundo es probable que no se conozca jamás, aunque se sospecha se yace entre 43 y 49. Algunos autores (p. ej. Stanisław Radziszowski 2009) han ganado alguna celebridad calculando por ejemplo  $R(4,5)$  y armando el *survey* de los pequeños números de Ramsey hasta el fecha. Grandes talentos de la combinatoria se han consagrado a encontrar soluciones en este campo: Václav Chvátal, Paul Erdős, Ronald Graham, Donald Knuth, Jarik Nešetřil, Frank Harary.

Cada tanto surgen espíritus nobles que proclaman que existen objetivos humanos y científicos más urgentes que el de tratar de encontrar números de Ramsey para diferentes casos combinatorios (Gardner 2001: 452). Seguramente es así. No obstante, la “utilidad” conceptual de los planteos de Ramsey y de otros de la misma especie es incontestable: si logramos articular un problema de modo que tenga una estructura de propiedades bien conocida, en muchos casos es posible determinar a priori qué clase de soluciones admite, o si no admite ninguna, o si las que admite son duras de tratar, o si existen regiones en el espacio de coordenadas que por razones imperativas de combinatoria quizá permanezcan por siempre en la oscuridad. Lo que probó Ramsey, al lado de eso, es que en los conjuntos (suficientemente) grandes las estructuras (y por ende, algunas medidas de orden) son inevitables; “el desorden completo –decía Theodore S. Motzkin– es imposible” (Graham 2006; Graham 1983).

Por otra parte, las aplicaciones de las ideas relacionadas con esta clase de problemas tienden hoy a lo innumerables; las hay en terrenos tan diversos como el análisis espectral, el análisis de recurrencia en sistemas dinámicos y en series temporales, en ciencia de la computación, teoría de la información, diseño de canales de comunicación, computación distribuida, demostración automática de teoremas, economía, juegos y teoría de juegos (Roberts 1984; Rosta 2004). Aunque en apariencia nos hayamos alejado del centro de la cuestión, el ARS (por la tortuosa vía de la teoría de grafos) alumbría con especial claridad estas problemáticas de constreñimiento estructural casi nunca afrontadas, revelando la existencia de los mismos problemas en territorios disciplinarios que para una perspectiva concentrada en lo particular no están relacionados en absoluto, o sólo lo estarían si se hallaran bajo la dictadura de algún reduccionismo.

**Consecuencia nº 2:** El corolario más fuerte de la lección de Euler testimonia y exalta la capacidad profundamente humana de la abstracción (Fiddick, Cosmides y Tooby 2000). Esta tesis es antagónica a la que encontramos en el ya aludido conocimiento local geertziano, en la esfera del conocimiento específico de dominio y en las jergas privadas de las disciplinas contemporáneas, en la propensión de los antropólogos especializados en áreas (antropología médica, jurídica, musical, económica) a no familiarizarse con demasiada teoría fuera de la que se gesta en su propio campo, y sobre todo en la resistencia a la abstracción por parte de, por ejemplo, Edgar Morin, quien por un lado cuestiona la hiperespecialización y por el otro sostiene que las ideas generales son ideas huecas y que toda abstracción es mutilante (Morin 1998: 231; 2003: 142).

Frente a ello invito a pensar la teoría de grafos en ajuste con los niveles de abstracción que el problema requiere, considerando los grafos mismos como una notación entre muchas otras posibles, como signos contingentes de las relaciones estructurales que denotan (abstracciones de abstracciones) y no tanto ya como los dibujos analógicos que bosquejan la realidad de manera realista, por más reveladora que se muestre la dimensión visual en ciertos respectos. No es casual que los mejores libros técnicos en ese campo prescindan de abundar en diagramas; por áridas que sean las consecuencias de esa decisión, ella permite que la imaginación se centre en las inflexiones críticas del problema, liberándose de la camisa de fuerza de una representación que siempre será circunstancial, uno solo entre infinitos isomorfismos y analogías disponibles, algunos pocos de ellos esclarecedores, otros muchos decididamente no. Al cabo, la representación no debería ser mucho más que un artefacto pedagógico; los matemáticos, de hecho, no conciben primariamente los grafos como dibujos de línea y punto: “La gente considera útiles los dibujos (escribe Lawler 1976: 20). Las computadoras no”. “Es útil (llegan a conceder Bunke y otros 2007: 32) representar los grafos con un diagrama”. Útil, entonces, pero no primordial.

La abstracción no sólo consiste en actos de renuncia a la representación imaginaria, en la adopción de una resolución empobrecida o en la supresión de denotaciones del dominio empírico, sino que encuentra fuerzas insospechadas en la parcialización del problema. A diferencia de lo que pensaba Lévi-Strauss sobre el tratamiento del avunculado por Radcliffe-Brown, o de lo que sostenía Clifford Geertz a propósito de lo que fuere, el planteamiento de un problema no siempre se perfecciona agregando matices y elementos de juicio, atiborrando la representación con todo lo que es o podría llegar a ser relevante; más a menudo, como en la planarización de grafos, un problema imposible deviene tratable eliminando vínculos, dejando de lado (arbitriariamente, como no puede ser de otro modo) la consideración de las relaciones que desde ciertas perspectivas se comportan como árboles que encubren al bosque (Kant 1961: 21-28).

Parecido a este procedimiento es la *reducción* de un problema complejo a otro cuya resolución se conoce. Esta técnica podría ilustrarse mediante una vieja parábola rusa muy apreciada por los teóricos de grafos, álgebras y programación lineal, y similar en su esencia a los mejores métálogos de la antropología:

Un matemático le propuso a un físico: “Supongamos que tienes una tetera vacía y un mechero de gas apagado. ¿Cómo haces para hervir agua?”. “Llenaría la tetera de agua, en-

cendería el mechero y pondría la tetera sobre el fuego”. “Correcto”, dijo el matemático, “y ahora te propongo resolver otro problema. Supongamos que el gas está apagado y la tetera llena. ¿Cómo harías para hervir el agua?”. “Eso es aun más simple. Pondría la tetera sobre la llama”. “Erróneo”, exclamó el matemático. “Lo que tienes que hacer es apagar el fuego y vaciar la tetera. Esto reduciría el problema al problema anterior”. Esta es la razón por la cual cuando uno reduce un problema a otro ya resuelto, se dice que aplica el principio de la tetera (Vilenkin 1971: 11 según Lawler 1976: 13)

Hay algo de espíritu Zen en esta deliciosa paradoja; en lo que a mí respecta, no me explico cómo fue que Gregory Bateson dejó pasar la idea.

Pocas expresiones clarifican con tanta justicia la modulación del nivel de abstracción de la teoría de grafos (o de otras análogas, admitamos) como estas notas de David Jenkins referidas a la asociación entre el antropólogo Per Hage y el matemático Frank Harary:

Ellos propusieron modelos de redes para el estudio de la comunicación, la evolución del lenguaje, el parentesco y la clasificación. Y demostraron que la teoría de grafos proporcionaba un *framework* analítico que es tanto suficientemente sutil para preservar las relaciones culturalmente específicas como suficientemente abstracta para permitir la genuina comparación transcultural. Con la teoría de grafos pueden evitarse dos problemas analíticos comunes en antropología: el problema de ocultar fenómenos culturales con generalizaciones transculturales débiles, y el problema de realizar comparaciones engañosas basadas en niveles de abstracción incomparables (Jenkins 2008: 2).

Uno de los fenómenos que se manifiestan con más frecuencia en las numerosas ramas de la teoría de grafos es el de la *generalización de los problemas*, una categoría epistemológica comprendida pobremente en ciencias sociales, donde es objeto de un tratamiento descarnado que se limita a alimentar posiciones antagónicas, monolíticas, de brocha gorda, en una contienda inconcluyente entre particularistas y generalistas. Aquí es donde se pone de manifiesto que a ambos lados de la divisoria el concepto de generalización (así como la lógica argumentativa para su aceptación o rechazo) está sin elaborar. Es sorprendente que sean nuestras disciplinas (que se precian de ser las más densas descriptivamente y que por ello rebosan de verbosidad) las que poseen el concepto de generalización más pobre, esquemático y lineal.

En matemáticas las generalizaciones no se refieren sólo a extender la validez de un caso a otros casos en el mismo espacio y a la misma escala, sino a poner a prueba una solución en ámbitos de más alto nivel o diferente cardinalidad, dimensionalidad o naturaleza. En el campo grafo-teorético, en particular, las generalizaciones han dado lugar a aplicaciones y procedimientos nuevos: la teoría del equilibrio se generalizó como equilibrio estructural, éste se generalizó como *clusterability* y ésta a su vez como transitividad. De la misma manera, el trabajo con hipergrafos en lugar de grafos (por poner un caso) permitió simplificar el tratamiento de problemas o encontrar soluciones que no eran perceptibles en el otro régimen; el análisis de variaciones de un problema de reconstrucción de grafos hizo que se introdujera en la especialidad nada menos que la noción de inferencia estadística; el modelado intensivo resultó en el descubrimiento de que determinadas propiedades de los árboles eran aplicables también a grafos, digrafos, relaciones, etcétera; o que mientras algunas cosas que se creían parecidas escondían diferencias, era lo mismo hablar de eti-

quetado que de coloración u homomorfismo, o de rectángulos latinos que de ciclos hamiltonianos (Harary 1969: 180; Capobianco 1978: 136; Nishizeki y Chiba 1988: 170, 214; Berge 1991: 7, 199, 200, 360; Diestel 2000: 88, 136, 211; Molloy y Reed 2002: 28, 29, 221-230; Gross y Yellen 2004: §4.7.4; Hsu y Lin 2009: 3, 49, 666). Para mayor abundancia, resultó ser que la interacción de matemáticos, estudiosos de la sociedad y científicos empíricos generaba nuevos e imprevistos vórtices de ideas por todas partes. Como decía Gabriel Dirac, “[l]a coloración de grafos abstractos es una generalización de la colorización de mapas, y el estudio de la colorización de grafos abstractos [...] abre un nuevo capítulo en la parte combinatoria de las matemáticas” (Dirac 1951). Y así todo.

La generalización de no pocos problemas canónicos de la optimización, además, ha revelado una madeja de sub-estrategias intervinculadas que requieren una comprensión diferencial. El problema de ruteo de vehículos (PRV ó VRP en inglés), por ejemplo, es una generalización del clásico TSP, al cual añade constreñimientos colaterales para limitar el número de vértices que se pueden visitar en un *tour* individual, definiendo un vértice particular (el depósito) desde donde parten y donde terminan todos los recorridos. Estos trazados han encontrado una muchedumbre de aplicaciones en la vida real: en el modelado de las actividades de transporte en las cadenas de suministros en manufactura, en el movimiento de mercancías desde los productores a las fábricas y desde allí a los puntos de venta, en la distribución de correos, la recolección de basura, el patrullaje, el transporte público, en el tratamiento de las operaciones en que se hacen efectivos los principios que definen la territorialidad (Pereira y Tavares 2009).

Cuando se operan generalizaciones en teoría de grafos no sólo tiene lugar una extensión de los términos o una multiplicación de isomorfismos, sino que a menudo también se manifiesta una transición de fase: generalizar implica, las más de las veces, un deslizamiento, un cambio en el sesgo, en el espesor de las denotaciones, en las heurísticas que vienen a la mente y en el marco de referencia que se constituye, así como una ampliación del horizonte hermenéutico constituido por los teoremas precedentes. Las generalizaciones que se van sumando y re-estructurando en el campo teórico están además encadenadas aunque no se considere el hecho en cada caso: modelar un fenómeno de una manera implica un extenso número de generalizaciones potenciales. No es sólo cuestión de unos vértices y unas líneas aquí y allá: una vez que pensamos el avunculado como grafo, es imposible no pensarla de muchas maneras nuevas, o no concebir estrategias para tratar gran número de otros dilemas que aparentan ser distantes pero se aproximan cuando se los mira en cierta forma.

Sin embargo, aun en las esferas más refinadas del pensamiento matemático ha sido raro que se reflexionara epistemológicamente sobre estas operaciones. El único texto que conozco que pasa relativamente cerca de la cuestión es un libro transdisciplinario de infrecuente agudeza que se titula *Induction* (John Holland y otros 1986). Más allá de esta perla negra se enseñorea la oscuridad. Los teóricos de grafos (o de las matemáticas, para el caso) nunca explican al vulgo qué es la generalización de un problema ni polemizan en público acerca de sus alcances; simplemente la dan por sentada y le sacan provecho operativo, tanto cuando generalizan un problema como cuando *reducen* una generalización al

problema original (Ore 1962: 40). Los libros que deberían tratar conceptualmente el asunto o bien decepcionan o simplemente callan (Pólya 1957: 108-110; Brown 1999).

Hay algo profundamente *deductivo* en estas conceptualizaciones que no es por completo idéntico a (ni estaba implícito en) lo que sobre generalización y reducción nos enseñaron en clase, o lo que sobre ellas dicen los libros de lógica. Cae de suyo que en esta práctica prevalece un concepto muy diferente al de la idea geertziana de generalización en el interior de los casos, a la extrapolación de principios desde la etología al estudio de la cultura o al modelo inductivo de caja negra que rigió las generalizaciones probabilistas a través de las sociedades en la antropología transcultural. En el campo de teoría de grafos una generalización no es simplemente más de lo mismo, sino una práctica compleja en la cual, contradiciendo todos los estereotipos, podemos apreciar la emergencia y la ramificación de no pocos matices de significado y situar nuestro objeto en un mundo de tanta riqueza conceptual como la que ostenta el mundo filosófico que nos es más familiar. O me equivoco por mucho, o Bateson (1980; 1991) ya había intuido algo de todo esto.

Si algo se aprende con la experiencia de modelado es que las estrategias que denigran la abstracción encubren el hecho que ésta es inevitable: cuando ellas abordan discursivamente un fenómeno pasan por alto que siempre se está imponiendo a la particularidad de lo concreto el molde arbitrario de las abstracciones de un lenguaje humano de propósito general, independiente de objeto y contingentemente tipificado. El modelo de grafos (que se erige sobre un lenguaje que es formal pero es lenguaje al fin) pone de manifiesto esa imposición representacional y esa entropía con una transparencia casi impertinente.

Pero no hay más distorsión en un modelado basado en redes de la que hay en una narrativa que trata de embutir la realidad en la jaula de un lenguaje atestado de sobredeterminaciones derivadas de su lógica interna y de su propia historia. No se trata sin embargo de establecer cuáles ideas son peores que las otras. Al menos como yo la interpreto, la teoría de grafos y el análisis de redes no niegan ni afirman la legitimidad de otras aproximaciones que alegan ser o que acaso sean marginalmente más concretas, si ello pudiera dirimirse de algún modo; simplemente destacan nuevas formas de entendimiento basadas en un conjunto de estilos de abstracción relacional, representación, modelado y generalización entre los muchos que se presienten posibles.

## 5 – De grafos a sociogramas: La Sociometría y la primera Escuela de Harvard

La sociedad no es meramente un agregado de individuos; es la suma de las relaciones que los individuos sostienen entre sí.

Karl Marx, *Die Grundrisse* ([1857] 1956: 96)

Si prosiguiéramos linealmente la narrativa histórica del pensamiento reticular diríamos ahora que en la década de 1930 un alumno de Gustav Jung, Jacob Levy Moreno [1889-1974], inventó, fundando un campo que él llamo sociometría, un par de formalismos para representar relaciones sociales: sociomatrizes y sociogramas, para empezar. Levy Moreno fue, para decir lo menos, un personaje curioso que creó además el *role playing* y el psicodrama; admirado por unos y denostado por otros, se lo considera un pensador original pero también un científico extravagante y poco digno de confianza, aunque su idea de vincular las problemáticas sociales con los grafos matemáticos (y por añadidura con las matrices algebraicas) haya sido una intuición luminosa por donde se la mire.

Tentados como estamos los antropólogos después del escándalo en torno del infame diario de Bronisław Malinowski (1989) a juzgar las ideas científicas de los estudiosos a la luz de las cataduras morales que se trasuntan de palabras escritas o proferidas en contextos diferentes a aquél desde el cual se los lee, hoy cuesta apreciar la magnitud del aporte de Moreno, pero no hay duda que fue sustancial: para él la sociedad no es primariamente un agregado amorfo de individuos con sus características idiosincrásicas, como argüían los estadísticos, sino una estructura no necesariamente aditiva de vínculos interpersonales.

Más allá de su aparente puerilidad, la idea de sociograma no se agota en una representación sino que explota con inteligencia el hecho de que, al margen de las herramientas de cálculo de las que se disponga, la visión humana está adaptada especialmente al reconocimiento de patrones. No se trata sólo de la vieja leyenda que reza que “una imagen vale más que cien palabras”, una media verdad que depende de cuáles son las imágenes y las palabras que están en juego y qué quiere decir “vale” en cada contexto. A lo que voy en que en ese respecto al menos la intuición de Moreno es sutil, la solución que imaginó es robusta y se anticipa en décadas a similares exploraciones de la percepción visual en ciencia cognitiva y en el campo emergente de la cognición matemática (Netz 1999; T. Needham 1997; Campbell 2005; Borovik 2007; Giaquinto 2007; Ruelle 2007). También antecede a los hallazgos de especialistas en visualización como recurso comunicativo hoy muy valorados como Edward Tufte (1990) en mercadotecnia o Alden Klov Dahl (1986) en graficado computacional. Este último ha sostenido, antes que las técnicas gráficas sean la sombra de lo que hoy son, que los modelos de vértices y líneas son la forma “natural” de representar las redes sociales: una analogía fluida y armónica, habría debido tal vez decir, una forma de representación particularmente inteligible a la mirada del científico contemporáneo. Lo de “natural” es como mucho una hipótesis que corresponderá a una etno- o neuromatemática alguna vez demostrar.

De lo que sí se trata es del hecho de mucho mayor alcance de las facultades gestálticas, sincrónicas y sintéticas de la visión, capaces de percibir organizaciones difíciles de captar con igual contundencia a través del análisis, del despliegue serial del texto o (una vez más) de la linealidad inherente a la interpretación a la manera usual. Como escribió mucho más tarde el antropólogo Thomas Schweizer, una representación de las relaciones sociales basada en grafos (que eso es a fin de cuenta un sociograma) lleva por sí misma a visualizaciones intuitivamente sugerentes de los patrones que se esconden en los datos cuantitativos (1996: 150).

Si bien Schweizer y quienes como él enfatizan las posibilidades cognitivas inéditas que brinda la notación en sociogramas o grafos tienen una cuota de razón, hace poco se ha caído en la cuenta que también las matrices (que se manifiestan como cadenas, series o conjuntos de símbolos que se encuentran en alguna relación) poseen una dimensión visual irreductible que conduce a nuevos estilos de análisis. Dispuestos en forma de matriz, los símbolos se acomodan en estructuras (diagonales, columnas, hileras, vectores, direcciones, enclaves, regionnes, grupos, simetrías) que abren la puerta a otro entendimiento aparte del puramente lógico o abstracto, preñado acaso de metáforas cuya dimensión histórica y cultural habría que deslindar algún día (cf. Kövecses 2005; Barkowsky y otros 2006; Gibbs 2008). Por más que el autor se obstinó en ignorar sus dimensiones cognitivas y sus álgebras subyacentes, algo de la idea de la estructuración matricial se percibe en el concepto de *campo* y en el análisis de correspondencias múltiples del sociólogo Pierre Bourdieu (1984; 1985; 1993). En un registro a la vez parecido y diferente escribe Marcus Giaquinto.

Nuestra habilidad para discernir estructuras y rasgos estructurales no es primariamente una habilidad simbólica-lingüística. Es una cognición mediante capacidades por analogía y generalización que no son todavía bien comprendidas. [...] Podemos decir, a grandes trazos, que nuestra habilidad para discernir la estructura de conjuntos estructurados simples es un poder de abstracción; pero al presente no tenemos una concepción adecuada de las facultades cognitivas que están operando en el discernimiento de esas estructuras (Giaquinto 2007: 208, 216).

Desde que Moreno elaborara su propuesta, en suma, las ciencias cognitivas todavía no han articulado una comprensión reflexiva de los fundamentos en que esa nueva visión reposa.

Los primeros sociogramas de Moreno, que se remontan a comienzos de la década de 1930, estaban obviamente dibujados a mano, igual que era manual una notación matemática cuya coherencia se percibe un poco vacilante. Esa manualidad luce rudimentaria y hasta puede constituir un elemento distractivo, si es que no un obstáculo a la lectura. Sin embargo, en su libro *Who shall survive?* de 1934 él ya hablaba de análisis exploratorio, de visualización y de análisis estructural, términos que ganarían estado público mucho más tarde.

Primero tenemos que visualizar. [...] Los sociómetras han desarrollado un proceso de graficación, el *sociograma*, que es más que meramente un método de representación. Primero que nada es un método de exploración. Hace posible la exploración de hechos sociométricos. La ubicación apropiada de cada individuo y de todas las interrelaciones de indivi-

duos se puede mostrar en un sociograma. Al presente es el único esquema disponible que posibilita el análisis *estructural* de una comunidad (1953a: 95-96, énfasis en el original).

Moreno introdujo al menos cinco ideas claves en la construcción de imágenes de redes sociales: (1) dibujó grafos; (2) dibujó luego grafos dirigidos; (3) utilizó colores para trazar multigrafos; (4) varió las formas de los puntos para comunicar características de los actores sociales; y (5) mostró que las variaciones en la ubicación de los puntos podía usarse para subrayar importantes rasgos estructurales de los datos (Freeman 2000).

La figura 5.1 muestra una sociomatriz y su sociograma correspondiente, al lado de uno de los sociogramas autógrafos más tempranos que se conocen (Moreno 1932: 101). Como sea, Granovetter (1973: 1360) afirma que, encerrada en la psicología social en la que se originó, la sociometría no encontró el camino hacia la sociología; le faltaban las técnicas de medición y muestreo para pasar del nivel del pequeño grupo (un poco más arriba del individualismo metodológico) al plano de las estructuras mayores que haría suyo la Gran Teoría. Aunque Moreno aspiraba a elicitar un mapa sociométrico de Nueva York, lo más que pudo hacer fue un sociograma para una comunidad de 435 miembros, incluido como lámina plegable en su obra más importante (Moreno 1953a [1934], disponible en línea).

Subject	Choice									
Number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4							
2	1	4	5							
3	2	6	7	8	6					
4	2	6	7							
5	3	7	4							
6	2	5								
7	2	4								
8	6									
9	3									
10	5									

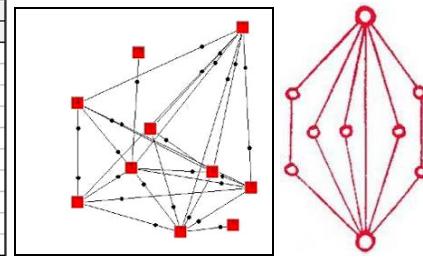


Figura 5.1 – (Izq.) Sociomatriz y sociograma correspondiente. Diseñado por el autor con Adit Sociogram®.  
(Der.) Sociograma autógrafo de Moreno (1932: 101).

A instancias de su colaboradora Helen Hall Jennings, en un estudio ulterior publicado en el primer volumen de *Sociometry*, una revista fundada por él, Moreno recurrió al asesoramiento del entonces joven matemático y sociólogo Paul Lazarsfeld [1901-1976]. Esta colaboración resultó en el primer modelo de decisión sociométrico, un modelo probabilístico de un nivel de refinamiento matemático notable para la época (Moreno y Jennings 1938). Próximo a Robert Merton, Lazarsfeld se convertiría con los años en uno de los mayores teóricos de la comunicación de masas; no obstante, sus trabajos maduros no llevan mayormente huellas de los métodos de Moreno y es palpable que en algún momento ambos se distanciaron. Linton Freeman (2004: 42), uno de los más laboriosos historiadores del ARS, afirma que la afición de Moreno al misticismo, su estilo personal bombástico y su megalomanía le enajenaron la confianza de sus tempranos partidarios e impidieron que la sociometría hiciera pie en la corriente principal sociológica. Con la de Granovetter tenemos ya dos hipótesis diferentes a la hora de explicar por qué la idea de la sociometría no perduró.

Han habido otros factores en juego, con seguridad, que se tornan sobre todo patentes cuando se emprende una lectura paciente y de primera mano. Lo que la teoría de redes ha tomado de la sociometría moreniana ha sido sólo lo que necesitó, con prescindencia de

sus significados en su marco original, los que han sido psicológicos, terapéuticos y hasta de acción social. Aun cuando hoy consideremos que los sociogramas son útiles al análisis sociocultural por su polivalencia y abstracción, las aristas de los grafos que Moreno llamaba sociogramas eran canales que conducían una rara esencia sociopsicológica, el *tele*. El conjunto de esos canales constituía una especie de diagrama del flujo de la energía afectiva en un grupo social. En su contexto de origen el sociograma era inseparable del psicodrama y de los tests sociométricos y era correlativo a otros grafismos como el locograma o diagrama posicional y los diagramas de rol. Los historiadores de las redes han estilizado y relocalizado los hechos. Pero por tenaces que sean las leyendas, los diagramas de interacción no se inventaron en los Estados Unidos sino que fueron imaginados hacia 1915 en Mittendorf, un campo de refugiados tiroleses en Austria, veinte años antes de su fecha de nacimiento oficial, y luego usados en la elección de asociados por los participantes en el *Stegreiftheater*, el teatro de la espontaneidad, en 1923. Moreno pensaba que el potencial terapéutico de sus representaciones escénicas derivaba de las interacciones entre los actores; su sociometría fue, de hecho, un intento por medirlas:

Las mediciones sociométricas comenzaron con cosas como éstas: ¿cuánto “tiempo” pasa el actor A con el actor B? [...] O ¿cuál es la “distancia espacial”, cerca o lejos, en pulgadas, pies o metros, entre los actores A, B, C y D en la misma situación, y qué efectos tiene la proximidad o la distancia sobre la conducta y la actuación? O ¿con cuánta frecuencia aparecen dos actores simultáneamente en la escena y con cuánta frecuencia se van juntos? (Moreno 1953: xxxv).

La misma idea de “actor”, adoptada luego en masa en psicología social, sociología y antropología como equivalente aproximada del *self*, el sujeto y la agencia, se origina sin duda en esta propuesta. Incluso las matrices, que lucen tan frías y analíticas, diagramaban al principio las relaciones del niño con las personas y las cosas en torno suyo; cada una de ellas era una *matriz de identidad*, la placenta social del infante, esencial para los procesos primarios de aprendizaje, de donde iban emergiendo poco a poco los sentidos de proximidad y distancia.

A menudo se olvida que la sociometría mantenía un programa doble:

Como campo de investigación, la sociometría ha buscado desvelar las estructuras sociales subyacentes, la dimensión profunda de la sociedad. Como movimiento, la sociometría ha buscado modificar la estructura hacia el mejoramiento, esto es, hacia el alivio del conflicto que Moreno veía embebido en la discrepancia entre el sistema social institucional (formal) y los patrones resultantes de la operación del factor *tele* (el flujo de afecto y desafecto entre personas y grupos) (Nehnevajs 1955: 51).

Fuera de los círculos ortodoxos de un morenismo que todavía se mantiene vivo, nada de esta dinámica energética de atracciones y repulsiones ha subsistido.

Para colmo de males, ya en la década de 1940 se había comprobado que distintos investigadores utilizando los mismos datos llegaban a sociogramas muy diferentes, tantos como investigadores hubiesen (Wasserman y Faust 1994: 78). En efecto, la ubicación de los actores en un espacio dimensional no puede ser otra cosa que arbitraria. En consecuencia, la década de 1940 presenció el crecimiento del uso de sociomatrizes para representar los

datos en detrimento de los sociogramas, pese a la resistencia del propio Moreno (1946), quien llegó a escribir un par de páginas documentando su oposición. Se desarrollaron métodos algebraicos y permutaciones que permitían tratar grupos de actores o convertir las elecciones de un actor en un vector multidimensional, así como matemáticas diversas para cuantificar las interacciones sociales. La bibliografía a este respecto se multiplicó (Dodd 1940; Forsyth y Katz 1946; Festinger 1949; Leavitt 1951). Matrices mediante, a comienzos de los años 50 la disciplina ya estaba madura como para reemplazar los sociogramas intuitivos por una teoría de grafos rigurosa, y eso fue exactamente lo que pareció suceder durante un tiempo, al menos.

No solamente en teoría de redes y grafos tuvo oportunidad de explotarse la representación matricial. En otras disciplinas, esta forma de articular los datos llevó muchas veces a resultados imprevistos e iluminadores, como si hubiera un orden no necesariamente cuantitativo esperando revelarse más allá del sinsentido aparente de los datos:

La disposición de la tabla periódica por Mendeleiev en 1869, el descubrimiento de Hamilton en 1835 de la potencialidad de los cuaterniones en mecánica y los estudios de Laplace de 1772 sobre las perturbaciones de las órbitas planetarias establecieron una tradición de ordenamiento en matrices y de su manipulación hace ya muchos años. En un sentido muy diferente, y con un propósito muy distinto en mente, el ordenamiento de diversas piezas de una disciplina académica en un arreglo [*array*] de matriz ha desvelado patrones y estructuras que han resultado ser útiles y provocativas: el examen de la antropología desde el punto de vista de un economista por J[oseph] Berliner [1962], el delicioso “mapa” de la cultura de E[dward] Hall [1989: 207-214] y la matriz de tres modos de la geografía de B. J. L. Berry [1964] son ejemplos de ello (Gould 1967: 63).

No me adentraré aquí en el tema del álgebra o de las operaciones matriciales posibles, pues lo que interesa en este estudio son menos los tecnicismos puntuales (cuyo desenvolvimiento requeriría un espacio colosal) que las dimensiones epistemológicas de la cuestión. Al respecto afirmaba Frank Harary en los años 60:

[H]ay numerosas matrices que se pueden asociar con un grafo cuyos puntos, líneas y ciclos sean rotulados. Algunas de ellas, tales como la matriz de adyacencia y la matriz de incidencia, determinan el grafo al punto del isomorfismo. Otras, tales como la matriz de ciclo, exhiben ciertas propiedades interesantes del grafo sin capturar su estructura completa. La teoría algebraica de matrices puede incorporarse a la teoría de grafos a fin de obtener resultados elegantemente que de otra manera sólo se podrían obtener mediante la fuerza bruta, si es que se pueden obtener del todo (en gran medida ésta es como la relación entre la geometría analítica y la sintética) (Harary 1967: 83).

Sin ánimo de implicar aquí a toda el álgebra, está claro que hablar de una matriz implica hablar de su grupo de automorfismo. Esta última expresión es por cierto intimidante, pero lo que en realidad sucede es que tras de ella se esconde un concepto que es muy simple apenas se lo mira fijo. El secreto para descifrar su sentido consiste en pensar primero en que el orden en que se expone una matriz es arbitrario y en que, en segundo lugar, existe un número limitado de órdenes en que podemos exponerla; ese conjunto de órdenes (que puede ser muy grande) es lo que constituye el grupo. Un automorfismo puede entenderse como un isomorfismo de un objeto consigo mismo, lo cual acarrea, en cierto sentido, una especie de simetría. El conjunto de todos los automorfismos de un objeto forma un grupo

de automorfismos. Este grupo es la colección de todas las matrices de permutación que commutan con la matriz de adyacencia. Ambos objetos algebraicos (matriz y grupo) involucran diferentes técnicas algebraicas (álgebra lineal y teoría de grupos respectivamente) que poseen –como ha escrito Peter Cameron– un sabor ligeramente distinto (Beineke y Wilson 2004: xiii). A ello agregaría yo, constitutivamente, la técnica implícita de la combinatoria, otra rama de las matemáticas discretas no menos importante, de la cual muchos consideran que la teoría de grafos es sólo una pequeña parte (Berge 1968; Bari y Harary 1974; Graver y Watkins 1977; Pólya y Read 1987; Nešetřil y Fiedler 1992; Graham, Grötschel y Lovász 1995; Yukna 2001; Skandera 2003; Akiyama y otros 2005).

Hoy en día existen otras clases de matrices finamente tipificadas: de alcanzabilidad, de desvío, de distancia, de grado, de ciclo, de camino, de eliminación, matrices de Seidel, matrices laplacianas o de Kirchhoff (conteniendo información tanto de adyacencia como de accesibilidad), laplacianas normalizadas, hermitianas, etcétera (Lütkepohl 1996). La figura 5.2, por ejemplo, muestra un grafo  $G$  y su matriz de adyacencia  $A$ . Una observación inmediata es que la suma de las filas (o de las columnas) equivale a los grados de los puntos en  $G$ . En general, debido a la correspondencia de los grafos y las matrices, puede decirse que (casi) cualquier concepto de teoría de grafos se refleja en la matriz de adyacencia (op. cit.: 84). Tan importante como esto es la correspondencia entre un sinnúmero de operaciones matriciales y la analítica sociocultural, un tema clave que ha sido tratado extensamente en la bibliografía y que no habré de reproducir en esta tesis (Harary 1956; White 1963; Bonacich 1978; Bonacich y McConaghay 1980; Boorman y Arabie 1980; Wasserman y Faust 1994: 80-82, 89-90, 150-154). Volveré al tema de las contribuciones de Harary y el análisis matricial más adelante (cf. pág. 75 y 160).

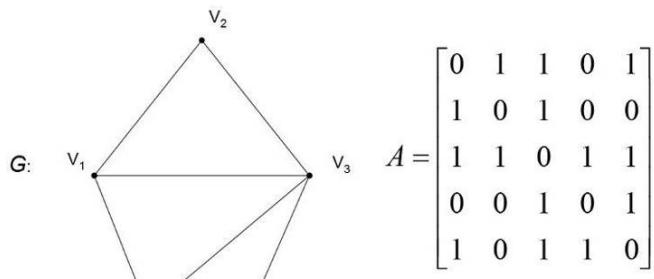


Fig 5.2 – Grafo y matriz correspondiente

Retornando a la tradición de Moreno, el primer gran estudio que he podido localizar que hace uso de métodos similares a los sociogramáticos (aunque de génesis más incierta) es el clásico de los psicólogos industriales Fritz Roethlisberger y William J. Dickson (1939) sobre las investigaciones en la famosa factoría Hawthorne de la Western Electric en Cicero, Illinois, entre 1927 y 1933. Hawthorne fue un proyecto enorme, impulsado por el fundador del Movimiento de Relaciones Humanas, el australiano Elton Mayo [1880-1949], un amigo cercano de Malinowski, pionero absoluto de la antropología organizacional, quien creía que penetrar *científicamente* en la mente de los trabajadores industriales ayudaría a mitigar los efectos del estrés laboral.

Renombrado pero mal conocido, referido casi siempre de segunda mano, el experimento constituye la fuente primordial que sirvió años más tarde a Henry Landsberger (1958) para acuñar la expresión “efecto Hawthorne”, esto es, la forma en que la investigación (y en antropología podríamos decir el trabajo de campo en particular) afecta el comportamiento de los sujetos investigados. Una definición alternativa es que los participantes de un experimento se comportan distinto si saben que están en una situación experimental. Hay otros nombres que han aplicado a lo mismo o a cosas parecidas: sesgo sistémico, inducción del observador, realimentación epistémica, factores subjetivos, efecto del experimentador, efecto placebo, efecto Pigmalión, efecto Rosenthal (Rosnow 2001).

El objetivo de la investigación en Hawthorne era el de estudiar de qué manera la productividad de los trabajadores y su satisfacción ante el trabajo estaban afectadas por condiciones del lugar de trabajo (iluminación, temperatura, períodos de descanso, etcétera). La conclusión que se alcanzó, sin embargo, fue que los aumentos de productividad que se detectaron no se debieron a las condiciones experimentales manipuladas, sino al hecho de haber sido seleccionados para la investigación y a detalles adventicios del contexto experimental. Cuando se mejoraban las condiciones de iluminación, por ejemplo, aumentaba sensiblemente la productividad; pero también ésta se incrementaba cuando las condiciones de luz empeoraban hasta el límite de la tolerancia. Algunos diseños de investigación ulteriores imaginaron medidas de neutralización de ese efecto, tales como disponer de grupos de control, modificar las condiciones de la encuesta, implementar observación participante o aislar a grupos en salas de prueba bajo condiciones exhaustivamente controladas (Relay Assembly Test Group, RATR). Pero la semilla ya estaba sembrada.

El efecto Hawthorne, cuyos promotores han sido glorificados por algunos y vilipendiados por otros, forma parte de la espesa mitografía de la psicología social y de los estudios de motivación en administración de empresas. Los hechos que llevaron a él funcionan como una pantalla proyectiva donde algunos ven simples errores de diseño investigativo y otros un mecanismo de incertidumbre sólo comparable al que impera en el mundo cuántico, capaz de inhibir todo examen formal en la ciencia que se trate. El asunto es delicado y no pienso que se pueda resolver la disputa cargando un párrafo de ironías a favor o en contra de alguna de las partes. Pero la relación de necesidad entre un diseño estratégico con eventual elicitation de sociogramas y el polémico efecto es en todo caso muy tenue; de ninguna manera es un factor que castiga solamente a las empresas formales o a las ciencias humanas; para mal o para bien, la naturaleza del efecto todavía dista de estar clara y su existencia misma ha sido puesta una y otra vez en tela de juicio (Gillespie 1993).<sup>25</sup>

Escribe, por ejemplo, la polémica periodista científica Gina Bari Kolata:

<sup>25</sup> Por cierto que la inducción existe, que es difícil evitar efectos colaterales y que hay que tener en cuenta esos incordios; pero considerar que ése es un escollo mayor denota, sobre todo en posturas que celebran las bondades de la reflexividad, una posible falta de imaginación científica. Contrariamente a lo que sostienen los promotores de las antropologías autodenominadas humanísticas, el efecto del observador es harto más penetrante y categórico en mecánica cuántica de lo que sería jamás posible en ciencias sociales; eso no ha impedido en modo alguno el desarrollo de modelos con las capacidades de predicción que confieren a la mecánica cuántica el prestigio que ella tiene. Lo mismo se aplica, con los matices del caso, a la lógica epistémica y al modelado bayesiano.

Tomen por ejemplo el ‘Efecto Hawthorne’, que ha sido muy apreciado en psicología social. Se refiere a un estudio entre 1927 y 1933 de trabajadores fabriles en la Planta de Hawthorne de la Western Electric en Illinois. Mostró que a pesar de los cambios en las condiciones de trabajo –más pausas, descansos más largos, o más esporádicos y breves– la productividad aumentaba. Los cambios no tenían en apariencia nada que ver con las respuestas de los trabajadores. Éstos, o así narra la historia, producían más porque se veían tomando parte de un experimento. [...] Suena muy atrapante. “Los resultados de este experimento, o más bien la interpretación en términos de relaciones humanas que ofrecieron los investigadores que sintetizaron los resultados, pronto se convirtieron en el evangelio para los textos introductorios tanto en psicología como en ciencias de la administración”, afirmó el Dr Lee Ross, profesor de psicología de la Universidad de Stanford. Pero sólo cinco operarios tomaron parte del estudio, dijo el Dr Ross, y dos de ellos fueron remplazados en algún momento por su grosera desobediencia y su baja performance. “Una vez que se tiene la anécdota”, dijo, “se pueden tirar los datos a la basura” (Kolata 1998):

Para bien o para mal, la antropología estuvo involucrada en todo el proyecto. Al lado de la intervención del malinowskiano Elton Mayo en el Proyecto Hawthorne, dos jóvenes antropólogos, Conrad Arensberg [1910-1997] y Eliot Chapple, salidos del riñón del proyecto Yankee City, aportaron las mediciones formales de la interacción y diversas herramientas matemáticas para analizar las ingentes masas de datos recabados en los estudios de Harvard. Chapple (1940) llegó a construir una máquina de escribir especial, llamada “cronógrafo de interacción” para registrar las interacciones mediante observación directa en una especie de rollo de pianola. Tal parece que era un aparato descomunal, impráctico para llevar de campaña, pero que se podía usar en factorías para hacer registros en tiempo real a medida que la gente interactuaba. En su segundo trabajo importante sobre el tema, Chapple (1953) utiliza explícitamente el concepto de análisis de redes (Freeman 2004: 63). La concepción de Chapple todavía involucraba una extrapolación fisicista; él escribía: “podemos, de hecho, usar una forma modificada de la clase de análisis de redes utilizada en electricidad [...] y podemos determinar los efectos de cualquier cambio en los valores cuantitativos asignados a cualquier vínculo sobre sus vecinos en el patrón reticular” (1953: 304).

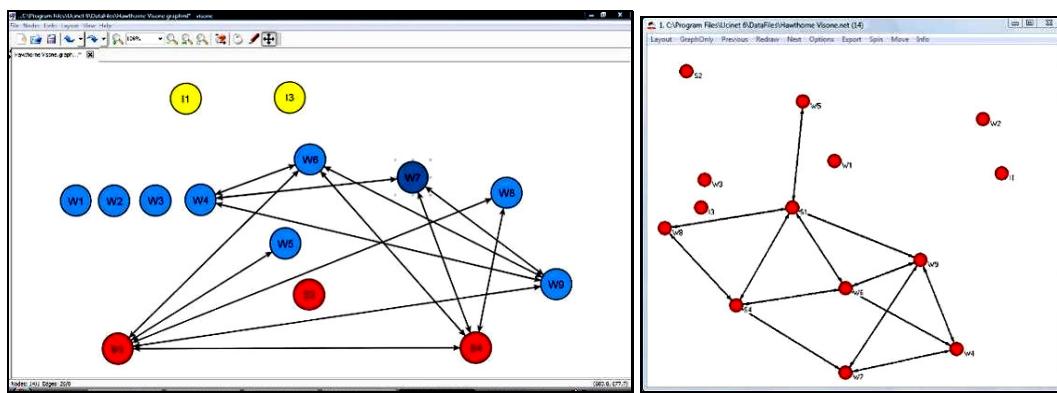


Figura 5.3 – Sociogramas de la factoría Hawthorne, diseñados con Visone (izq.) y Pajek (der.).

Aunque hacía uso eventual de sociogramas y sociometría, el Movimiento de Relaciones Humanas (y en general la Harvard Business School) no se reconocía tributario de More-

no; sus modelos reticulares fueron elaborados más bien por un antropólogo que había sido discípulo de Radcliffe-Brown en Australia, William Lloyd Warner [1898-1970]. Fue Warner quien convirtió los diseños de investigación de Elton Mayo en estudios de relaciones entre individuos o grupos; también desarrolló las metodologías de proyectos importantes, como los de Deep South, Yankee City y por supuesto Hawthorne. Tanto Warner como Mayo consideraban que sus estudios de grupos constituyían aplicaciones de los modelos estructurales de Radcliffe-Brown. Otras influencias fuertes en la obra de Warner han sido Vilfredo Pareto y Georg Simmel. Suele ignorarse que Warner (1930, 1931) fue quien proveyó a Claude Lévi-Strauss los datos sobre la sociedad Murngin explorados en *Las estructuras elementales del parentesco*, los mismos que sirvieron al matemático André Weil [1906-1998], líder del grupo Bourbaki, para su famoso modelo algebraico (Lévi Strauss 1985: 157, 278-286; Weil 1985). A decir verdad, la obra monumental de Warner es ignorada hoy casi por completo, aun cuando haya incluido el primer ejemplar explícito de estudio de comunidades urbanas occidentales con técnicas de la antropología social. Marvin Harris ni siquiera registra su nombre; Ulf Hannerz (1986: 27) se lo saca de encima aduciendo que “no es motivo de mucha sorpresa que los antropólogos de hoy en día le presten escasa atención” y suscribiendo a la opinión de que “han habido tantas críticas sobre Warner que bien puede ser hora de pedir una moratoria”.

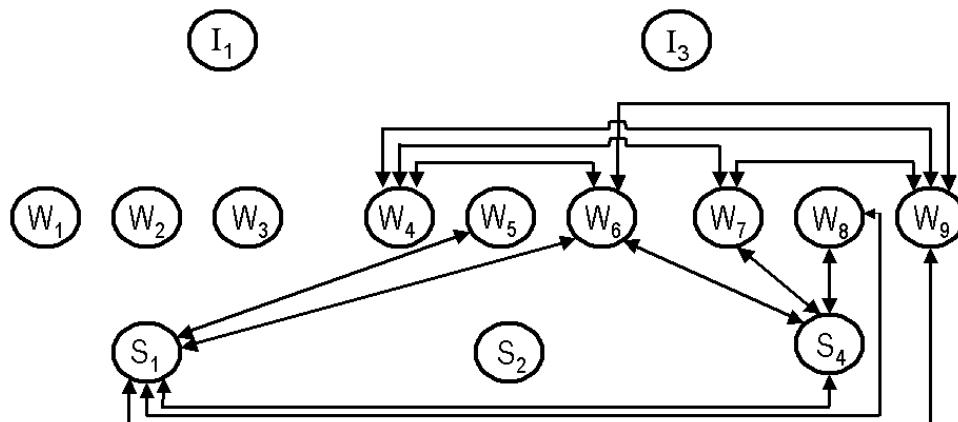


Figura 5.4 – Grafo original del proyecto Hawthorne  
Basado en Roethlisberger y Dickson (1939: fig. §40)

De los relevamientos correspondientes a los modelos de Lloyd Warner he tomado los datos para trazar la figura 5.3, dibujada setenta años después del estudio original (Roethlisberger y Dickson 1939: 501 ss). La figura 5.4, por su lado, se basa en el grafo original que modela la participación de trabajadores (W), soldadores (S) e inspectores (I) en sus discusiones sobre las ventanas de la instalación. Los elementos son los mismos en ambos grafos. Llamo la atención sobre el hecho de que en aquel entonces no existía aún un desarrollo consistente de la teoría de grafos, ni se había fundado el análisis de redes sociales.

Un movimiento paralelo a la sociometría de Moreno de vida relativamente breve fue el programa del Laboratorio de Redes de Pequeños Grupos del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) conducido por el lewiniano Alexander Bavelas desde 1948. El Laboratorio formaba parte del Centro de Investigaciones de Dinámica de Grupos dirigido

por el entonces prestigioso Kurt Lewin [1890-1947]. Este personaje carismático, que conoció celebridad hasta bien entrados los años sesenta, había elaborado una psicología topológica (1936; 1938) llamada luego más bien teoría de campo (1939); ésta guarda relación con la ulterior notación de Bavelas y con la que luego se adoptaría en el análisis de redes sociales en general. En la escuela lewiniana también se desarrollaron unas cuantas ideas en torno de la posibilidad de cuantificar y graficar las relaciones sociales, ideas que luego reaparecerían, transformadas, en la teoría de redes.

Antes de profetizar que las ciencias sociales se asomaban a una era en la que iban a experimentar consecuencias “tan revolucionarias como la bomba atómica” y de acuñar su dictum más famoso (“No hay nada tan práctico como una buena teoría”), Lewin sostenía que había llegado la hora de que la psicología, la sociología y la psicología social pasaran de los conceptos “fenotípicos” de descripción clasificatoria, casi linneana, a constructos dinámicos (genéticos, condicional-reactivos) basados en la interdependencia (Lewin [1947] 1951: 169, 188). La perspectiva “galileana” (por oposición a “aristotélica”) propiciada por Lewin, implicaba el uso de modelos para la búsqueda de universales; de más está decir que la noción de modelo no se había generalizado aún en las ciencias humanas.

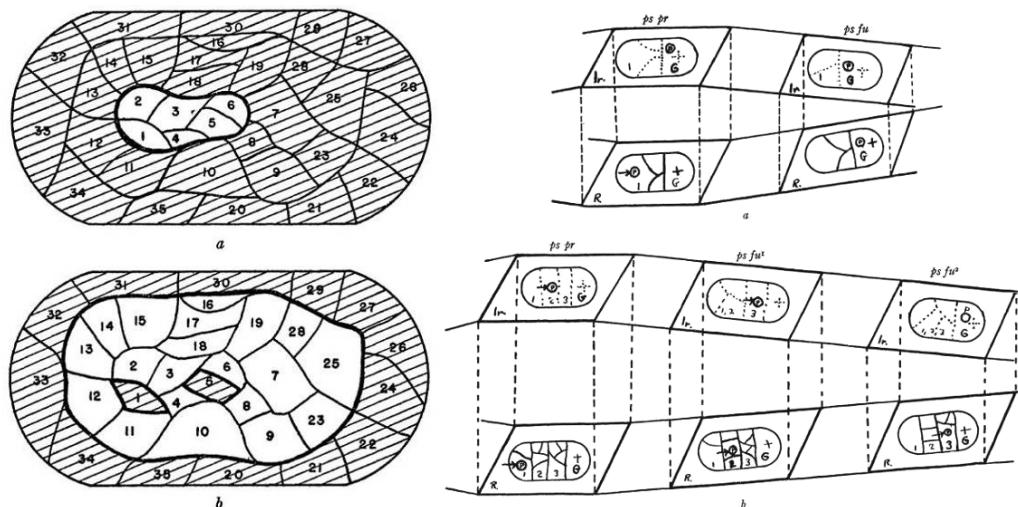


Figura 5.5 – Mapas lewinianos (Lewin 1939: 875, 880)

Uno de los más importantes de estos constructos es el de grupo social, el cual exhibe manifiestamente cualidades gestálticas: el todo es diferente a la suma de las partes. En un orden totalmente diverso, la naturaleza de las partes ha de entenderse no tanto en función de sus estructuras sino como un proceso dinámico de transiciones de pertenencia tales como, por ejemplo, el paso de la niñez a la adolescencia. Esa dinámica se expresa en términos de libertad de movimientos de un campo a otro en un espacio de regiones de actividad. La figura 5.5 muestra un par de las representaciones topológicas o “mapas” que corresponden a esas estructuras y procesos “hodológicos”. La imagen de la izquierda ilustra una comparación entre los espacios de libre movimiento de niños y adultos conforme a una nomenclatura de 35 actividades dispuestas en una especie de trayectoria más o menos espiralada desde el centro hacia fuera. La imagen de la derecha representa la trayectoria

de vida de un niño y un adulto en un momento dado;  $ps\ pr$  denota el tiempo presente,  $ps\ fu^1$  el futuro inmediato y  $ps\ fu^2$  un futuro más distante.

Las situaciones, continúa Lewin (1939: 880), incluyen un nivel de realidad ( $R$ ) y otro de irreabilidad ( $Ir$ ); matemáticamente la dimensión realidad-irrealidad y la de pasado-presente-futuro hace que el espacio de vida en un momento dado sea un *manifold* de al menos cuatro dimensiones. En otros textos Lewin aventuraría, por ejemplo, que la conducta es función de la personalidad y el ambiente, notándolo como  $C=f(P,A)$ , sugiriendo que se incluyera un término de persona-situación en cálculos de regresión o ANOVA. Serían precisamente estas aventuradas expresiones notacionales, proto-matemáticas o proto-topológicas, no muy diferentes en su estilo presuntuoso y en su rigor difuso de los matematismos lacanianos, las que acarrearían un conjunto de críticas que acabarían poniendo en jaque al movimiento (p. ej. Eysenck 1952; Moreno 1953b). Este fragmento de reseña que aquí transcribo es particularmente cruento:

¿Qué hay de matemático en una fórmula de Lewin tal como “(9a)  $real^{max} (Hi) < real^{max} (Ad)$ ”? Aquí no ha habido medición de la “realidad”, ni multiplicación de *Hijo* por realidad de veces, ni elevación de la realidad a la potencia “max” como lo implica el exponente, ni otra operación que gracias a cualquier convención imaginable merezca el nombre de matemática. [...] Y, de acuerdo con un distinguido matemático y especialista en topología que examinó la cuestión con detenimiento, la “topología” de Lewin simplemente no es lo que en matemáticas se conoce por ese nombre. Todos sabemos que las matemáticas se están usando cada vez más y esperamos mucho de eso; pero a juzgar por las apariencias, aquí Lewin no entiende qué cosa puedan llegar a ser las matemáticas (Faris 1951: 87).

Con el correr del tiempo las teorías de campo fueron cuestionadas sumariamente por el divulgador matemático y científico escéptico Martin Gardner. La totalidad de su crítica se agota en este párrafo, pero dada la exposición pública de los artículos de Gardner en *Scientific American* su impacto en el mundillo académico fue decisivo:

[Lewin] se apasionó de tal forma por los diagramas topológicos en los años treinta que los aplicó a cientos de acontecimientos conductuales humanos. [...] [La] psicología topológica de Lewin hizo conversos temporales, e incluso hubo una escuela de sociología topológica. [...] Sus diagramas parecían prometedores en aquella época, pero en seguida resultó evidente que eran poco más que estériles reafirmaciones de lo obvio (Gardner 1988: 574).

La concepción eminentemente relacional de la teoría de campo, considerablemente remozada, encontró sin embargo el modo de llegar a los tiempos que corren a través de las formulaciones de nadie menos que Pierre Bourdieu (1985; 1996; cf. Swartz 1997: 23; Martin 2003; Özbilgin y Tatli 2005),<sup>26</sup> aunque hasta hace poco el movimiento lewiniano más ortodoxo seguía teniendo sus acólitos y perduran todavía algunas páginas de Web, solamente una fracción de las ideas de Lewin llegarían a impactar en las futuras teorías de redes. El seguimiento de esta trayectoria posee particular interés.

---

<sup>26</sup> Por más que en su obra temprana Bourdieu nombra a Lewin alguna que otra vez, es sin embargo a Ernst Cassirer a quien le reconoce haber ejercido influencia en su compromiso con un pensamiento relacional (Bourdieu y Wacquant 2008: 40; Swartz 1997: 61). Pero al menos Lewin no le resulta antagónico.

En el laboratorio de Lewin, junto a Bavelas, apenas graduado entonces, trabajaban Leon Festinger [1919-1989] y Dorwin Cartwright. Festinger sería años más tarde el creador de la teoría de la disonancia cognitiva, una de las piezas fuertes de la psicología social; Cartwright trabajaría más adelante con Frank Harary elaborando una versión especial de teoría de grafos para uso en ciencias sociales. Los principales miembros del Lab del MIT en algún momento ejercieron también influencia en la Escuela de Harvard; ambas instituciones están relativamente próximas, a distancia de cuadras, en la ciudad de Cambridge, Massachusetts, un suburbio de Boston. En este cruzamiento la tradición conservadora de Harvard se benefició del aura de vanguardia del MIT, el cual a su vez recibió algo del prestigio aristocrático de la universidad más antigua y selecta de las ocho que forman la rancia Ivy League.<sup>27</sup> Hacia fines de 1948 el Research Center for Group Dynamics se trasladó a la Universidad de Michigan donde prosiguió la misma línea de investigación; allí se constituyó en una de las dos divisiones del Institute for Social Research, el cual sigue siendo un organismo influyente en psicología social.<sup>28</sup>

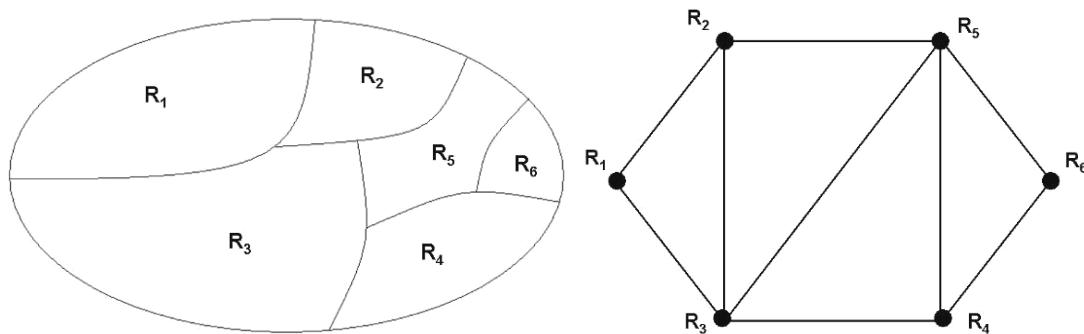


Figura 5.6 – Mapa lewiniano y grafo de Bavelas correspondiente – Basado en Flament (1977: 51-52).

Bavelas, quien había contratado a R. Duncan Luce como su “matemático cautivo”, desarrolló antes que nadie estadísticas de centralidad que todavía integran el repertorio analítico de los principales modelos y de los paquetes de software más utilizados. Bajo guisas muy diferentes, elaborado y vuelto a elaborar una y otra vez, la centralidad es uno de los conceptos fundamentales del análisis de redes y uno de los que mapean con mayores consecuencias las semánticas y magnitudes de las matemáticas sobre las de la sociología y viceversa. Bavelas (1948; 1950) lo usaba para explicar el rendimiento diferencial de las redes de comunicación y de los miembros de una red respecto de variables tales como tiempo para resolver problemas, percepción de liderazgo, eficiencia, satisfacción laboral y cantidad de errores cometidos. Desde entonces se ha echado mano de la centralidad como cálculo esencial para afrontar temas de influencia en redes interorganizacionales, poder, posiciones de ventaja en redes de intercambio, oportunidades de empleo, adopción de innovaciones, fusiones corporativas, tasas diferenciales de crecimiento en ciudades y muchos otros (Borgatti y Everett 2006). El único consenso en torno de la categoría es que se

<sup>27</sup> Brown (Rhode Island), Columbia (Nueva York), Cornell (Ithaca, Nueva York), Dartmouth (Hanover, New Hampshire), Harvard (Cambridge, Massachusetts), Princeton (New Jersey), Pennsylvania (Filadelfia), Yale (New Haven, Connecticut).

<sup>28</sup> Véase <http://www.rcgd.isr.umich.edu/>. Visitado en abril de 2010.

trata de una construcción analítica a nivel de nodo. A partir de allí, la centralidad se divide en tres grandes formas de medida: centralidad de grado, de cercanía [*closeness*] y de *betweenness*.

Al lado de sus aportes estadísticos, Bavelas estabilizó las hasta entonces precarias formas de representación gráfica. En su “modelo matemático para el estudio de las estructuras de grupo”, inscripto en la psicología social y en la antropología aplicada, Bavelas (1948) tuvo la intuición de cambiar la perspectiva geométrica de los mapas de la teoría de campo de Lewin (figura 5.6, izquierda) por grafos de veras topológicos en los que sólo cuentan las relaciones de vecindad entre las regiones (ídem, derecha). Ése fue un paso más hacia una mayor abstracción y universalidad. Bavelas también generalizó la semántica representacional, confiriéndole la configuración que se conserva hasta hoy.

En el plano metateórico, los desarrollos de Bavelas contribuyen a que se puedan comprender mejor las raíces gestálticas de la teoría de campo de Kurt Lewin y los intereses casi *emic* que lo motivaban; con esta base se puede luego entender más cabalmente la dimensión gestáltica subyacente al régimen visual de la teoría de grafos. Escribe Bavelas:

En la época de la primera guerra mundial los psicólogos en Alemania se escindían aproximadamente en estos dos campos: un grupo seguía la senda de desintegrar la persona y la situación en elementos e intentaba explicar el comportamiento en función de relaciones causales simples. El otro grupo intentaba explicar el comportamiento como una función de grupos de factores que constituyan un todo dinámico, el campo psicológico. Dicho campo consistía esencialmente en la persona misma y su medio tal como ésta lo veía. Al plantearlo en estos términos ya no se concebía el problema como un problema de relaciones entre elementos aislados sino en función del interjuego dinámico de todos los factores de la situación.

En ese momento Kurt Lewin empezó a formular un método para el análisis de las situaciones psicológicas que tenía como base el volverlas a enunciar en términos matemáticos: [él utilizaba] la geometría para la expresión de las relaciones de posición entre las partes del espacio vital, y los vectores para la expresión de la fuerza, dirección y punto de aplicación de las fuerzas psicológicas. El uso de la geometría era natural en un enfoque psicológico que insistía en un mundo “tal como la persona misma lo ve”, dado que los seres humanos tienden a representarse el campo contextual como si existiera en un “espacio” que los rodea. También el enfoque geométrico ofrecía un medio conveniente para la representación diagramática de muchas situaciones psicológicas (Bavelas 1977: 91-92).

Colega de los fundadores de la psicología de la Gestalt (Wertheimer, Koffka, Köhler), Lewin fue también alumno de Carl Stumpf, uno de los maestros de Edmund Husserl y fundador de la musicología comparada; de allí los componentes fenomenológicos que todavía se perciben en la formulación de Lewin, una genuina perspectiva del actor de la cual la futura teoría de las redes sociales no tardaría en desembarazarse, pero que subsistiría bajo la forma de las redes centradas en Ego y en la teoría del actor-red de Bruno Latour.

De lo que acabamos de ver uno quedaría con la impresión de que los grafos de Bavelas no son derivativos de los sociogramas de Moreno y que constituyen algo así como una invención independiente. Hurgando en los archivos, sin embargo, he podido encontrar una

historia distinta, algunos de cuyos episodios puede que sean verdad. Poco después que Lewin falleciera escribía Moreno:

Más de una vez dos o más individuos comienzan independientemente una misma idea. Pero éste no es un caso de duplicación de ideas. Se puede demostrar sobre la base de registros escritos que los principales asociados de la dinámica de grupos han estado en estrecho contacto conmigo. El suyo no es un problema de productividad; es un problema de ética *interpersonal*. En el caso de la duplicación de ideas los creadores no se conocen entre sí, trabajan en diferentes lugares. Pero los imitadores se sientan cerca de la persona a la que robarán los huevos, son parásitos. No alimento malos sentimientos hacia ellos y esta es la razón por la que permanecí en silencio. Me dije: así como hay gente que no puede tener hijos hay algunos que no pueden crear ideas y por tanto las adoptan. [...] Es infortunado (y por eso rompo mi silencio ahora) que esos estudiosos de dinámica de grupos no sólo hayan publicado versiones distorsionadas de mis ideas y técnicas, sino que las aplicaran a gente real en así llamados laboratorios de investigación y entrenamiento (Moreno 1953b: 102)

Moreno no deja lugar a dudas respecto de cuáles serían esos centros miméticos: el Centro de Investigación para Dinámica de Grupos del MIT; el Instituto Nacional de Entrenamiento de Bethel, Maine; y el Centro de Investigación de Dinámica de Grupos de la Universidad de Michigan en Ann Arbor. Y luego enumera uno a uno a los responsables: Ronald Lippitt, Alvin Zander, John R. P. French, Leland P. Bradford, Paul Sheats, Margaret Barron, Kenneth D. Benne y por supuesto Alex Bavelas. Llamo la atención sobre estas interpretaciones y querellas lamentables (cualesquiera hayan sido los hechos) para que se comprenda mejor la dinámica y las condiciones de producción de esas ideas precisas en esos tiempos turbulentos.

Aparte de sus discrepancias con Moreno, uno de los productos perdurables de la escuela del MIT es el renombrado “experimento de Bavelas” que éste condujo junto con Harold Leavitt [1922-2007]. El experimento consiste en darle a los miembros de un grupo pequeño, de tamaño  $N$ , un símbolo diferente de un conjunto de símbolos de tamaño  $N+1$ . La tarea para la totalidad del grupo es averiguar cuál es el símbolo que falta. El experimentador define qué canales son permisibles entre los miembros y cuáles no, definiéndose así diversas topologías de red. Se hacen varias rondas y en cada una de ellas cada sujeto puede de pasar un mensaje a otra persona entre las permitidas. Uno de los hallazgos provocativos de esta línea de investigación es que las redes centralizadas, en las que hay un *hub* que se comunica con todos pero en las que no hay comunicación directa entre los miembros, tienden a ejecutar las tareas más rápido que las redes descentralizadas. La moraleja básica es que en las redes descentralizadas la información fluye de manera más ineficiente (Bavelas 1950; Leavitt 1951). En este discutido y nunca del todo refutado experimento, vale la pena mencionarlo, ninguno de los participantes tiene idea de la configuración global de la red.

En 1951 Cartwright formó equipo con Frank Harary [1921-2005], quien tras realizar algunos trabajos sociológicos junto con él, se convertiría poco después (desde la perspectiva de los teóricos del ARS) en el padre de la moderna teoría de grafos. Harary se destacó en el desarrollo de un gran número de aspectos de esta teoría, casi siempre a instancias de

problemas analíticos que iban surgiendo en la psicología social. En esta área fue de hecho uno de los especialistas más destacados en enumeración de grafos y el inventor de los grafos signados que luego se incorporaron a las matemáticas combinatorias.

Nutriéndose de los antecedentes que ya hemos revisado, la teoría de grafos había sido formulada y hecha conocer por el húngaro Dénes König (1931) en una Budapest atrabulada por el nazismo, pero fueron Cartwright y Harary (1956) quienes le confirieron genuina dimensión sociológica. Con ello su propia sociología pasó de la idea de equilibrio cognitivo a nivel individual a la de equilibrio interpersonal en grupos; a partir de allí fue casi natural que se elaboraran poderosos modelos de cohesión grupal, presión social, cooperación, poder y liderazgo. Dénes König [1884-1944] fue, incidentalmente, el maestro de Paul Erdős, protagonista excluyente del próximo capítulo de esta tesis. En la línea de König, Harary impulsó no sólo la teoría de grafos dentro del ARS, sino que como hemos visto promovió las matrices (y por ende el álgebra de grupos) como instrumento para el estudio de las relaciones sociales. Hoy en día las estructuras matriciales constituyen la forma primaria de notación de las redes sociales, la materia prima sobre la que operan el análisis y la representación gráfica.

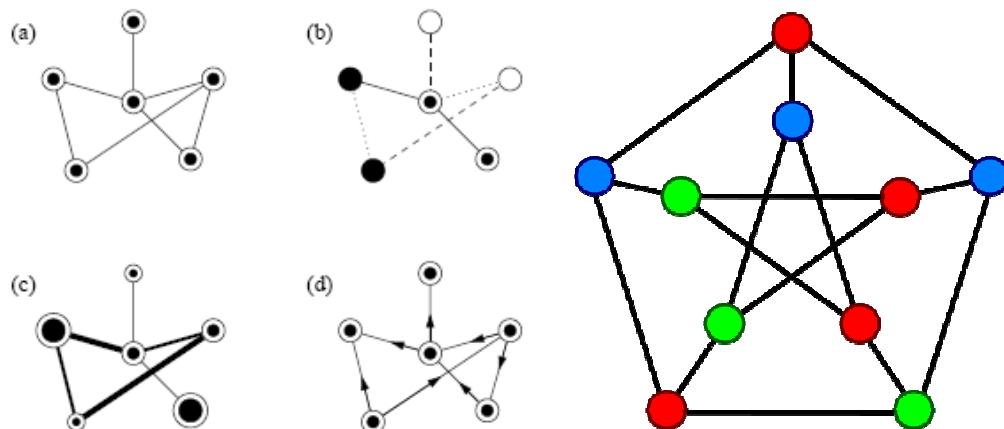


Figura 5.7 – Tipos de redes (grafos) – Basado en Newman (2003: 4) – A la derecha, grafo de Petersen

De autores como Moreno, Bavelas y Cartwright, así como de los simbolismos gráficos de los matemáticos, se derivó la notación que comúnmente se utiliza en teoría de redes sociales. Esta notación es harto más simple y espartana que otras convenciones gráficas tales como los diagramas de UML, la notación de Forrester, los grafos existenciales o las redes de Petri. Ni siquiera los diagramas de parentesco que los antropólogos memoriosos tal vez recuerden y de las que hablaré luego (no siempre auspiciosamente) eran tan sencillas. Casi se diría que en análisis de redes hay sólo dos clases primarias de entidades (nodos y conexiones) y que cada autor bien puede utilizar los indicadores diacríticos de tipo, peso o direccionalidad que le convenga cuando así se lo requiera.

La figura 5.7 muestra (a) un grafo no dirigido con un solo tipo de vértice y una sola clase de unión, (b) una red con cierto número de tipos y vínculos, (c) una red con diversos pesos de nodos y nexos y (d) un grafo orientado; a la derecha hay un grafo 4-coloreable, el célebre grafo de Petersen, “una configuración notable que sirve como contraejemplo a

muchas predicciones optimistas sobre lo que puede ser posible para los grafos en general” (Knuth 2001: vol. 4, Pre Fasciculus 0A; Holton y Sheehan 1993).<sup>29</sup>

La versatilidad expresiva y la naturaleza básicamente combinatoria de los grafos les viene de su generalidad. Como decía James J. Sylvester hace un siglo y medio, “[...]a teoría de la ramificación es de pura co-ligadura porque no toma en cuenta magnitud o posición; se usan líneas geométricas, pero no tienen que ver con el asunto más de lo que las que se emplean en tablas genealógicas tienen que ver con las leyes de la procreación” (según Harry 1969: 1).

De más está decir que un modelo de red puede tener información conceptual asociada tan rica como se quiera y que no todas pero sí unas cuantas tareas analíticas arduas y aburridas pueden hoy resolverse con relativa rapidez (y a bajo costo) poniendo en su lugar tecnologías que ya están ofreciendo más de lo que el común de los investigadores podrá llegar a demandarles. Con ellas no se solucionan todos los problemas inherentes al fenómeno, pero sí se sientan las bases para comenzar a sacar unas cuantas conclusiones que se siguen de la forma en que los hemos planteado y para establecer procedimientos correctivos cuando las tácticas de elicitation o de resolución a las que nos hemos acostumbrado se manifiestan impropias.

•••

Dejaré pendiente en esta tesis la crónica de las elaboraciones tardías y avanzadas de la escuela de Harvard, a la cual se imputa la promoción definitiva de los sociogramas a redes sociales y la madurez y consolidación del ARS. Esa crónica ha sido articulada, acaso sobreabundantemente, en uno de los pocos estudios en sociología de la ciencia que se refiere centralmente al análisis de redes (Freeman 2004). En aquella institución se desarrollaron al menos cuatro generaciones de estudiosos de primerísimo orden en la especialidad, surgidos del discipulado del físico y sociólogo Harrison White: Phillip Bonacich, Scott Boorman, Ronald Breiger, Kathleen Carley, Mark Granovetter, Gregory Heil, Nan Lin, François Lorrain, Barry Wellman. Las ideas que allí se gestaron fueron muchas, eclipsando los logros de otros centros de estudio en las universidades de Chicago, Lund, Columbia, Amsterdam, la Sorbonne, Iowa y Michigan. Allí también se afianzaron algunas tendencias que a la larga se revelarían poco beneficiosas: la creencia en la naturaleza

<sup>29</sup> Siempre me llamó la atención que los especialistas lo consideren “uno de los grafos mejor conocidos” (Chartrand y Zhang 2009: 40), implicando que es natural que existan grafos con nombres propios, fuentes de ideas sin fin y encarnaciones de problemas cuya resolución ha sido magistral o que todavía resta resolver. Es evidente que incluso una figura de modesta complicación visual como la presente puede insumir (y seguirá insumiendo, igual que los postulados de Euclides) años de estudio especializado. Si un estudioso pudiera establecer el isomorfismo entre un grafo encontrado en la investigación y alguno de los grafos “nombrados”, la ganancia conceptual sería enorme. Lo mismo se aplica, desde ya, a las distribuciones estadísticas encontradas (ver más adelante, pág. 190). Los grafos con nombres propios más conocidos son tal vez Andrásfai, Balaban, Chvátal, Clebsch, del Toro, *cocktail-party* (hiper-octaedro), Coxeter, Desargues, Doyle, Dyck, Folkman, Foster, Franklin, Fullerene, Gray, Grötsch, Hall-Hanko, Harries, Heawood, Higman-Sims, Hoffman-Singleton, Levy, los siete puentes de Königsberg, Ljubljana, McGee, Meredith, Möbius-Cantor, Paley, Pappus, Petersen, Rado, Robertson, Shrikhande, Szekeres, Tutte, Wiener-Araya y Wong. Además de los grafos individuales están las familias y clases de grafos especiales, demasiado abundantes para citar aquí (ver Capobianco y Molluzzo 1978; Branstädt, Le y Spinrad 1999; Golumbic 2004).

teórica (e incluso paradigmática) de una familia de técnicas, la acentuación del carácter específicamente social de las herramientas, la separación entre las vertientes sociológicas y antropológicas del estudio de redes, el paulatino desinterés hacia la teoría de grafos, la canonización de una ortodoxia, el confinamiento en distribuciones estadísticas que ahora se saben impropias, la premisa de que la física debía ser la ciencia madre porque tenía sus ideas más claras o sus objetos en orden, la proliferación de métodos promisorios en extremo y de apariencia elegante pero de interpretación e implementación palpablemente inadecuadas.

Sin duda hubo una inflexión a favor de métodos algebraicos y en detrimento de los grafo-teoréticos en el campo del ARS en general y en la escuela de Harvard en particular. Aquéllos son, ciertamente, los más fáciles de implementar en programas de computadora, así como los que mejor riman con los conceptos teóricos descriptivos de posición y rol social. Pero donde la mayoría de los autores celebra un área excitante de investigación yo percibo más bien el peligro de pretender replicar en un juego de matrices una camisa de fuerza conceptual, al lado de una floración de dilemas algorítmicos.

La idea de equivalencia estructural, por ejemplo, ha sido extremadamente útil para establecer entidades estructurales tales como clases de equivalencia, pero se torna problemática cuando se trata de comparar dos o más redes distintas. Aquí es donde asoman las arbitrariedades (bien conocidas por Nelson Goodman) de las medidas de la identidad o la similitud estructural. Las dos más comunes, la distancia euclíadiana y CONCOR, no arrojan estimaciones equivalentes. Esta última también está afectada por decisiones sumamente dudosas, tales como (1) una secuencia de particiones binarias que no es sensible a las especificaciones estructurales de las redes, (2) el escaso parecido entre los resultados de la aplicación del método y lo que intuitivamente se entiende como las posiciones sociales en el sistema y (3) el hecho de que las propiedades matemáticas exactas del CONCOR siguen siendo confusas al lado de las de métodos mejor probados como el PCA [*principal component analysis*] (Doreian 1988; Faust 1988; Wasserman y Faust 1994: 380-381, 392).

Tampoco el MCA, favorecido por Bourdieu, es de aplicación en el caso de las distribuciones no lineales: desde Pareto en adelante se sabe que ninguna distribución económica es lineal; como veremos en el capítulo siguiente, desde Erdős y Rényi se conoce que mientras los procesos abstractos de desarrollo de grafos y redes son monotónicos los procesos en la práctica seguramente no lo son. Una técnica formidable propuesta por White, el *blockmodeling*, que permite visualizar a través del análisis multidimensional [MDS] algo que se parece a las visualizaciones de campos à la Bourdieu mediante MCA, también depende de CONCOR para su cálculo (Schwartz 1977). En cuanto a la dependencia metodológica de distribuciones de Poisson truncadas, distribuciones exponenciales negativas (con sus procesos de Poisson homogéneos inherentes) y otros bochornosos artefactos estadísticos, véase White (1962). White percibió correctamente que la reacción de Simon contra Zipf<sup>30</sup> podía ser exagerada, pero no estuvo ni remotamente cerca de intuir las distribuciones estadísticas propias de las redes de la vida real.

---

<sup>30</sup> De la que luego hablaremos. Véase más adelante, pág. 181.

Tenemos hasta este punto una confusa crónica de acciones incomprendidas y de reacciones desproporcionadas, de unas pocas o poquísimas ideas extraordinarias bregando por sobrevivir entre una marejada de concepciones ortodoxas no siempre fecundas, todo ello en un campo de fuerzas tan proclive a la no linealidad y tan sensitivo a las pequeñas mutaciones que todo diagnóstico deviene difícil. De más está decir que (más allá de las intuiciones brillantes que aquí y allá se encuentran) si la historia del ARS hubiera acabado en este punto, girando en torno a concepciones mecánicas y estadísticas parecidas a las que se barajaban antes de (digamos) el año de epifanía de 1998, no me habría preocupado por escribir este ensayo. Seguiría quizá proclamando, como en efecto lo hice alguna vez (Reynoso 1991b), la muerte de la antropología, sin percibir ninguna luz al final del túnel y sin pensar en la conveniencia, el gozo y la gloria de una posible resurrección.

**Consecuencia n° 3:** La síntesis que podría hacerse de los procesos aquí revisados debería destacar el surgimiento de instrumentos de propósito general en contextos disciplinares cerrados, incrustados en el seno de teorías que ya no se sostienen, o promovidos por personalidades desacreditadas en todos los demás respectos. Como quiera que fuese, esos instrumentos tuvieron algo más que sus quince minutos de fama; en algunos rincones de la academia siguen constituyendo, de hecho, el tronco de las metodologías dominantes, el estilo de indagación en el que piensa la mayor parte de los científicos cuando de pensar en redes se trata.

Por añadidura, aun en sus manifestaciones más convencionales el ejercicio de las técnicas reticulares crea hábito; quienes las han probado con algún grado de éxito no encuentran fácil desembarazarse de ellas, ponerlas en un discreto segundo plano, evaluarlas objetivamente, pensar de otra manera. Igual que la programación, el ejercicio del ARS puede llegar a ser prosaico y con frecuencia lo es; mas no hay duda que cuando se adquiere cierto virtuosismo el juego con sus herramientas algorítmicas se vuelve más estimulante de lo debido, al extremo de ensombrecer o quitar prioridad al tratamiento del objeto. Los autores a los que nos hemos referido hasta ahora estuvieron lejos de elaborar epistemológicamente estas latencias, las provechosas tanto como las negativas; ni hablar de sus críticos, que percibieron nada más que el costado pueril de unas prácticas lúdicas que aparentaban referirse sólo a sí mismas. Lo que tenemos hasta este momento no es un simple tablero en blanco o negro, un vaso medio lleno o medio vacío sino una dualidad mucho más complicada que eso: jirones de intuiciones geniales al servicio de ideas insostenibles, un álgebra riquísima lastrada por una estadística impropia, teorías de alto refinamiento teorematíco que alientan inexorablemente el malentendido y mundos conceptuales e imaginarios a los que no se les aplicó (y a los que no se les aplicaría tampoco en el futuro) la reflexión metodológica suficiente.

La historiografía de las ciencias sociales en general y (después de George Stocking) de la antropología en particular, tiende con frecuencia a acentuar, esencializar y linealizar el impacto del contexto sobre las teorías; pero le he dado vuelta miles de veces a la historia y estoy persuadido que nada de la potencialidad ulterior de las ideas que aquí se comenzaron a entrever habría podido predecirse examinando nada más que el lado oscuro de sus

condiciones de gestación o la rutina oficinesca de sus manifestaciones más conocidas, que es lo que preferentemente ha alimentado el morbo de los historiadores.

La historia hasta el punto en el que la hemos dejado es el relato de una trayectoria que pudo haber acabado en un callejón sin salida parecido al que selló el destino de la teoría general de sistemas o el de la antropología matemática. Queda como interrogante digno de ser explorado con algún detenimiento la pregunta de cómo pudo ser que tantas ideas luminosas como las que sobrevinieron más tarde pudieran surgir de los desórdenes y atolladeros que hemos entrevisto. Mi conjectura (provisoria como tantas otras) es que la dinámica de las sucesiones teóricas y paradigmáticas está lejos de seguir el trámite gradual, unidimensional, invariante, serial y sumativo que presuponemos por defecto y que de un modo u otro prevalece en las historias de la antropología (p. ej. Harris 1968) o en las lógicas narrativas de la filosofía de la ciencia, la de Alfred Kuhn (1962) en primer lugar. Es más probable en cambio que el tejido de los acontecimientos, de las influencias y de las transiciones de fase en el campo científico y tecnológico pueda comprenderse en términos reticulares y dinámicos complejos, tal como lo sugería Lévy Moreno al inicio de este mismo capítulo o como lo propondrá Per Bak más adelante, y no como una sucesión de acontecimientos discretos, algunos de los cuales mantienen la ortodoxia mientras que otros desencadenan una revolución por razones que se determinan, siempre, *ex post facto*.

En otras palabras, las propias ideas de la complejidad con sus paradojas, no linealidades y emergencias, insinúan cómo es que el proceso de gestación de la teoría de redes en estado de arte debió tener lugar. La ciencia parece ser adaptativa, auto-organizante y tolerante a fallas: gestáltica, por así decirlo. No se requiere que para ser efectiva una teoría o un método posea una enunciación perfecta o una eficacia óptima. Así como muchas de las metaheurísticas poco refinadas que se verán más adelante han sido capaces de producir resultados sorprendentes, y así como en autómatas celulares, sociedades artificiales y modelos de enjambre se manifiestan conductas globales de complejidad formidable a partir de reglas locales muy simples, del acoplamiento, composición y redundancia de elementos heterogéneos, débiles y poco fiables pueden surgir (tal como lo demostró von Neumann y como de hecho sucedió en este caso) formas de computación extremadamente robustas y sostenibles como las que los instrumentos de redes requieren para su desarrollo y como las que ellos mismos acabarían produciendo, recursivamente, en el despliegue de sus capacidades a lo largo de la historia.

## 6 – Redes aleatorias: Posibilidades y límites del azar

No importa cuán importante sea el objeto específico de [esta o aquella] investigación, de hecho cuenta menos [...] que el método que le ha sido aplicado y que podría ser aplicado a una infinidad de objetos diferentes.

Bourdieu y de Saint Martin (1982: 50)

Más allá de los avances en teoría de redes propiamente sociales, desde la década de 1950 la teoría matemática de redes experimentó un crecimiento sostenido merced a los trabajos de dos matemáticos húngaros, Paul [Pál] Erdős [1913-1996] y Alfréd Rényi, en contemporaneidad con el hoy olvidado E. N. Gilbert (1959), con Ford y Uhlenbeck (1957) y con Austin, Fagen, Penney y Riordan (1959), todos a la zaga de Ray Solomonoff y Anatol Rapoport (1951). Dado que cuando se trabaja con elementos reticulares, incluso con algunos de tamaño muy modesto, los problemas se vuelven rápidamente intratables, Erdős y Rényi propusieron considerar modelos probabilísticos, esto es, redes estructuradas estocásticamente, llamadas desde entonces ER por las iniciales de los autores (Erdős 1973: 569).

Ellos nunca llamaron a lo suyo redes, en rigor, sino más bien grafos, que es lo que eran; pero las “redes ER” se incorporaron al ARS desde la temprana programación de los años ochenta. Tampoco se pensó en los grafos ER como ilustrativos de la clase reticular concomitante a la hipótesis nula en la prueba estadística de una investigación empírica; hasta donde conozco, el primer autor en postular esa idea explícitamente ha sido Jörg Reichardt (2009: vi, viii-ix, 3-4). Más que su estructura o sus distribuciones estadísticas, son las propiedades dinámicas monótonas descubiertas en los modelos ER originarios lo que los hace relevantes; una de ellas demanda particular atención.

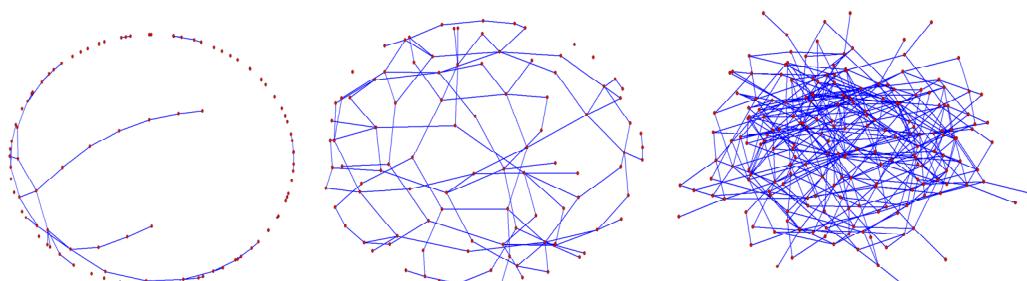


Figura 6.1 – Redes aleatorias, inconexas (a, b) y conexa (c) – Generadas y graficadas con Pajek

Me refiero a lo que en la ulterior teoría de la complejidad se ha dado en llamar una singularidad, catástrofe o transición de fase, aunque nuestros autores nunca usaron esos términos. Erdős y Rényi encontraron que cuando el promedio de conectividad de los nodos de una red salta de menos de un valor determinado a ese valor o algo más, se pasa de un estado en el cual hay varias sub-redes inconexas a otro estado en el cual surge una red mucho más altamente conectada. La figura 6.1 muestra un ejemplo de red aleatoria de 100 nodos con grado promedio  $k = 1,2, 2,5$  y  $3,5$  en la nomenclatura del programa Pajek (que

es más bien  $z$  en la literatura de los grafos ER). En este último caso, emerge lo que se ha dado en llamar un “componente gigante” sea cual fuere el tamaño de la red (Bollobás y Riordan 2003: 4). La forma de representación escogida de este componente es un grafo bidimensional en función de la energía según el método propuesto por Thomas Fruchterman y Edward Reingold. Después volveré sobre ésta y otras técnicas representacionales y (más todavía) sobre la necesidad de pensar en ellas.

El asunto de los grafos ER merece una leve excursión por sus matemáticas subyacentes. Llamaremos  $n$  al número de vértices y  $z$  al grado de un vértice, siendo este grado el número de vínculos que se conectan con él. El número promedio de un grafo total es  $\frac{1}{2} n(n-1)p$ , y el número promedio de extremos de vínculos es el doble que eso. Por lo tanto el grado promedio de un vértice es

$$z = \frac{n(n-1)p}{n} = (n-1)p \cong np$$

Para valores pequeños de  $z$ , cuando hay muy pocos vínculos en el grafo, no es de sorprender que la mayor parte de los vértices estén desconectados entre sí, manteniendo un tamaño promedio que permanece constante a medida que el grafo se agranda. Sin embargo, hay un valor crítico de  $z$  por encima del cual un componente muy grande contiene una fracción finita  $S$  del número total de vértices, cuyo tamaño  $nS$  escala linealmente con el tamaño total del grafo. Éste es el componente gigante. En general hay otros componentes además de él, pero éstos son pequeños y su tamaño promedio permanece constante a medida que el grafo se agranda. La transición de fase ocurre cuando el grado promedio  $z=1$ . Si consideramos la fracción  $S$  del grafo ocupado por el componente gigante como un parámetro de orden, entonces la transición cae en la misma clase de universalidad que la transición de percolación de campo medio.<sup>31</sup>

El uso práctico de estos conceptos y el sentido comparativo de la idea de evolución o crecimiento de un grafo se aclaran, conjeturo, con esta observación de Mark Newman:

La formación de un componente gigante en un grafo aleatorio es reminiscente de la conducta de muchas redes de la vida real. Se pueden imaginar redes laxamente vinculadas donde hay tan pocos vínculos que, presumiblemente, la red no posee un componente gigante y todos los vértices están conectados sólo a otros pocos. La red social en la cual pares de personas se consideran conectadas si han tenido una conversación en los últimos 60 segundos, por ejemplo, es probablemente tan dispersa que no posee un componente gigante. La red en la cual las personas se dicen conectadas si alguna vez han tenido una conversación, por el otro lado, está tan densamente conectada que es seguro que posee uno de esos componentes (Newman 2003: 35-36).

La importancia del hecho de que las propiedades de los grafos no evolucionan de manera gradual sino de a saltos y no proporcionalmente no puede ser exagerada; si se hubiera encontrado esta característica en las redes sociales de la vida real puede apostarse que se la habría reputado como fruto de errores de elicitation, o como producto de la imperfecta

<sup>31</sup> Los conceptos de parámetro de orden en transiciones de fase, clases de universalidad y percolación se explicarán más adelante. Véase p. 194, capítulo 13 y pp. 211 y sucesivas, respectivamente.

capacidad de relevamiento y análisis de las ciencias humanas. Vale la pena extenderse un poco, entonces, sobre ciertos comportamientos extraños de estas criaturas matemáticas. Si la probabilidad de que un grafo tenga una propiedad  $Q$  tiende hacia 1 cuando el tamaño de un grafo  $N \rightarrow \infty$  (afirman Erdős y Rényi), decimos entonces que casi todo grafo de  $N$  vértices posee la propiedad  $Q$ . Los autores estudiaron poco menos que manualmente las conductas de las variedades de diferentes propiedades en tanto funciones de la probabilidad  $p$  de la existencia de un vínculo entre dos vértices, demostrando que para muchas propiedades hay una probabilidad crítica  $p_c(N)$  tal que si  $p(N)$  crece más lentamente que  $p_c(N)$  a medida que  $N \rightarrow \infty$ , luego casi todo grafo con probabilidad de conexión  $p(N)$  falla en ostentar la propiedad  $Q$ . Y también a la inversa, si  $p(N)$  crece más rápido que  $p_c(N)$ , casi todo grafo pasa a exhibir dicha propiedad.

Esto se ejemplifica espléndidamente cuando se trata de establecer, por ejemplo, la probabilidad de aparición de determinado sub-grafo (una diáda, una tríada, un árbol, un ciclo) dentro de un grafo aleatorio determinado. Para valores bajos en el umbral de la probabilidad  $p$ , el grafo es muy disperso y las perspectivas de encontrar, por ejemplo, un vértice conectado a otros dos es sumamente baja. Aplicando el dictado de la intuición uno podría imaginarse que la probabilidad de que aparezca determinada estructura en algún lugar del grafo se incrementará lentamente a medida que aumente  $p$ , pero Erdős y Rényi probaron que no es así. En vez de eso, la probabilidad de encontrar una tríada es despreciable si  $p < cN^{1/2}$  para alguna constante  $c$ , pero tiende a 1 a medida que  $N$  se vuelve grande si  $p > cN^{1/2}$ . En otras palabras, casi todo grafo contiene un cierto número de tríadas si el número de vínculos es mayor que una constante  $N^{1/2}$  veces, pero casi ninguna si el número de vínculos es menor que eso (ver figura 6.2).

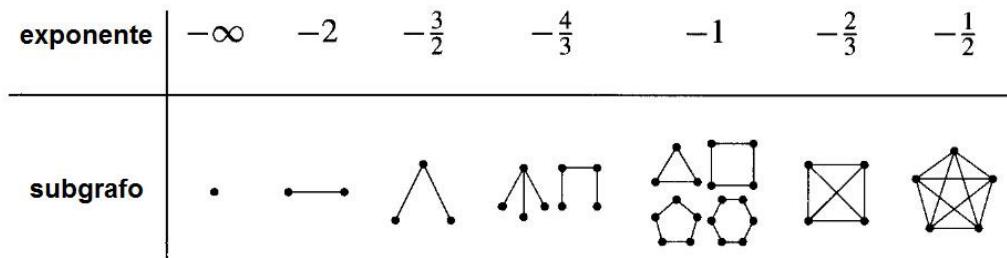


Figura 6.2 – Probabilidades de umbral de que distintos sub-grafos aparezcan en un grafo aleatorio.

Para  $pN^{-3/2} \rightarrow 0$  el grafo consiste en nodos o pares conexos aislados. Cuando  $p \sim N^{-3/2}$  aparecen árboles con tres vínculos y a  $p \sim N^{-4/3}$  árboles con cuatro. Si  $p \sim N^{-1}$  se presentan árboles de todos los tamaños, así como ciclos de todas las longitudes. Cuando  $p \sim N^{-2/3}$  el grafo contiene subgrafos completos de 4 vértices y para  $p \sim N^{-1/2}$  subgrafos completos de 5 nodos. A medida que el exponente se aproxima a 0, el grafo contiene subgrafos completos de orden creciente (basado en Newman, Barabási y Watts 2001: 13)

Si bien hoy se sabe que en la vida real las redes raras veces poseen la estructura y la dinámica aleatoria de los modelos ER, éstos sirvieron para revelar que en las matemáticas reticulares suceden cosas tales como transiciones abruptas y existen valores tales como puntos críticos que volverán a presentarse en otras clases de redes y en otros universos de fenómenos no necesariamente reticulares. El punto crítico es un umbral bajo el cual casi ningún grafo y por encima del cual casi todos los grafos exhiben una propiedad determi-

nada (Diestel 2000: 241). Las transiciones abruptas de los grafos ER se han imaginado análogas a los eventos rápidos de especiación o cladogénesis en las teorías del equilibrio puntuado, un tema apasionante pero demasiado polémico y complejo para tratar aquí. Después de todo, en aquellos años todavía no se hablaba de estas cosas y la súbita demostración de la emergencia de propiedades distintas mediante la evolución monótona de propiedades en el objeto que fuese resultó una sorpresa mayor.

Es un poco sorprendente que tomara más de dos décadas y media darse cuenta de que cada propiedad de incremento monótono en los grafos posee una función de umbral. De hecho, mucho más que eso es verdad: cada propiedad de incremento monótono de los conjuntos, y por ende cada propiedad de incremento monótono de los grafos rotulados, posee una función de umbral. [...] De hecho, Erdős y Rényi no hablaban de transición de fase sino de la aparición súbita de un componente gigante. Sin embargo hoy, unos cuarenta años más tarde, vemos que esta bella y sorprendente propiedad de los grafos aleatorios pertenece claramente a una gran familia de fenómenos encontrados en la teoría de la probabilidad y en la física estadística. En particular, es precisamente en este punto que la teoría de Erdős y Rényi de los grafos aleatorios y la teoría de la percolación entran en estrecho contacto (Bollobás 2002: 100, 104).

Llama la atención que libros austeros plagados de ecuaciones, teoremas, lemas y corolarios saluden el hallazgo de la transición de fase y su misma naturaleza con palabras alborozadas: un hallazgo sensacional, un espectacular período en la evolución del grafo aleatorio, un intrigante fenómeno, una lógica extraña, una bella y sorprendente propiedad, una época apasionante (Janson y otros 2000: 103; Spencer 2000).

El camino para profundizar en estas cuestiones es árido y empinado. La literatura técnica básica sobre redes ER comprende tres de los ocho artículos antológicos de Erdős y Rényi (“Sobre grafos aleatorios I” de 1959, “Sobre la evolución de los grafos aleatorios”<sup>32</sup> de 1960 y “Sobre la fuerza y conectividad de los grafos aleatorios” de 1961) que se encuentran en *The art of counting* (Erdős 1973: 561-617); son ensayos tan densos y ricos que no pocos matemáticos epigonales han hecho carrera con su interpretación. El libro más completo sobre grafos aleatorios, de lectura apenas un poco menos prohibitiva, sigue siendo *Random graphs* de Béla Bollobás (2001). Más accesible y con más sostenida reflexión epistemológica se presenta el artículo “The Erdős-Rényi theory of random graphs” del mismo Bollobás (2002), incluido en el segundo volumen de la compilación de Gábor Hálašz y otros autores sobre las matemáticas de Erdős. Un libro por momentos inteligible para científicos sociales es el de Svante Janson, Tomasz Łukzak y Andrzej Rucinski (2000). También recomendable es *Random graph dynamics* de Rick Durrett (2007).

El campo de los grafos aleatorios no sólo incluye, naturalmente, el análisis de los grafos que evolucionan o crecen mediante procesos estocásticos, sino el estudio de grafos de todo tipo mediante procedimientos probabilísticos. Una capacidad poco estudiada de las redes y los grafos es su utilidad para el estudio de ritmos musicales bajo un riguroso modelo

<sup>32</sup> La palabra “evolución” no tiene en este contexto la denotación usual. En la literatura matemática se llama así a la construcción de grafos aleatorios: comenzando con  $N$  vértices aislados, el grafo evoluciona (o se desarrolla) mediante el agregado sucesivo de vínculos al azar,

matemático. Aunque ni los músicos ni los matemáticos han elaborado seriamente el asunto, las redes (los grafos cíclicos, en rigor) son de aplicación inmediata en el análisis y la síntesis del ritmo. Ejemplo de ello son los estudios de Godfried Toussaint (2005), de la Universidad McGill en Montréal, sobre la geometría reticular del ritmo. Todo comenzó con un desafío de prueba matemática lanzado precisamente por Paul Erdős (1989):

¿Es posible encontrar  $n$  puntos en el plano (no tres en una línea, no cuatro en un círculo) de manera tal que para cada  $i$ ,  $i=1, 2, \dots, n-1$ , exista una distancia determinada por esos puntos que ocurra exactamente  $i$  veces?

La solución sólo era conocida para unos cuantos números (de 3 a 8); Erdős ofrecía 500 dólares de recompensa a quien proporcionara ejemplos con valores de  $n$  arbitrariamente grandes. Erdős (1946) ya había trabajado ese problema con anterioridad. A pesar de su apariencia abstracta e inmotivada, resultó ser un tema de alto impacto en cristalografía de rayos X, en el mapeado de la secuencia del ADN y en geometría computacional. En el proceso de búsqueda de soluciones, los matemáticos habían definido como grafos homométricos a aquellos grafos no congruentes cuyos multiconjuntos de las distancias entre pares sean iguales (Lemke, Skiena y Smith 2002). Contrariando su apariencia de sencillez, el dilema de Erdős se precipitaba fácilmente en la intratabilidad; pero no es ése el punto que nos interesa aquí y ahora. El punto vendría a ser más bien el de la abstracción absoluta de la formulación de Erdős, elaborada sin el menor asomo de aplicabilidad a la vista. No pocos matemáticos se oponen a este régimen de razón pura (Rota 1998: 5-6). Pero ¿qué sucede si aplicamos al modelo una interpretación musical en términos de acentos rítmicos?

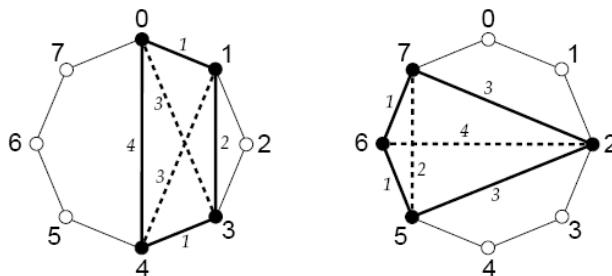


Figura 6.3 – Congas homométricas – Basado en Toussaint (2005a)

El modelo que presentaré ahora puede llevarse a cabo gracias al hecho de que todo esquema rítmico recurrente (no importa que sea o no lo que los músicos llaman “regular”) puede representarse como un grafo cíclico. La figura rítmica recurrente se lee recorriendo los vértices, por ejemplo, en el sentido de las agujas del reloj. Utilizando el artificio de denotar los pulsos latentes como vértices y los acentos efectivos como vértices marcados en oscuro, la figura 6.3 ilustra los ritmos de conga alta y conga baja, respectivamente, de manera que se puede apreciar su homometría: la suma de los grados de separación de sus acentos y de sus diagonales es igual en ambos casos, ocho y seis respectivamente. A un músico no se le hubiera ocurrido considerar las diagonales como elemento de juicio; a un matemático por suerte sí se le ocurrió. Con un programa como Rhythmic Wheels de Ron Eglash, se pueden escuchar los ritmos de ambas clases de conga al cabo de un instante. Aunque el patrón de acentuación es distinto y ni uno solo de sus acentos coincide, ambas

variantes se perciben émicamente como congas. Mientras se mantengan cuatro nodos y el mismo régimen homométrico habrá una instancia del mismo baile. El músico que quiera acentuar debidamente una conga o el ritmo que sea (sin demasiados artificios de síncopa, *rubato* o anticipación) tendrá que respetar la homometría de los acentos básicos. Es seguro que aparte de las que se muestran en la figura hay otras posibilidades, que dejo al lector buscar como si fueran caminos en los puentes de Königsberg.

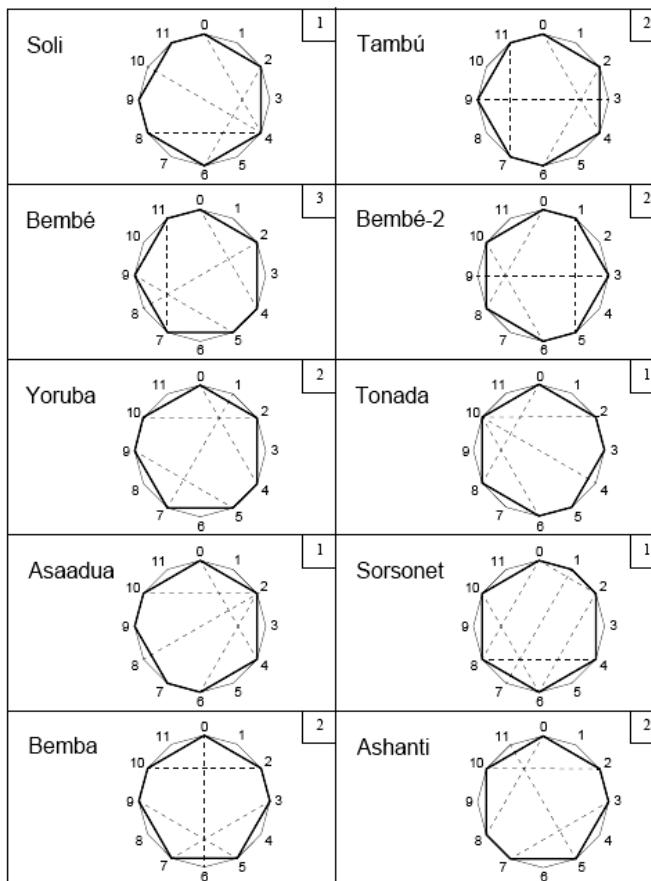


Figura 6.4 – Los 10 patrones de campana del complejo Bembé – Basado en Toussaint (TBD)

Los grafos también nos permiten establecer analogías no sólo metafóricas entre ritmos y escalas, conocidas ya por Erdős mismo. El hecho es que cada escala se puede reinterpretar gráficamente como un ritmo. En particular la escala mayor diatónica, que puede traducirse como [x.x.xx.x.x.x], donde los puntos equivaldrían a las notas negras de un piano de un Do al siguiente, coincide con el más conocido de los ritmos africanos. Éste se toca habitualmente sobre una campana de hierro, y en la música del mundo es conocido por su nombre cubano, bembé (Toussaint 2003; 2004; 2005; Demaine y otros 2005; 2007). En su estudio sobre los patrones rítmicos ternarios de África, Godfried Toussaint encontró que para ritmos basados en siete notas (siete pulsos acentuados) en compases de 12/8 existen  $(12!)/(7!)(5!) = 792$  variedades posibles, siempre que no se restrinjan las distancias entre acentos. Muchos de ellos, sin embargo, no son adecuados como patrones para danzas percusivas vigorosas. El número puede restringirse entonces limitando el valor máximo de los intervalos admisibles.

El *vector interválico* para el bembé (en conceptos de Jeff Pressing [1983]) estaría dado por las permutaciones de (2212221) las cuales suman  $(7!)/(2!)(5!) = 21$  patrones posibles. En suma, habría siete objetos (intervalos rítmicos) de dos tipos diferentes, que llamaremos 1 y 2. Aunque ésta parezca ser una clase muy restringida, resulta ser que los patrones que hay en uso en diferentes sociedades no son más que 10 (figura 6.4). Ninguno de los 11 patrones legales restantes, y ninguno de los 771 matemáticamente posibles que no están en el cuadro ha sido registrado alguna vez.

Ahora bien, se ha definido como collar  $n$ -ario a una clase de equivalencia de secuencias  $n$ -arias bajo rotación. En la clase de rotación para el ritmo Bembé hay sólo tres collares binarios (sucesiones ya sea de acentos o de reposos). En la figura 6.6 se muestran con sus ejes de simetría en posición vertical y con los dos intervalos más breves en el semicírculo superior. Todos los 10 patrones pueden entenderse como rotaciones de esos collares. Los números I, II y III asignados a esas clases básicas representan la distancia mínima (en término de número de intervalos) que separa los dos intervalos breves. La razón de que existan 10 posibilidades y no sólo tres es porque el patrón de 12/8 es habitualmente acompañado por un patrón estable de 4/4, dado que esta música africana es esencialmente polirítmica; el efecto sonoro global de los diferentes patrones rotados es por completo diferente en cada caso.

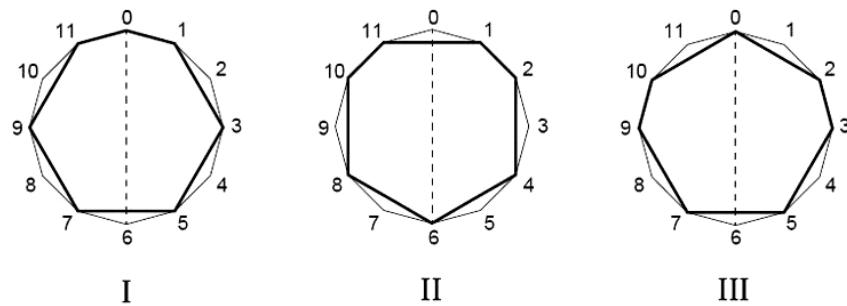


Figura 6.6 – Collares binarios para los ritmos Bembé – Basado en Toussaint (2005b)

Otra experiencia interesante en el uso de grafos para representar música es el estudio de Leonardo Peusner (2002). Al menos en este ensayo preliminar, el autor no intenta llegar a una instancia de generalización; lo que le interesa por el momento es establecer algunos correlatos o analogías entre diversos géneros musicales y las distintas clases de grafos que les corresponden. En ese trámite descubre que la transcripción a grafo de la canción “Moon river” de Henry Mancini, por ejemplo (fig. 6.7 izquierda), se encuentra en la misma clase de equivalencia que la de otras piezas sencillas de trámite fluido. Simplificando un poco el grafo (esto es, asignando un solo vínculo a las relaciones binarias entre notas independientemente de su orden secuencial), resulta ser que el grafo generado es planar y posee 9 vértices, 13 vínculos y 6 caras. Estas caras son las regiones en que el grafo planar corta el plano.

El grafo exhibe además lo que los especialistas llaman una clásica relación Euler-Poincaré (James 1999: 147, 148, 366, 401, 996). En topología, la fórmula Euler-Poincaré describe la relación entre el número de vértices, aristas y caras de un *manifold*. En el ejemplo

tratado, la suma de los vértices más el número de caras equivale al número de vínculos más dos, o sea ( $9+6=15=13+2$ ). Esta topología contrasta abruptamente con piezas tales como la Gavota de la Quinta Suite Francesa de Johann Sebastian Bach (BWV 816, 1772), para mapear la cual se requieren 7 caras triangulares, 2 pentagonales, un bucle, dos caras de seis lados y dos caras no planares (una triangular y la otra hexagonal). Otras piezas barrocas como ésta introducen muchas más transiciones en ambos sentidos que lo que es el caso en las composiciones populares. En ambos grafos hay como si fuera tres tipos de nodos: (1) transiciones de nodos no ambiguas, correspondientes a notas de pasaje a partir de las cuales hay una sola conexión posible a una nota vecina; (2) nodos que conectan igual número de veces a *clusters* de notas; y (3) nodos ambiguos con transiciones desigualmente distribuidas a nodos vecinos. Presumiblemente, es este último conjunto el que inyecta elementos de sorpresa en las melodías. Es concebible, imagina Peusner, que con algún esfuerzo taxonómico se puedan encontrar signaturas peculiares a compositores, épocas, estilos; examinando probabilísticamente las transiciones también sería factible medir la mayor o menor cantidad de orden o desorden (información o entropía) en una composición, género o lo que fuere. El método de visualización de grafos de Peusner, laboriosamente trabajado a mano, podría beneficiarse hoy en día de los algoritmos y metaheurísticas de dibujo que existen hoy en día y que se tratarán algo más adelante. Ésta no es empero una crítica que pueda empañar a un ensayo brillante. Peusner se restringe prudentemente a unos cuantos casos y comprendo que así sea; no se puede dejar de pensar, sin embargo, que en nuestras ciencias se han tejido ambiciosas teorías generales a partir de mucho menos.

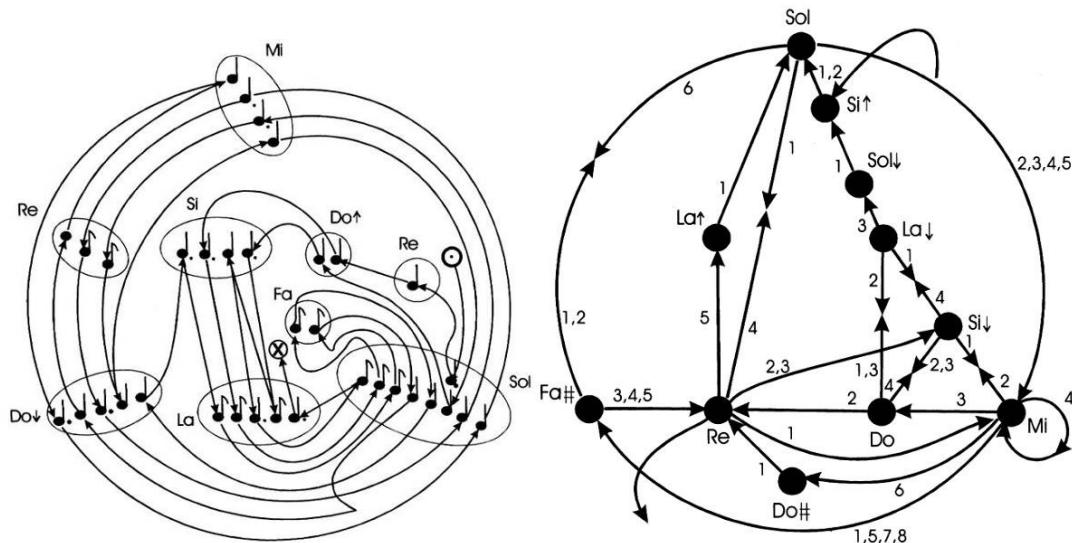


Figura 6.7 – Grafos musicales de “Moon river” de Henri Mancini y de la Gavota de la 5<sup>a</sup> Suite Francesa de Bach según Peusner (2002)

En mis seminarios y conferencias sobre complejidad acostumbro lanzar un desafío teórico que todavía no ha sido impugnado: la estructura de un buen modelo o algoritmo complejo conviene que sea independiente de objeto. En cierto modo ello implica que el objeto puede ser cualquiera; por ende, si no se puede analizar o componer música con el algorit-

mo, hay razones para ponerlo bajo sospecha en general en tanto algoritmo de complejidad. Los algoritmos complejos han sido utilizados para la síntesis musical desde hace tiempo: hay música algorítmica basada en sistemas complejos adaptativos, autómatas celulares, fractales, ecuaciones no lineales, sistemas-L y algoritmos evolutivos (Bentley y Corne 2002; Assayag, Feichtinger y Rodrigues 2002; Fauvel y otros 2003; Miranda y Biles 2007; Hingston, Barone y Michalewicz 2008; Romero y Penousal Machado 2008; Raś y Wiczorkowska 2010). La teoría de grafos no ha sido definida en su origen como compleja, pero no es una excepción al desafío. En pocas palabras, el ingenio de Erdős y su capacidad de encontrar pautas complejas más allá de la intuición nos permiten comprender un patrón oculto de organización que ni el mejor informante nos habría podido revelar jamás. Rara vez se tuvo antes un modelo de análisis rítmico y melódico (simultáneamente) de semejante elegancia y simplicidad. Alucino al pensar lo que sería, por ejemplo, repensar las tipologías de parentesco mapeando ciertas estructuras en términos de grafos y examinando los valores de Euler-Poincaré u otras variables determinadas por la topología de los *manifolds* resultantes como criterios para una taxonomía y una comparación formal.

Incidentalmente, una de las hazañas intelectuales más impactantes de Erdős y Rényi fue su exquisita demostración de la posibilidad de métodos probabilísticos de complejidad moderada (media, varianza, expectativa, principio de inclusión-exclusión y desigualdad de Chebyshev) en la prueba de teoremas deterministas que nada parecían tener que ver con el azar. Aunque no fueron los primeros en examinar las propiedades estadísticas de los grafos, pues el pionero parece haber sido Anatol Rapoport (1957; Solomonoff y Rapoport 1951), ellos introdujeron poderosas herramientas de la teoría de la probabilidad en lo que hasta entonces se intentaba resolver mediante recursos de combinatoria enumerativa, expresión que es acaso un eufemismo para designar el ensayo y error. Hoy en día los métodos en ese renglón son mucho más refinados e incluyen la desigualdad de martingala de Doob, el método Stein-Chen, transformas discretas de Fourier, métodos espectrales, cadenas de Márkov de mezcla rápida, desigualdad de Azuma-Hoeffding, desigualdades isoperimétricas y muchos más que sería arduo detallar o explicar de qué se tratan, asunto que (al igual que su posible aplicación antropológica o estética) debo dejar por ahora librada a la inquietud exploratoria de cada quien (véase Bollobás 2002: 123).

Un aspecto importante de las redes aleatorias es que ellas presuponen distribuciones normales o Gaussianas (para mediciones continuas), o distribuciones de Poisson (para mediciones discretas). Una forma más adecuada de expresar esto es decir que la distribución de grados de un grafo aleatorio resulta bien aproximado por distribuciones de esta clase. Vale la pena asomarse a esta propiedad con cierto detalle.<sup>33</sup> La distribución de la que hablamos es en concreto la distribución de grado [*degree distribution*], habitualmente notada como  $z$ . La probabilidad  $p_k$  de que un vértice en grafo aleatorio ER posea un grado exactamente  $k$  está dada por esta distribución binomial:

---

<sup>33</sup> Por supuesto, las distribuciones normales (gaussianas) y las de Poisson distan de ser idénticas; no obstante, y siguiendo el principio de Goodman y el ejemplo de Watts (2004: 104) las consideraré aquí suficientemente similares como para incluirlas en la misma familia.

$$p_k = \binom{n-1}{k} p^k (1-p)^{n-1-k}$$

En el límite en el que  $n \gg k$ , esto deviene:

$$p_k = \frac{z^k e^{-z}}{k!}$$

que no es otra cosa que la bien conocida distribución de Poisson. En estos grafos aleatorios el grado promedio se computa fácilmente como  $\langle k \rangle = (N-1)p$ , y el coeficiente de *clustering* es  $c(k)=p$ , dado que es simplemente la probabilidad de que dos vecinos de un vértice de grado  $k$  tengan un vínculo entre ellos.

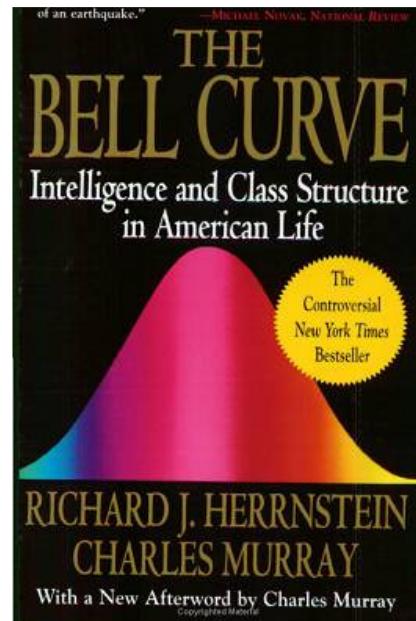
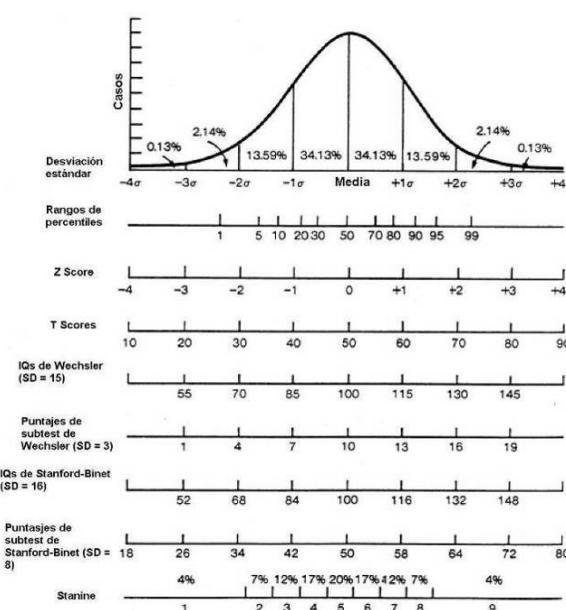


Figura 6.8 – Campana de Gauss y “curva de Bell”  
(Izq): Gráficos del autor – (Der.): Portada del libro de Herrnstein & Murray (1994)

Una distribución normal característica es, por ejemplo, la de las estaturas de las personas. La clase se caracteriza por mapear en un gráfico de distribución de funciones como una curva en forma de campana, conocida como campana de Gauss, que es lo que se ve a la izquierda en la ilustración de la figura 6.8. La imagen de la derecha corresponde a la portada de uno de los textos más funestos sobre la presunta distribución normal del aún más presunto coeficiente intelectual, un libro cuyo título en la tradición oral ha sido montruosamente traducido como la “curva de Bell” (Herrnstein y Murray 1994).<sup>34</sup> El libro no se refiere a estaturas sino a la inteligencia, medida en función de un coeficiente (el de Pearson, el IQ o algún otro) que resulta de la unificación de numerosas medidas de

<sup>34</sup> De más está decir que no existe ninguna “curva de Bell”, ni tampoco hubo un científico así apellidado que forjara esa criatura epónima. Vale la pena consignar el dato, por si alguien está en camino de reproducir el antipatrón: aunque Google™ retorne hoy (octubre de 2010) 22.600 punteros a la búsqueda encomillada de la expresión “curva de Bell”, una *bell curve* es, sencillamente, una curva en forma de campana.

escalas disímiles y dependientes de contexto y que presupone correlación positiva entre todas las capacidades intelectuales.

A lo que voy es a que una distribución normal presenta una curva en forma de campana cuyo pico coincide con la media y la mediana: una estatura o IQ “normal” es, en este contexto, la estatura o IQ más común en una población; los “normales” son mayoría, como su nombre lo indica. “Todas las distribuciones son normales”, reza el mito: lo mismo me dijo alguna vez un arqueólogo experimentado cuando todavía no se sabía muy bien que eso (que depende de cómo se construye el corpus selectivo y cómo se establecen las escalas) es técnicamente inexacto. La preceptiva estadística de las ciencias sociales presupone erróneamente que esta clase de distribución es dominante; el uso de ese formuleo *out of the box* para tratar muestras que poseen distribuciones impropias involucra una grave distorsión, comenzando por las mismas operaciones de muestreo y por el sentido semántico de la hipótesis nula. Ciertas operaciones estadísticas comunes bajo el supuesto de la distribución normal, como el cálculo del coeficiente de correlación de Pearson, han debido ser abandonadas debido a insalvables dificultades cuando la red es de gran tamaño y la distribución es de ley de potencia (Serrano y otros 2006; Ferrer i Cancho y otros 2007: 67).<sup>35</sup> Ni hablar de categorías tales como media/promedio, mediana, moda, variancia, desviación estándar, etcétera. Aun cuando mi concepción de lo aleatorio difiere enormemente de la suya, vale la pena citar largamente al heterodoxo Nassim Taleb:

Las desviaciones estándar no existen fuera del mundo gaussiano, o si existen no importan nada y tampoco explican mucho. Pero la cosa es peor. La familia gaussiana (que incluye varios amigos y parientes, tales como la ley de Poisson) es la única clase de distribución para las cuales la desviación estándar es descripción suficiente. No se necesita más nada. La curva en forma de campana satisface el reduccionismo de lo engañoso.

Hay otras nociones que poseen poca o ninguna significación fuera de lo gaussiano: correlación, o peor todavía, regresión. Y sin embargo están profundamente engranadas en nuestros métodos. [...]

Para ver cuán carente de sentido es la correlación fuera de Mediocristán, tome usted una serie histórica que involucre dos variables que visiblemente son de Extremistán, tales como los bonos y el mercado de acciones, o dos precios de pólizas de seguros, o dos variables como, digamos, los cambios en los precios de libros infantiles en los Estados Unidos y la producción de fertilizantes en China; o los precios de los bienes inmobiliarios en Nueva York y los retornos del mercado de acciones de Mongolia. Mida la correlación entre los pares de variables en diferentes sub-períodos, por ejemplo, para 1994, 1995, 1996, etcétera. La medida de correlación exhibirá probablemente una severa inestabilidad; dependerá del período para el cual fue computada. Y sin embargo la gente habla de correlación como si fuera algo real, haciéndolo tangible, invistiéndolo de una propiedad física, reificándolo.

---

<sup>35</sup> La expresión “distribución de ley de potencia”, que yo mismo aplico desde hace años es filológicamente incorrecta, ya que “ley” es sólo el nombre antiguo de lo que hoy se llama “distribución”. *Power law* debería quizás traducirse como “distribución de potencia”, pero ello pondría la expresión semánticamente demasiado próxima a la idea de distribución exponencial, la cual dista de ser la misma cosa.

La misma ilusión de concretidad afecta a lo que llamamos desviaciones “estándar”. Tome usted una serie de precios o valores históricos. Sepárela en varios sub-segmentos y mida su desviación “estándar”. ¿Sorprendido? Cada muestra exhibe una desviación “estándar” diferente. ¿Por qué la gente habla entonces de desviaciones *estándar*? Pues vaya uno a saber (Taleb 2007: 230-240).

De más está decir que todo cuanto concierne a (por ejemplo) los métodos de muestreo convencionales es antagónico a la mera idea de las redes que no exhiban distribuciones de la familia gaussiana (cf. Wasserman y Faust 1994: 34-35). No por nada Henri Poincaré, el pionero descubridor del caos determinista, se quejaba de que los físicos usaban la curva gaussiana porque creían que era una necesidad matemática, mientras que los matemáticos lo hacían porque estaban persuadidos de que se trataba de un hecho empírico (Taleb 2007: 243). Después volveré sobre estas cuestiones.

Es preciso hacer notar una característica de la distribución normal: como puede verse en ambas puntas de la curva, siempre hay muy pocos individuos altísimos y muy pocos también de bajísima estatura, o poquísimos genios y gente de poca inteligencia (o como los llamen los psicómetras). La diferencia entre los ejemplares extremos y el pico sería de menguada magnitud: cuatro o cinco órdenes como mucho, jamás del orden de los miles o los millones (Sornette 2006: 94). Dicho de una forma algo más rigurosa, aún en el extremo de aleatoriedad absoluta de una ley gaussiana, las desviaciones de la media mayores a unas pocas desviaciones estándar son muy raras, como si hubiera límites precisos a los grados de libertad del mismo azar. Desviaciones mayores a 5, por ejemplo, nunca se ven en la práctica. Es absolutamente obvio que una entidad caracterizada por este constreñimiento refleja muy pocas características de la vida real.

No es preciso ponerse en contra de Erdős y Rényi para defender tal extremo. En uno de sus artículos canónicos dicen ellos:

La evolución de los grafos aleatorios puede considerarse un modelo (más bien simplificado) de la evolución de ciertas redes reales de comunicación, p. ej. la red del ferrocarril o la red eléctrica de un país o de alguna otra unidad, o el crecimiento de estructuras de materia inorgánica u orgánica, o incluso el desarrollo de relaciones sociales. Por supuesto, si uno pretende describir tal situación real, nuestro modelo de grafo aleatorio debe reemplazarse por un modelo más complicado pero más realista (Erdős 1973: 344).

Esta afirmación, incrustada en una de los documentos más circunspectos y refinados de prueba matemática, enseña mucho, a su manera, sobre el carácter, los alcances y los límites del modelado, y sobre la conexión necesaria entre un problema y sus posibles soluciones.

Cabe una observación adicional respecto de la ligereza con que se acostumbra diagnosticar una u otra clase de distribución tanto en las ciencias duras como sobre todo en las blandas. Más de una vez los estudiosos salpican sus páginas con cuadros de distribuciones, con una alta probabilidad de que algunas de ellas sean normales o de Poisson. En años recientes la distribución de Poisson ha sido aplicada en un número creciente de contextos. Igual que la distribución binomial, a menudo sirve como estándar a partir del cual medir desviaciones, incluso cuando ella misma no sea una representación adecuada de la

situación. Una alternativa tanto o más utilizada en análisis de redes es la distribución uniforme, a menudo generalizada como distribuciones de Bernoulli con iguales probabilidades, asumiendo que estas distribuciones son modelos válidos para los datos en infinidad de circunstancias (Wasserman y Faust 1994: 528 y ss.). Viene bien asomarse a la extrema simplicidad de la distribución de Bernoulli, de cuyas convoluciones se derivan a su vez las distribuciones binomiales, geométricas y binomiales negativas; se dice que una variable aleatoria  $X$  posee una distribución de Bernoulli con parámetro  $p$  si su función de probabilidad tiene la forma:

$$P(X=x) = \begin{cases} p & \text{para } x = 1 \\ q = 1 - p & \text{para } x = 0 \end{cases}$$

donde  $p$  y  $q$  representan, respectivamente, las probabilidades de “éxito” o “falla” simbolizadas por los valores 1 y 0; esta es una mera opción a cara o ceca (Balakrishnan y Nevzorov 2003: 43-48; Dodge 2008: 36).

<b>Red</b>	<b><i>n</i></b>	<b><i>z</i></b>	<b>Coeficiente de clustering <i>c</i></b>	
			<b>Medido</b>	<b>Grafo aleatorio</b>
Internet (sistema autónomo)	6374	3,8	0,24	0,00060
WWW (sitios)	153127	35,2	0,11	0,00023
Red eléctrica (EE. UU.)	4941	2,7	0,080	0,00054
Colaboraciones en biología	1520251	15,5	0,081	0,000010
Colaboraciones en matemáticas	253339	3,9	0,15	0,000015
Colaboraciones de actores en filmes	449913	113,4	0,20	0,00025
Directores de compañías	7673	14,4	0,59	0,0019
Co-ocurrencias de palabras	460902	70,1	0,44	0,00015
Sinónimos	22311	13,48	0,7	0,0006
Redes neuronales	282	14,0	0,28	0,049
Red metabólica	315	28,3	0,59	0,090
Red alimentaria	134	8,7	0,22	0,065
<i>Escherichia coli</i> , grafo de sustrato	282	7,35	0,32	0,026
<i>Escherichia coli</i> , grafo de reacción	315	28,3	0,59	0,09
Red alimenticia del estuario de Ythuan	134	8,7	0,22	0,06
Red alimenticia de Silwood Park	154	4,75	0,15	0,03

Tabla 6.1 – Coeficientes de *clustering* (Newman 2003: 37; Albert & Barabási 2002: 50)

*n* = número de vértices; *z* = grado promedio

Aun con lo generalizadas que han llegado a estar estas distribuciones reconocidamente simples incluso ellas tienen sus requisitos y están circundadas de trampas. Ya Ladislaus von Bortkiewicz [1868-1931] consideraba las circunstancias en que podían surgir distribuciones de Poisson, las cuales por otra parte sólo se aplican a modelos discretos y univariados. Desde el punto de vista de la propia estrategia de Poisson, se requiere que las medidas sean independientes, que haya consistencia de probabilidad de una medición a otra, que el número de mediciones sea muy grande y que la probabilidad de la ocurrencia bajo observación sea pequeña. Quizá equivocadamente, Bortkewicz (1938) llamaba a esto *Das Gesetz der Kleinen Zahlen*, la ley de los pequeños números; pero no se requiere que el número sea pequeño, sino que sea baja la probabilidad (Johnson, Kemp y Kotz : 156-160).

El mismísimo Rényi (1964) destacaba que la distribución de Poisson que se manifiesta en los grafos aleatorios es el producto de un aspecto de máximo desorden, “una propiedad extrema” que se da como instancia de teoría pura en formas abstractas de teoría de la información. Es dudoso que estos requerimientos se hayan satisfecho y que esos elementos de juicio se hayan tenido en cuenta en toda la literatura antropológica y/o reticular, impregnada esta última por el paradigma de los grafos aleatorios y sus distribuciones características como los modelos de referencia de las relaciones en la vida real y hasta como objetivo de verificación del cálculo en las estructuras que es menester encontrar. Volveré sobre esta cuestión cuando se hayan revisado otros aspectos de la problemática.

A parte de la distribución de Poisson hay otro aspecto de las redes aleatorias que las convierte en un modelo impropio de las redes en la vida real. Las redes observables muestran a menudo un alto grado de *clustering* o transitividad reticular; el coeficiente  $c$  propuesto por Watts y Strogatz mide la probabilidad promedio de que dos vecinos de un vértice dado sean también próximos entre sí (Newman 2003: 36-37). El *clustering* de un grafo no dirigido puede medirse cuantitativamente por medio de un coeficiente. Considerando el vértice  $i$ , cuyo grado es  $k_i$ , y siendo  $e_i$  el número de vínculos que existen entre los  $k_i$  vecinos de  $i$ , se dice que el coeficiente de *clustering*  $c_i$  de  $i$  se define como la razón entre el número real de vínculos con sus vecinos,  $e_i$ , y su valor máximo posible,  $k_i(k_i-1)/2$ , o sea:

$$c_i = \frac{2e_i}{k_i(k_i-1)}$$

El coeficiente de *clustering* global para una red de  $N$  nodos sería entonces:

$$\langle C \rangle = \sum C_i / N$$

Cuanto mayor el valor de  $C$ , tantos más conglomerados pequeños y bien ligados habrá en la red. Como puede observarse en la tabla 6.1, las redes aleatorias no poseen esa propiedad; las cifras reales y las aleatorias-teóricas difieren en algunos casos hasta cuatro órdenes de magnitud. Un rasgo diferencial adicional entre las redes teóricas y las empíricas concierne a los distintos motivos o sub-redes que se encuentran en ambos casos (véanse al respecto págs. 200 y ss.).

En definitiva, los grafos aleatorios de tipo ER sirven más como el esquema a contrastar con las redes empíricamente dadas que como su modelo subyacente. Jörg Reichardt lo establece con la claridad requerida:

Para el estudio de la topología de las interacciones de un sistema complejo es de central importancia disponer de modelos nulos apropiados de redes aleatorias, es decir, modelos de la forma que un grafo surge a partir de un proceso al azar. Tales modelos se necesitan como comparación con los datos del mundo real. Cuando se analiza la estructura de redes de la vida real, la hipótesis nula debe ser siempre que la estructura se debe solamente al azar. Esta hipótesis nula sólo debe rechazarse si la estructura de vínculos difiere significativamente del valor obtenido en un modelo aleatorio. Cualquier desviación del modelo nulo aleatorio se debe explicar mediante un proceso no-aleatorio (Reichardt 2009: 3).

Este proceso no-aleatorio será, en general, el que define las dinámicas que articulan nuestras hipótesis de trabajo.

**Consecuencia n° 4:** La lección epistemológica a destilar de estos desarrollos no tiene tanto que ver con el hallazgo sorprendente del umbral de percolación, sino más bien con la noción de tratabilidad. Las primeras redes interesantes de la historia, de hecho, se propusieron no porque se creyera que las redes aleatorias fueran representaciones fieles de las estructuras de las cosas de la naturaleza o de la sociedad, sino porque esas redes no son realistas pero son *tratables*. Vaya concepto.

O me parece a mí, o la idea de problema (in)tratable cae como una piedra en una ciencia que siempre dió la tratabilidad por garantizada, al extremo de que sus estudiosos nunca han definido qué es un problema ni han discutido tampoco sus condiciones y criterios de tratabilidad.<sup>36</sup> Pese a hacer tanta gala de espíritu crítico, la mayor parte de los antropólogos, con independencia de sus doctrinas, se las ha ingeniado para eludir este asunto formidable. Como si estuvieran escenificando una parodia anti/popperiana, afanándose en la búsqueda de postulados deliberadamente imposibles de falsar, los hermeneutas interpretan, los posmodernos deconstruyen y los materialistas explican lo que se les ponga por delante de manera confiadamente asertiva, sin encontrar nunca límites o impedimentos formales de resolución.

Problemas cuya trama (como la del análisis estructural del mito) es órdenes de magnitud más compleja que la Conjetura del Mapa de los Cuatro Colores o que el dilema del Vendedor Viajero, que han sido exasperantemente evasivos para los mejores matemáticos, son afrontados por los antropólogos sin un solo esfuerzo riguroso de definiciones, sin ningún consenso, sin idea alguna sobre la naturaleza y extensión de los espacios de búsqueda, sin haber sido probado con casos más simples y contando sólo con intuiciones maquinadas en una noche de insomnio por un espíritu solitario y jamás vueltas a revisar. Nadie se encuentra con restricciones de escala; nadie vuelve del análisis con las manos vacías; cada problema, además, milagrosamente, converge hacia una sola solución, como si no fuera un problema inverso (cf. más arriba, pág. 14). Una solución siempre óptima, por añadidura.

Pero si trabajamos nuestro material más responsablemente, ¿cómo podemos saber si un problema es tratable, o si es un problema bien formado en primer lugar? Demasiado a menudo el estudioso presupone que la teoría y el aparato metodológico con que cuenta son adecuadas para el abordaje de cualquier dilema, sin reflexionar sobre dos cuestiones esenciales: primero que nada, el requisito de atenerse a una definición operativa de problema,

<sup>36</sup> En una presentación sobre redes y complejidad que hice a mediados de la década pasada solicité a los asistentes alguna definición de problema que en su trabajo empírico pudiera justificar la presunción de estar técnicamente en condiciones de encontrar lo que calificaría como una solución. Igual que en tantos otros eventos en los que me aventuré a la misma impertinencia, en esa ocasión nadie levantó la mano. No afirmo que el episodio sea generalizable ni que nadie tenga ninguna idea de lo que es un problema, pero sí digo que –salvo contadas excepciones– no parece haber mayor urgencia por clarificar el asunto. En razón de la imposibilidad de soslayar el punto cuando de modelos se trata, en este trabajo (en la pág. 13, como dije) he debido hacer explícita esa definición.

y en segundo lugar, la posibilidad de establecer que sus problemas sean susceptibles de tratamiento y acabado en función del método y las técnicas que se ha optado por poner en acción.

Ahora bien, intratable no es lo mismo que indecidible o que incompleto. A diferencia de lo que suponen complejólogos discursivos como Fritjof Capra y Edgar Morin, en este campo del conocimiento la reflexión sobre la tratabilidad nada tiene que ver con teoremas como los de Kurt Gödel, los cuales, además de haber sido chapuzeramente malinterpretados y generalizados más allá de problemáticas puntuales de autorreferencia de la aritmética de Peano, tienen muy poco que decir sobre teoría de grafos, métodos probabilísticos, álgebra lineal o su área de influencia (Franzén 2005; Reynoso 2009: 104-107). En este campo hay multitud de dilemas de espantosa complejidad, pero no precisamente éstos.

De treinta años a esta parte, la tratabilidad tiene que ver más bien con la definición de problemas cuantitativos o cualitativos susceptibles (o no) de ser resueltos en tiempo polinómico, lo que ahora se conoce como la problemática de la NP-completitud (Garey y Johnson 1979). Respecto de esta cuestión conviene precisar la terminología. Por empezar, se dice que un problema de decisión pertenece a la clase de complejidad NP si no se conoce una máquina de Turing<sup>37</sup> no determinista que pueda resolverlo en tiempo polinómico. Un problema de decisión es NP-duro si cada problema de decisión en NP se puede reducir a él mediante una reducción polinómica de muchos a uno. Los problemas que están en NP y en NP-duros se llaman NP-completos. Una reducción no implica en este contexto subsumir un problema el campo de una ciencia madre, más básica o más universal. Reducir significa aquí proporcionar una transformación constructiva que mapee una instancia del primer problema en una instancia equivalente del segundo. Esta transformación brinda los métodos para convertir cualquier algoritmo que resuelve el primer problema en el correspondiente algoritmo para resolver el segundo (Brandes y Erlebach 2005: 12-13).

Para muchos problemas, en efecto, no existe un algoritmo predefinido que facilite su resolución en un tiempo razonable. Pero demostrar que un problema es inherentemente intratable (o NP-completo) es casi tan complicado como encontrar un algoritmo eficiente. En la práctica, la solución a este dilema no es tanto hallar la receta algorítmica perfecta, sino probar que el problema que se tiene entre manos califica como NP-completo, o sea “exactamente igual de duro” que otros que han atormentado a los especialistas por años.

Como dicen Garey y Johnson (p. 6), descubrir que un problema es NP-completo equivale a comenzar a trabajar realmente sobre él. En lugar de buscar su solución total, uno se concentrará en otros objetivos menos ambiciosos; por ejemplo, encontrar algoritmos eficientes que resuelvan algunos casos especiales, o que no se pueda probar que corren velozmente pero que se sabe que lo hacen así parte del tiempo, o relajar un poco el problema de modo que se satisfagan solamente algunos de los requerimientos. La teoría de grafos en

<sup>37</sup> No es posible aquí definir pedagógicamente cada categoría sin inflar la argumentación más allá de todo control. Será suficiente decir que una máquina de Turing se puede pensar provisoriamente como un conjunto de procedimientos discretos especificables (o algoritmos) que resuelven un problema adecuadamente planteado. Véase asimismo Reynoso (2010: 159 y ss.).

general y la de redes en particular es un ámbito de excelencia para explorar esta clase de cuestiones; el ejemplo clásico de problema (quizá) NP-completo es el del vendedor viajero [TSP, *traveling salesman problem*], que muchos reconocerán como una variante del dilema euleriano de los puentes de Königsberg (ver pág. 222). Se trata de un problema de optimización combinatoria bien conocido en investigación operativa en el que se debe escoger la ruta más corta (o de menor costo) entre un conjunto de ciudades a visitar. Tras algunos atisbos precursores en el siglo XIX en manos del irlandés W. R. Hamilton y del inglés Thomas Kirkman, se lo planteó por primera vez como problema matemático hacia 1930. Su formulación canónica se debe a Karl Menger [1902-1985] quien también inspiró el fractal esponjoso del mismo nombre, una versión tridimensional del tapiz de Sierpiński. Desde entonces se lo ha tratado innumerables veces en diversas disciplinas. El procedimiento de cálculo es extremadamente simple, pero su tratamiento analítico escala particularmente mal.

Las relaciones entre teoría de grafos y teoría de la tratabilidad son estrechas, como la lectura de cualquier buen manual sobre cualquiera de los dos campos permite entrever (Roberts 1978: 12, 50, 51, 65-67; Garey y Johnson 1979: 84-86, 131, 194-204; Tamassia 1997). Tal vez mejor dicho: igual que sucede con las relaciones sociales, una parte importante de las cuestiones de tratabilidad se puede abordar superlativamente mediante procedimientos bien conocidos e independientes de objeto basados en teoría de grafos o en otros formalismos de potencia similar.

La relevancia de la consecuencia que estamos examinando se refleja en una empresa antropológica tan bien conocida como lo es el proyecto de sistematización en que se embarcó Lévi-Strauss (1985) a mediados del siglo pasado. Vale la pena citar este razonamiento plasmado en el prefacio de la segunda edición francesa de *Las estructuras elementales del parentesco*:

Los sistemas que acabamos de señalar [intermedios entre los sistemas indeterministas y los que se designaran como estructuras elementales] se conocen en etnología con el nombre de sistemas crow-omaha, porque sus variantes se identificaron, por primera vez, en estas tribus de América del Norte: matrilineal y patrilineal respectivamente. A partir de ello, en 1947-1948, yo pensaba abordar el estudio de las estructuras de parentesco complejas en un segundo volumen al que aludo varias veces y que, sin duda, no escribiré jamás. Conviene, pues, explicar por qué abandoné este proyecto. Sigo convencido de que no podrá generalizarse la teoría del parentesco sin pasar por los sistemas crow-omaha, pero me di cuenta progresivamente de que su análisis presenta enormes dificultades que no deberán resolver los antropólogos sino los matemáticos. Aquellos con quienes en ocasiones discutí el problema hace ya diez años [o sea hacia 1956] estuvieron de acuerdo con ello. Algunos lo declararon soluble, otros no, por una razón de orden lógico que después indicaré. En todo caso, ninguno experimentó el deseo de dedicar el tiempo necesario para aclarar el problema (1985: 25).

Poco después Lévi-Strauss aclara que un sistema crow-omaha que sólo promulgase dos prohibiciones que afectaran al clan de la madre y al clan del padre, autorizaría 23.436 tipos de matrimonio diferentes al ser el número de clanes igual a 7; el número se elevaría a 3.766.140 tipos para 15 clanes y 297.423.855 para 30 (loc. cit.: 29). El análisis del mito

de Lévi-Strauss (conforme sabemos ahora por el dictum de Cantor<sup>38</sup> y por vicisitudes varias de la teoría de conjuntos) involucra combinatorias harto más astronómicas que éstas en el proceso de decisión (nunca examinado en tanto tal) en que se asigna un mitema a una clase. En el pasaje del sintagma al paradigma, la carne deviene “naturaleza”, un atuendo se asigna a “cultura”; un incesto, a “sobreestimación de las relaciones de parentesco”, la cual contrasta con la “subestimación” de esas relaciones cuando los spartoï se aniquilan mutuamente (Lévi-Strauss 1973: 192-199). Lo malo de este procedimiento es que ningún indicador formal anticipa cuál de las infinitas clases posibles es la que se aplica en cada caso: el problema planteado por esta analítica no es ya sólo errático e intratable por la multiplicidad de opciones, sino indecidible por la ausencia de todo principio heurístico capaz de definir umbrales, recurrencias, constreñimientos, cuencas o atractores en un espacio de fases indeterminado. El propio Lévi-Strauss ha debido admitirlo (veladamente) hacia el final de las *Mitológicas* y en otras ocasiones.

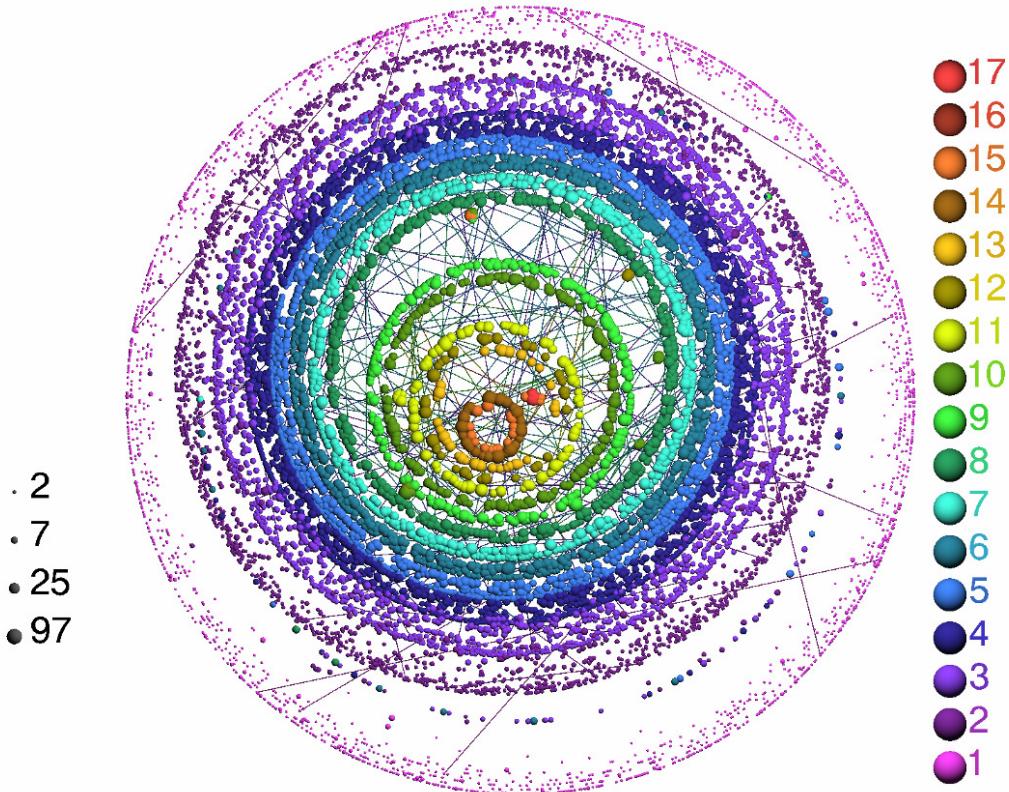


Figura 6.9 – Red de colaboraciones científicas. Datos elicidos por Mark Newman de la Universidad de Michigan. Visualización en LaNet-vi, Departamento de Electrónica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires, <http://xavier.informatics.indiana.edu/lanet-vi/gallery/CondMat.html>  
Imagen de Ignacio Alvarez-Hamelin, Luca Dall'Asta, Alain Barrat y Alessandro Vespignani.  
Reproducida bajo licencia Creative Commons.

Por ello es la teoría de la computación moderna a la que aludiera antes, y no una vaga “matemática” en general, la herramienta que debería terciar en estos menesteres. No tanto porque ella sea capaz de señalar con precisión los puntos en los que el análisis debería

<sup>38</sup> “Existen más clases de cosas que cosas hay, aun cuando las cosas sean infinitas” (cf. Quine 1976).

arriar las banderas, sino porque cuando un problema está bien planteado (y aun cuando los cálculos se realicen en máquinas de mínimo calado) aportaría instrumentos para llevar la analítica mucho más allá de lo que hasta poco podía sistir concebirse.

**Consecuencia nº 5:** Cuando ilustré la evolución de la red aleatoria de inconexa a conexa me referí a una técnica de dibujo de grafos propuesta por Fruchterman y Reingold. Los especialistas en redes y usuarios de programas saben que existen otras modalidades de representación (Kamada-Kawai, circular, árbol radial, *prefuse*, Bin Pack, GEM, MDS, descomposición *k-core*). En la última década, nuevos paradigmas de visualización han surgido a razón de uno o dos al año. Lo que rara vez se ha explorado es el fundamento cognitivo y perceptual de las estrategias de visualización y de sus algoritmos correspondientes; es una pena que así sea, ya que su impacto en la comunicación, expresión y evaluación de los resultados analíticos es palpable. Aquí sólo cabe señalar que la técnica de dibujo de grafos [*graph drawing*], una rama de la geometría computacional, se ha convertido en algo así como una ciencia aparte con sus congresos separados, una bibliografía superando la cota de las decenas de miles y una participación mayoritaria en el consolidado *Journal of Graph Algorithms and Applications* (<http://jgaa.info>).

La representación de redes complejas ha alcanzado su primer estado de arte, tal como lo prueba la imagen de la figura 6.9 generada por el programa LaNet-vi que muestra la red de colaboraciones científicas sobre física de la materia condensada entre 1995 y 1998 en base a datos elaborados por Mark Newman de la Universidad de Michigan. El tamaño de cada nodo corresponde a la escala ascendente de su grado (del violeta al rojo, como el espectro del arco iris) y el color a su *coreness*. Aún a simple vista se trata, perceptiblemente, de una red independiente de escala, un concepto de importancia crucial que se revisará más adelante. La red ilustrada aquí vincula 22.016 *papers* de 16.726 autores; el tamaño del componente gigante es de 13.861 nodos y la distancia media entre nodos (los grados de separación) es de 6,4 pasos (Newman 2000).

Pero más allá de la excelencia tecnológica, esta problemática trae a la mente la cuestión de las metáforas (formas laxas, cualitativas, densamente estéticas) que son capaces de inspirar modelos. No se puede menos que pensar en Victor Turner o en Clifford Geertz y en sus metáforas de la cultura como texto, como drama, como juego. Algunos de los algoritmos de dibujo de grafos se inspiran, efectivamente, en entrelazados de densas metáforas imaginarias y transdisciplinarias. El de Fruchterman y Reingold (1991), por ejemplo, establece fuerzas de atracción y repulsión entre nodos conforme a una ley de potencia gravitacional, se atiene a la ley de Robert Hooke [1635-1703] formulada en tiempos de Newton sobre el comportamiento macroscópico de los resortes y en función de lo anterior restringe los movimientos del grafo a medida que corre el tiempo de acuerdo con la heurística de simulación de templado de metales, la cual he descripto en otra parte (ver página 69; Reynoso 2006a: 225).

Ha habido alguna tímida incursión en ese campo. Hoy por hoy la iniciativa en materia de reflexión quizás la tenga Edward Tufte, capaz de publicar un libro con el contundente nombre de *Visual explanations: Images and quantities, evidence and narrative*, donde llega a afirmar que “aquellos que descubren una explicación son a menudo aquellos que

construyen la forma de representarla” (Tufte 1997: 9). Pero Tufte y otros como él han interrogado los principios expresivos de la buena graficación en el momento del diseño y el *display* antes que los requisitos cognitivos que rigen la percepción; tampoco se han ocupado con la intensidad requerida del uso de las imágenes para comprender mejor las pautas anidadas en los hechos, para descifrar el nunca mejor llamado *insight* o para alentar ideas creativas (Klov Dahl 1981; Freeman 2000; Brandes, Kenis y Raab 2006).

Excepción a esta tendencia son algunos estudios de Purchase (1997), Huang, Hong y Eades (2006a; 2006b) y McGrath, Blythe y Krackhardt (1997). Estos ensayos son valiosos, aunque permanecen ligados a cuestiones cuantitativas de demanda de memoria, carga cognitiva, complejidad visual, atiborramiento o minimalismo informacional o tiempo de procesamiento en vez de ocuparse de factores que hacen a la naturaleza específica (gestáltica, orientada por patrones, sinestésica, estética o lo que fuere) de la percepción visual en contraste con la representación en matrices, la comprensión lógico-algorítmica o la descripción discursiva que fluye en una línea de tiempo secuencial.

Es obvio que en teoría de redes sociales y en antropología en general todavía no se ha razonado con detenimiento sobre esas metáforas de lo que es, literalmente, *imaginación*. En algún momento habrá lugar para una fenomenología de la percepción visual en ciencia, a caso en la línea de la de Maurice Merleau-Ponty (1945) pero con menos proclamas doctrinarias y un poco más de elaboración formal. Un estudio semejante aplicado a la visualización de redes y grafos está haciendo falta aquí y ahora. La literatura de *graph drawing* es un buen indicador. Más que conocimiento matemático de rutina o normativas ciegas, lo que ha alimentado las mejores intuiciones en técnicas complejas de dibujo de grafos ha sido la imaginación creadora, la erudición literaria y la captación de pautas que conectan.<sup>39</sup>

Definitivamente, la técnica ha dejado de ser un *gadget* ilustrativo para constituirse en instrumento metodológico por derecho propio (Bender-deMoll y McFarland 2006). Por más que sea un antropólogo inclinado a la semántica y a las estrategias cualitativas (y sobre todo en ese caso) el lector hará bien en echar un vistazo a la bibliografía referida al asunto para tomar noticia de las complejas relaciones entre el significado, la representación y la percepción de patrones que se trabajan en otras ciencias (Di Battista y otros 1999; Tamassia 1999; Marks 2001; Goodrich y Kobourov 2002; Nishizeki y Rahman 2004; Pach 2004). O (dado que las redes hoy están en todas partes) en algún campo de casi todas las otras ciencias, para ser más precisos.

---

<sup>39</sup> Hay por allí una “fenomenología genética de la interpretación de grafos” (Roth, Bowen y Masciotra 2002), pero se refiere más bien a gráficos estadísticos ortogonales de barras, líneas o pasteles y no a grafos en el sentido técnico-matemático de la palabra. Es desdichado que ambas especies de imaginería se designen en inglés con la misma palabra.

## 7 – Redes en antropología: De la Escuela de Manchester a Bruno Latour

La teoría de las redes sociales es una subdisciplina de las ciencias sociales que utiliza conceptos de la teoría de grafos para comprender y explicar fenómenos sociales. Una red social consiste en un conjunto de actores, que pueden ser entidades arbitrarias como personas u organizaciones, y un conjunto de relaciones entre ellos.

Brandes y Wagner (1999)

Es fácil presuponer que las anteriores generaciones de antropólogos estaban equivocadas si uno no se molesta en leer lo que ellos escribieron. Ignorar el registro etnográfico acumulado [...] no promueve la salud intelectual de la disciplina ni proporciona el contexto para el avance del conocimiento antropológico. Bajo circunstancias de amnesia disciplinar, la elevación del trabajo de campo contemporáneo al estatuto de árbitro definitivo de la disciplina parece haber propiciado la fragmentación de la antropología, socavado el valor del trabajo comparativo y mantenido el foco no en los grandes temas del proceso y la estructural cultural, sino más bien en los temas del momento (temas que capturan la atención brevemente, como los que caen bajo las categorías del posestructuralismo, la deconstrucción, el poscolonialismo y sus más recientes consanguíneos y afines) pero que luego desaparecen bajo las olas en el sombrío océano de la contingencia histórica del que hablaba Lévi-Strauss.

David Jenkins (2008: 21)

Aunque la historia es más compleja que eso, se dice habitualmente que en teoría de redes tradicional hay una corriente sociocéntrica que viene de la sociología y se remonta a Georg Simmel [1858-1918] y una tendencia egocéntrica que floreció en antropología social y que se deriva a la larga de Alfred Reginald Radcliffe-Brown [1881-1955] y sus ideas sobre la estructura social con sus “tejidos”, “texturas” o “tramas” (véase Freeman 1982; Scott 2000; Martino y Spoto 2006; Freeman 2004; De Nooy, Mrvar y Batagelj 2005: 123, 144). Fue Radcliffe-Brown, el fundador del estructural-funcionalismo, quien escribió tan temprano como en 1940 que la estructura social australiana se basaba en una “red” de relaciones diádicas de persona a persona (cf. Wolfe 1978). Más todavía:

Debe notarse que decir que estamos estudiando estructuras sociales no es la misma cosa que decir que estudiamos relaciones sociales, que es como muchos sociólogos definen su tópico. Una relación particular entre dos personas (a menos que sean Adán y Eva en el Jardín del Edén) sólo existe como parte de una amplia red de relaciones sociales, involucrando muchas otras personas, y es esta red lo que yo considero el objeto de nuestras investigaciones. [...] En el estudio de la estructura social, la realidad concreta que nos inter-

resa es el conjunto de relaciones realmente existente, en un momento determinado del tiempo, que vincula a ciertos seres humanos (Radcliffe-Brown 1940: 3-4).

A comienzos de la década siguiente llegó a escribir que “los seres humanos están conectados por una compleja red de relaciones sociales. Utilizo el término ‘estructura social’ para denotar esta red de relaciones realmente existentes” (Radcliffe-Brown 1965 [1952]: 190).

En cuanto a Simmel, él es uno de esos autores intensamente literarios cuyos libros, de pertenencia disciplinaria incierta, se traducían y frecuentaban muchísimo medio siglo atrás hasta en colecciones populares, pero que poco a poco se han dejado de leer. Sin duda habría que leerlo de nuevo pues su rara escritura, carente de todo razonamiento explícitamente gráfico o matemático, es paso a paso una invitación al modelado basado en imágenes, como cuando dice:

La interacción entre los seres humanos se concibe y se experimenta como algo que llena el espacio. Si los individuos viven dentro de ciertos límites espaciales y se encuentran aislados unos de otros, el espacio que hay entre ellos es espacio vacío. Pero si entablan relaciones recíprocas, ese espacio parece lleno y animado. [...] La existencia de una línea fronteriza sociológica entre grupos de individuos significa la existencia de una forma particular de interacción para la que no disponemos de un solo término. [...] Puede ser una línea que delimita los derechos de los individuos al final de la disputa o una línea que indique la delimitación de su respectiva influencia, antes de ella (Simmel en Caplow 1974: 30, 31; Simmel en Wolff 1950: 293).

Más allá de las imágenes que están clamando por grafos, la ideación relacional es asimismo explícita y definitoria:

Una colección de seres humanos no deviene una sociedad sólo porque cada uno de ellos sea dueño de un contenido de vida objetivamente determinado o subjetivamente determinante. Se convierte en una sociedad sólo cuando la vitalidad de esos contenidos alcanza una forma de influencia recíproca; sólo cuando un individuo posee un efecto inmediato o mediato sobre otro, la agregación espacial o la sucesión temporal se transforma en una sociedad. Si por ende ha de haber una ciencia cuyo tema sea la sociedad y nada más, ella debe estudiar exclusivamente esas interacciones, esas clases y formas de sociación (Simmel 1908 [1971]: 24-25).

Aunque Simmel ha anticipado exactamente el problema de las redes grupales, proponiendo en pleno siglo XIX estudiar el poder y las jerarquías, escribiendo sobre el tejido de las afiliaciones de grupo (1966 [1922]), inventando nociones tales como diádicas y tríadas [*Zweierverbindung*, *Dreierverbindung*], la historia de la modalidad sociocéntrica es bien conocida y no malgastaré tiempo y espacio volviéndola a contar. Es la crónica olvidada de la dimensión teórica de la antropología de redes (no necesariamente su historia, ni el resumen de sus estudios empíricos) la que vale la pena evocar ahora. Para la vertiente sociológica hay buenos registros de su historia temprana e intermedia en el ensayo de Galaskiewicz y Wasserman (1993) y de los principales hitos de su metodología de mediciones en un estupendo resumen de Peter Marsden (1990). Eso sí: aunque el análisis de redes en sociología constituye una práctica de mucho mayor envergadura y vitalidad de lo que

es el caso en antropología, la reflexión epistemológica sobre ella sigue siendo una asignatura pendiente. Escriben Emirbayer y Goodwin:

A pesar de su creciente preminencia, [...] el análisis de redes todavía no ha sido objeto de una evaluación y una crítica teóricamente fundadas. La literatura secundaria sobre esta perspectiva ha tendido a restringirse al esbozo de los conceptos básicos, la discusión de los procedimientos técnicos y el resumen de los hallazgos de la investigación empírica. Ha habido una infortunada falta de interés en situar las redes dentro de las más amplias tradiciones de la teoría sociológica, y mucho más en emprender una indagación sistemática de sus fuerzas y debilidades subyacentes. Se han invocado al pasar los “precursores” teóricos del análisis de redes (en especial Durkheim y Simmel) pero el análisis de redes, él mismo una constelación de estrategias metodológicas, rara vez ha sido sistemáticamente ligado a los marcos de referencia que ellos elaboraron (Emirbayer y Goodwin 1994: 1412).

Mientras que el análisis sociológico de redes se estableció en torno de una perspectiva estructural, la escuela de Manchester liderada por Max Gluckman [1911-1975] constituyó durante unos veinte años (entre 1955 y 1975, digamos) una alternativa opuesta a los planteamientos sincrónicos y estáticos de la antropología sociocultural inglesa, de tono estructural-funcionalista. Es en esta escuela mancuniana, una institución de pequeña envergadura,<sup>40</sup> donde se hicieron los primeros aportes británicos a la antropología urbana, se propusieron teorías de la dinámica y el cambio y se usaron por primera vez redes antropológicas (Werbner 1984). Es también en esta escuela que se articularon por primera vez los “estudios de casos”, que Gluckman llamaría de ese modo por analogía con los casos jurídicos con que estaba familiarizado por su educación en leyes, instaurando una denominación que todo el mundo reproduce en diversas disciplinas o en la vida cotidiana sin preguntarse nunca de dónde viene o qué cargas argumentativas acarrea. El método de estudio de casos involucraba análisis en profundidad de determinadas problemáticas para inferir de ese análisis principios y supuestos actuantes. La idea de estudio de caso, ciertamente, existe al menos desde *Ouvriers européens* (1855) del anti-enciclopedista y anti-darwiniano Pierre Guillaume Frédéric Le Play [1806-1882], quien también acuñó la noción de método de observación en el trabajo de campo; pero aunque el mérito se le atribuye a los sociólogos Barney Glaser y Anselm Strauss, en el siglo XX fue sin duda Gluckman quien la codificó primero. Un nombre alternativo para la práctica (o para ciertas formas dentro de ella) era el de análisis de situaciones sociales, un nombre que se encuentra independientemente en alguna que otra monografía lewiniana.<sup>41</sup>

---

<sup>40</sup> La propia antropología social británica era de dimensiones más modestas de lo que generalmente se cree. Hacia 1953 el número de antropólogos practicantes en Gran Bretaña apenas superaba la treintena; llegarían a ser unos 50 en 1963, 90 en 1973 (el “año de los *ismos*”, como se lo conoce), 120 en 1983, 160 en 1993 y algo más de unos 220 en los comienzos del nuevo siglo (Spencer 2000).

<sup>41</sup> El análisis de situaciones no debe confundirse con el situacionismo metodológico de la sociología de Karin Knorr-Cetina (1981), con la teoría de la situación multidisciplinaria de Keith Devlin y otros (Aczel y otros 1993), con el análisis de situación de la mercadotecnia, con el situacionismo psicológico de Walter Mischel, Philip Zimbardo o Stanley Milgram o, menos que nada, con el situacionismo revolucionario que participó en los eventos del Mayo francés.

La mayoría de los investigadores tempranos de la escuela se había formado en Oxford, desde donde se trasladaron ya sea a Manchester o al Rhodes-Livingstone Institute (RLI) en Rhodesia del Norte (hoy Zambia), cuyos primeros directores fueron Godfrey Wilson (1938-41), Max Gluckman (1941-47), Elizabeth Colson (1947-51) y Clyde Mitchell (1952-55). La escuela misma se considera originada con la llegada de un muy joven Max Gluckman al RLI ya en 1939 (Barnard 2004: 85).<sup>42</sup> En la década de 1950 se manifestó un conjunto de fertilizaciones cruzadas entre los modelos mancunianos más característicos y el entonces naciente transaccionalismo promovido por el noruego (educado en Cambridge) Fredrik Barth. Barth daba preeminencia a la acción social, la negociación de identidad y la producción social de valores a través de la reciprocidad y los procesos de toma de decisiones. Jeremy Boissevain y Bruce Kapferer habrían de ser los colegas más impactados por sus ricas elaboraciones teóricas.

Inicialmente uno de los vectores de influencia en la escuela de Manchester fue el pensamiento de Siegfried Nadel [1903-1956], quien desarrolló una teoría plasmada en su libro póstumo *The theory of social structure* (1957) que él no llegó a elaborar en términos de redes pero que luego otros usaron como fuente de inspiración para hacerlo. Nadel conocía a fondo las teorías gestálticas de Wolfgang Köhler y de Kurt Lewin y sostenía que para llevar adelante un análisis del rol había que implementar métodos algebraicos y matriciales. Afirmaba Nadel, citando aquí y allá a los *Ensayos* de Talcott Parsons:

Llegamos a la estructura de una sociedad abstrayendo a partir de la población concreta y de su conducta el patrón de red (o “sistema”) de relaciones que se establecen “entre actores en su capacidad de ejecutar roles relacionados unos con otros” (Nadel 1957: 12).

Suele ignorarse que el uso de álgebras relacionales en ARS debe mucho a las definiciones que Nadel propuso para el rol social. Junto con las propuestas de Robert Merton, son las que mayor incidencia han tenido en el desarrollo de las metodologías reticulares de rol (Wasserman y Faust 1994: 426). Nadel deriva su definición de manera explícitamente relacional, puesto que la fundamenta en las regularidades o en los patrones de relaciones entre individuos. Su elaboración estuvo a un paso de ser un marco de referencia de teoría de conjuntos, en el cual la estructura interna de los roles se consideraba una colección de atributos de rol. Aunque los expertos en ARS sostienen que el marco de Nadel no tiene la precisión analítica suficiente para permitir un análisis de redes formal sin más trámite, recuperan el hecho de que haya puesto el foco en “la interrelación o el entrelazado de las relaciones” (Nadel 1957: 17), un rasgo clave en los modelos formales de rol. También pueden percibirse ideas claramente reticulares en uno de los libros anteriores de Nadel, *The foundation of social anthropology* (1951). En su escritura se echan de menos por cierto las representaciones gráficas, las cuales, alimentándose en forma directa y en tiem-

---

<sup>42</sup> Escribe A. F. Robertson: “Operando en los intersticios entre el gobierno colonial y los intereses comerciales y en alianza frágil con sentimientos nacionalistas emergentes, el RLI sobrevivió a duras penas a los traumas de la descolonización. Brevemente incorporado al Colegio Universitario de Rhodesia y Nyasaland (1962-64) fue absorbido por la Universidad de Zambia en Lusaka como Instituto de Investigación Social en 1965. Luego se lo rebautizó Instituto de Estudios Africanos y desde 1998 ha sido el Instituto para la Investigación Económica y Social (INESOR) (Robertson 2002).

po real de los textos iniciales del padre de la moderna teoría de grafos Frank Harary [1921-2005], radicado en Estados Unidos, llegarían a la antropología gluckmaniana por vía libresca poco después (cf. Nadel 1974: 89-97; Harary 1969).

La escuela de Manchester desarrolló un conjunto de conceptos particular que los estudiantes de redes compartieron ocasionalmente: campo social, análisis situacional, roles intercalares, selección situacional, clivaje dominante, ritual redresivo, forma y cambio procesual. No todos los miembros practicaron el análisis de redes. Más aun, el análisis de redes surgió en una rama colateral dentro del grupo, cuando Arnold Leonard Epstein [1924-1999] y James Clyde Mitchell [1918-1995], en un giro radical, rompieron con la premisa de poner el foco en un grupo étnico y sus linajes; en vez de eso, eligieron concentrarse en diversas situaciones, movimientos, asociaciones y redes, en los que se podían observar relaciones interétnicas, pero que se definían en términos que no eran de etnicidad.

El modelo de redes de Manchester, llamado a veces antropología interaccional, enfatizó las redes centradas en Ego (o redes personales) constituidas a nivel urbano. Estas redes fueron diferenciadas y propuestas por Mitchell, miembro fundador del INSNA y de su revista *Connections*, inspirándose en el método genealógico creado por William Halse Rivers hacia 1898, en ocasión de la expedición de la Universidad de Cambridge al Estrecho de Torres en la que se sentaron los cimientos del trabajo de campo profesional (cf. Mitchell 1969; 1974). De todos los manchesterianos, Mitchell fue el que utilizó modelos matemáticos con mayor nivel de refinamiento. También fue, junto con John Barnes (1954: 43; 1969), uno de los pocos que prestaron atención a los grafos y las matrices, mientras que otros (como Norman Whitten) a duras penas mencionan semejante cosa. Todavía en la década de 1980 Mitchell experimentaba con lo que entonces eran los algoritmos algebraicos más audaces de cálculo de equivalencia estructural, incluyendo el polémico CONCOR [CONvergence of iterated CORrelations] diseñado en la escuela de Harvard por el equipo multidisciplinario de Harrison White, y en particular por Breiger, Boorman, Arabie y Schwartz (White, Boorman y Breiger 1976; Mitchell 1989).

Aun cuando hay autores que, como Barry Wellman (1988: 21), pretenden que el ARS se originó en la antropología de Manchester, Mitchell ha afirmado taxativamente que los antropólogos ingleses tomaron el concepto de red del sociograma de los psicólogos sociales y de la versión americana de la teoría de grafos (Mayer 1970: 720). Fue él mismo quien tomó las piezas que allí se habían forjado para unificar, en un golpe de intuición, un conjunto de investigaciones que él estaba dirigiendo en Zimbabwe, donde David Boswell recolectaba datos sobre crisis personales y soporte social, Bruce Kapferer estudiaba el conflicto laboral en una empresa minera, Pru Wheeldon la emergencia de los procesos políticos en una comunidad interétnica y Peter Harries-Jones la importancia del tribalismo en la organización política. Mitchell pronto advirtió que todos los estudios compartían un mismo núcleo estructural:

[...] [F]ue entonces cuando me dí cuenta que necesitábamos un método formal para conducir los análisis. Había estado leyendo la revista *Sociometry*, de modo que sabía algo sobre esos procedimientos, pero por supuesto yo sabía muy poco. Y fue cuando apareció el

libro de Doc Cartwright y Frank Harary (Harary, Norman y Cartwright 1965) que yo aprendí a desarrollar eso (Mitchell 1969).

Aun cuando Mitchell reconoce educadamente las influencias sociométricas sobre sus propias ideas, ya hemos comprobado un par de capítulos más arriba el linaje antropológico (vía el heterodoxo Lloyd Warner) de buena parte de esta tradición. Por otra parte Harary, Norman y Cartwright (1965) jamás hablan de redes sociales sino de modelos estructurales basados en grafos dirigidos.

El creador del concepto de red social con ese nombre exacto fue el antropólogo John Barnes (1954), quien promovió el pasaje de una concepción metafórica a una afirmación conceptual sobre relaciones sociales.<sup>43</sup> El uso metafórico de la palabra enfatiza la idea de que existen vínculos sociales entre individuos que se ramifican a través de la sociedad. El uso analítico de la idea, que es el que inaugura Barnes, pretende especificar de qué manera esta ramificación ejerce influencia en el comportamiento de la gente involucrada en una red. Barnes desarrolló la idea de red como consecuencia de su descontento con el marco categorial del estructural-funcionalismo, entonces en plena vigencia.

En su tratamiento del sistema social de la pequeña comunidad noruega de Bremnes, Barnes propuso distinguir tres campos analíticamente separados. (1) El primero era el sistema territorial, estructurado como una jerarquía de unidades donde cada nivel incluía a los que estaban más abajo, desde la unidad doméstica, pasando por el caserío, la aldea, el municipio y luego más allá. (2) El segundo se basaba en la industria de la pesca. Las unidades eran los barcos pesqueros y sus tripulaciones, y luego venían las cooperativas de venta, las fábricas de aceite de arenque, etcétera, organizadas de manera interdependiente pero no jerárquica. (3) El tercer campo estaba constituido por el parentesco, las amistades y conocidos, determinando grupos cambiantes sin coordinación global; para este campo proponía Barnes la idea de la red. Al principio era un concepto casi residual. Escribía Barnes:

La imagen que tengo es la de un conjunto de puntos, algunos de los cuales están unidos por líneas. Los puntos de la imagen son gente, o a veces grupos, y las líneas indican que la gente interactúa unas con otras. Podemos, por supuesto, pensar que la totalidad de la vida social genera una red de esta clase. Para nuestros fines actuales, sin embargo, quiero considerar, hablando en general, la parte de la red total que queda cuando retiramos las agrupaciones y cadenas de interacción que pertenecen estrictamente a los sistemas territorial e industrial (Barnes 1954: 43).

El aporte fundamental de Barnes, vivo hoy en día como nunca antes, se asentaba en la convicción de que los métodos del ARS proporcionaban afirmaciones de carácter formal

<sup>43</sup> Algunos autores recientes (Zhang 2010: 9) alegan que el creador del concepto de red social fue el antropólogo Roger Brown, suministrando como referencia el texto de John Scott (2000). No he podido dar con ningún antropólogo de ese nombre que haya acuñado semejante categoría. El texto de Scott menciona a nuestro Alfred Reginald Radcliffe-Brown con insistencia; pero si bien este autor fue pionero absoluto de la concepción reticular en antropología y utilizó más tarde nutritas metáforas textiles para evocar las relaciones sociales (*fabric*, *web*, *interweaving*, *interlocking*, *network of social relations* e incluso *complex network*), no me consta que haya escrito la expresión *social network* alguna vez (cf. Radcliffe-Brown 1940: 2, 3, 6, etc.). Hay por cierto un psicólogo social Roger Brown [1925-1997] que fue profesor de Barry Wellman en Harvard; pero aunque Brown conocía el concepto, no puede decirse que haya sido su creador.

referidas a atributos y procesos sociales. Estos conceptos (creía Barnes, y los historiadores del ARS con él) se pueden definir con alguna precisión, permitiendo razonar formalmente sobre el mundo social (Freeman 1984; Wasserman y Faust 1994: 11).

Conceptos históricos de la antropología, la sociología y la psicología social como grupo o rol social se ven ahora, mientras no exista una definición clara en términos de redes, como “conceptos sensibilizadores” de alcance limitado. Lo que la definición reticular proporciona, a decir de algunos, es una forma de evitar los riesgos de lo que Arthur Stinchcombe llama “interpretaciones trascendentales” [*epochal interpretations*] (o más memorablemente “basura trascendental”); esto es, explicaciones causales que proceden “mediante el uso de la estructura causal aparente creada por la secuencia narrativa de eventos para crear la ilusión de que las teorías trascendentales están siendo sustanciadas” (Stinchcombe 1978: 10; Emirbayer y Goodwin 2003: 1418-1419). A partir de allí, casi todos los teóricos de redes están de acuerdo con Samuel Leinhardt (1977: xiv) en el sentido de que “no es posible construir teorías explicativas satisfactorias utilizando metáforas”. Muchos de los conceptos formales del ARS se derivan de esa convicción, como los de densidad (Bott 1957), *span* (Thurman 1980), *connectedness*, *clusterability* y *multiplexity* (Kapferer 1969). Otros autores van más lejos y sostienen que “debido a su [relativa] precisión [matemática], el campo de las redes no genera las mismas clases de equívocos y malentendidos sobre los términos y los conceptos que llevan a conflicto en los campos que se encuentran vinculados a un lenguaje natural” (Freeman 1960; 1984; 2004: 135-136).

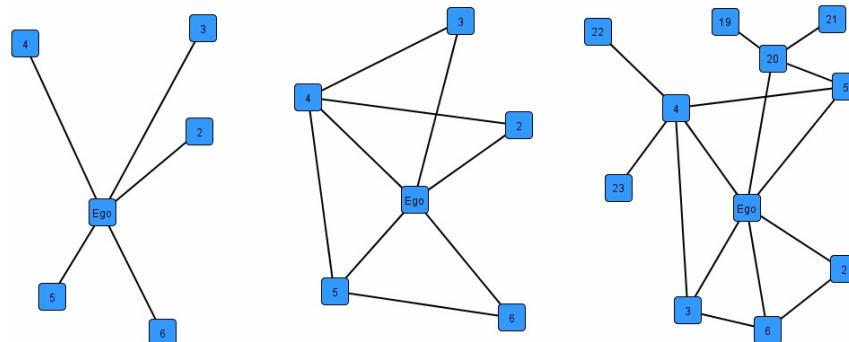


Figura 7.1 – a) Estrella de primer orden; b) zona de primer orden; c) estrella de segundo orden  
Basado en Barnes (1969) – Elaborado con VisOne

Penetrando en el espacio abstracto de la representación de las redes totales, Barnes trató de identificar las claves de las redes parciales. Habiendo definido la red total como coincidente con la idea de “sociedad” y las redes parciales como dominios particulares de la sociedad (parentesco, política, intercambio) partió de abajo hacia arriba, de lo micro a lo macro, desarrollando conceptos que hacían referencia a redes sociales centradas en Ego. A partir de allí Barnes define “estrellas” irradiando desde cualquier ego arbitrariamente escogido. Ego está, naturalmente, representado por un punto; las líneas que irradian de él forman un análogo de lo que Øystein Ore (1962:12) había llamado un “subgrafo en estrella”. Se deriva entonces la noción de densidad a partir del concepto abstracto de que “alfa” (un *ego*) en interacción con un “contacto” (*alter*) puede encontrar que este contacto se encuentra a su vez en relación con otros de sus contactos. En tal caso, los dos contactos

(o *alters*) se dice que están adyacentes en la estrella. Todas las relaciones entre un ego dado y sus *alters*, adyacentes y no adyacentes, constituyen una “zona”, y por extensión lógica las zonas de conciben como de “primer orden”, “segundo orden”, etcétera (Barnes 1969: 58-60).

El problema con los “órdenes” definidos a partir de Ego es que pronto comienzan a volverse incontrolables; una vez más, el concepto no escala demasiado bien. Es por ello que pronto se abandonaría el criterio de establecer la complejidad de la red desde el centro, postulando otras características morfológicas tales como la conexidad [*connectedness*] de Elizabeth Bott, que ahora se conoce más bien como *densidad*: ésta es la proporción de vínculos realmente existentes en contraste con las que podrían existir si todos los elementos estuvieran vinculados (fig 7.2).

Aquí comienzan a visualizarse tanto promesas como peligros latentes. Escriben Whitten y Wolfe:

Si esta clase de representación matemática parece a veces abiertamente abstracta, la situación no mejora de ningún modo debido a otra tendencia que se encuentra en Barnes (1954) y en demasiados otros trabajos desde entonces: la tendencia a ver las redes sociales como algo *residual*, las relaciones que subsisten después que se han tratado las relaciones estructurales principales (Whitten y Wolfe 1973: 722).

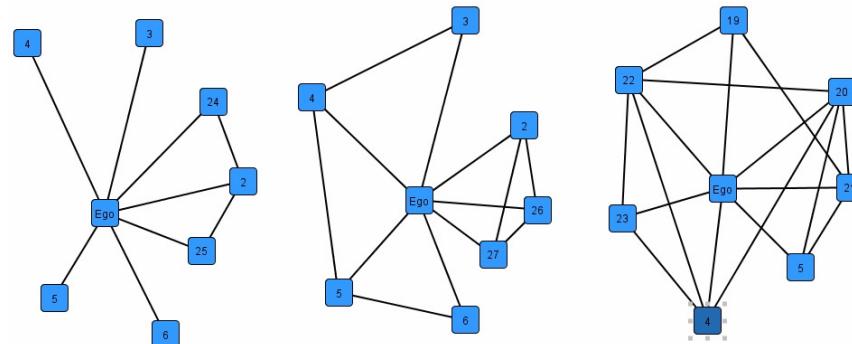


Figura 7.2 – Redes de diversas densidades: a) 10 vínculos reales de 28 posibles (0,36); b) 13 vínculos reales de 28 posibles (0,46); c) 17 vínculos reales de 28 posibles (0,61)  
Basado en Hannerz (1986: 205) – Elaborado con VisOne

Quizá por estas razones, las redes sociales de Barnes no poseen exactamente las propiedades que luego se definieron como características. La propiedad de mundos pequeños y la idea de *clustering*, por ejemplo, se definen de maneras opuestas a las que después popularizarían Stanley Milgram, John Guare o Frigyes Karinthy:

[...] [P]odemos notar que una de las principales diferencias formales entre las sociedades simples, primitivas, rurales o de pequeña escala en contraste con las sociedades civilizadas, urbanas o de masas es que en las primeras la malla de la red social es pequeña, mientras que en las segundas es grande. Por malla quiero decir simplemente la distancia en torneo de una totalidad en la red. Creo que podemos decir que en la sociedad moderna no tenemos tantos amigos en común como se tiene en las sociedades en pequeña escala. Cuando dos personas se encuentran por primera vez, es infrecuente que en la sociedad moderna se descubra que tienen gran número de amigos en común; cuando esto sucede se lo considera algo excepcional y memorable. En las sociedades en pequeña escala esto sucede con

más frecuencia, y los extraños encuentran a veces que tienen parientes en común. En términos de nuestra analogía de red, en la sociedad primitiva muchos de los caminos posibles que salen de cualquier A llevan de vuelta a A al cabo de unos pocos vínculos. En la sociedad moderna sólo una pequeña proporción lleva de vuelta a A. En otras palabras, supongamos que A interactúa con B y B con C. En una sociedad primitiva las probabilidades son altas de que C interactúe con A; en la sociedad moderna las probabilidades son pequeñas (Barnes 1954).

La primera trilogía de estudios antropológicos basados en redes, incluyendo el de Barnes, el de Elizabeth Bott (1957) y el de Philip Mayer (1961), no revela gran cosa sobre la elicitation de redes en el trabajo de campo; observando el hiato temporal entre la experiencia de campaña y la aparición de diversos elementos de juicio en modelado matemático, por ejemplo, se advierte que la metodología fue adoptada más tarde en el gabinete y no definida como parte del diseño primario de la investigación. También es llamativo que ninguno de los estudios clásicos de redes en el período de la primera Edad de Oro antropológica (entre 1954 y 1974) se ocupa de sociedades en pequeña escala. Aunque algunos de ellos corresponden a campañas africanas, siempre se trata de ciudades y no de aldeas, y de asuntos contemporáneos antes que de las tradiciones atemporales o arcaicas. El contraste (y la eventual complementariedad) con la etnografía clásica no podría ser mayor. El especialista en antropología urbana Roger Sanjek escribiría mucho más tarde que “[e]n estudios exploratorios y en *papers* conceptuales, se expresó la opinión de que el mapeado y el análisis de las redes egocéntricas habría de ser tan valioso en escenarios urbanos (donde los *alters* incluyen muchos no-parientes) como el método genealógico lo fue en las sociedades basadas en el parentesco” (Sanjek 2002: 598).

Casi siempre en la esfera de influencia de la escuela de Manchester, en la antropología social británica tuvieron sus quince minutos de fama “los cinco B-” que realizaron la transición entre el moribundo estructural-funcionalismo de la época colonial y la nueva era de las estrategias relacionales y dinamistas: Barnes, Bott, Barth, Boissevain, Bailey. El carismático Barth, creador del transaccionalismo, no fue un teórico de redes de la primera hora, pero en los noventa se volcó hacia esa clase de modelos en nombre de un mayor naturalismo en la conceptualización social (Barth 1992). Entre libros y artículos (y entre Manchester y Harvard), los estudios de redes del período de auge en antropología suman unos docientos, destacándose aparte de los nombrados los de autores como Geert Banck, el estudioso de la mafia Anton Blok, D. M. Boswell, la estudiosa de género Tessa Cubitt, Arnold L. Epstein, Philip H. Gulliver, Peter Harriet-Jones, David Jacobson, D. G. Jongmans, Nancy Howell Lee, Rudo Niemeijer, Mary Noble, Albertus Antonius Trouwborst [1928-2007], el analista situacional Jaap van Velsen [1921-1999], Prudence Wheeldon, Norman Whitten y Alvin Wolfe.

La codificadora reconocida de la clase de redes propuesta por Barnes fue la psicóloga canadiense Elizabeth Bott (1957), quien había estudiado con Lloyd Warner en Chicago y conocía de cerca la obra de Lewin y de Moreno. Examinando el tratamiento clásico de la antropología frente al estudio del parentesco, por ejemplo, Bott había llegado a la conclusión de que la literatura sociológica y antropológica había colocado mal los límites entre la familia nuclear y la sociedad en general. Esta literatura había malinterpretado la matriz

en la cual la actividad familiar tenía lugar debido a que los estudiosos consideraban que la sociedad industrial moderna había quebrado los lazos de parentesco, reduciendo progresivamente la “actividad parental” a la familia nuclear. Bott redefinió en consecuencia la noción de “relación” para cubrir más bien la relación social y no la relación genealógica. De esta manera se hizo posible discutir las relaciones sociales de la familia nuclear en términos que fueran más allá de los lazos de parentesco.

Bott pensaba que en la medida en que Ego estuviera fuertemente ligado a otros a su vez ligados entre sí, todos tenderían a alcanzar consenso y a ejercer presión informal pero consistente sobre el resto para alcanzar conformidad con las normas, estar en contacto mutuo y de ser preciso ayudarse entre sí; en el otro extremo, si los vínculos fueran esporádicos, esa consistencia normativa resultaría más improbable. La hipótesis principal alega que la clase de red en que la familia está inserta afecta de manera muy directa las relaciones de rol conyugal en esa familia: una red estrechamente ligada conduce a la segregación de los roles conyugales. “El grado de segregación en la relación de rol del marido y la esposa varía en relación directa con la *connectedness* de la red social de la familia” (1957: 60).

Tenemos aquí formulaciones que muestran un aire de familia con las diversas solidaridades durkheimianas, o con la grilla y grupo de Mary Douglas, pero que presentan las ideas de manera más tangible y operacional. La “hipótesis de Bott”, como se la conoció durante un tiempo, originó un conjunto de estudios que se sirvieron de ella o intentaron reformularla (Hannerz 1986: 192-193). Tampoco faltó un aluvión de críticas de las definiciones de Bott, de sus mediciones, su ideología, su muestreo y de la validez general de la hipótesis (Turner 1967; Platt 1969; Cubitt 1973). De lo que no cabe duda es de la productividad de una idea que estuvo a punto de convertir el mismo concepto de red en una variable independiente para explicar en función de ella la conducta individual.

Basada en el estudio de 20 familias londinenses, la hipótesis posee muchas aristas y está preñada de corolarios heterogéneos, pero el argumento principal establece que los individuos que son miembros de una red estrecha antes de contraer matrimonio, una vez que se casan, y si es que conservan las actividades en red, pueden afrontar una organización conyugal basada en una clara diferenciación de tareas con pocos intereses o actividades en común. Si uno de los dos necesita asistencia instrumental, puede contar con los miembros de su red extra-familiar. El apoyo emocional continuo de la red también reduce las demandas expresivas que cada esposo requiere hacer sobre el otro. Cada quien puede desarrollar entonces distintas actividades de ocio y de trabajo.

Richard Udry y Mary Hall (1965) realizaron un estudio sobre los padres de 43 estudiantes de un curso de sociología para poner a prueba la hipótesis, obteniendo medidas de clausura y de segregación de roles conyugales. Aunque encontraron alguna leve tendencia a sostener un patrón de segregación de valor medio para los padres más involucrados en redes estrechamente ligadas, llegaron a la conclusión de que la hipótesis original de Bott sólo podía aplicarse a parejas de clase baja. Un especialista en familias nucleares, Joel Nelson (s/f), llegó a una conclusión semejante utilizando una muestra de 131 esposas de clase trabajadora.

Uno de los intentos de impugnación más vigorosos fue llevado a cabo por Joan Aldous y Murray Straus (1966) en base a una muestra de 391 mujeres casadas que vivían en granjas o pueblos. El estudio está basado en el análisis de una serie de medidas de red obtenidas de manera indirecta: un índice de conexidad, otro de diferenciación de tareas, un tercero de actividades por rol sexual, otro de poder (“quién tiene la ultima palabra” en ocho decisiones prestablecidas), otros de innovación y de adopción basados en las categorías de Everett Rogers (a describirse en la pág. 208 de esta tesis). La evaluación de los críticos es negativa; la hipótesis de Bott, dicen, sólo se mantendría para casos extremos de redes o bien extremadamente unidas o sumamente laxas (p. 580).

Encuentro unas cuantas elecciones metodológicas infortunadas en el diseño de la prueba de Aldous y Straus. El índice de conexidad [*connectedness*] de la red se obtiene, por ejemplo, pidiendo a cada miembro del grupo experimental que mencione las ocho mujeres con las cuales mantiene más visitas sociales; por cada mujer listada, la informante es requerida para que informe cuántas de las otras mujeres la conocen a ella. Estas cifras se suman y se dividen por el número de amigos reportados para llegar a ese índice (p. 578). Es obvio que se está recortando caprichosamente una muestra dentro de la muestra misma. Pero el problema no es sólo estadístico; con base en teoría elemental de grafos, un experto en redes objetaría que se está mutilando de antemano el tamaño de los cliques por poner un límite arbitrario al grado de los nodos: en la red de Aldous-Straus no puede haber un clique de más de ocho miembros y los actores mismos están restringidos a ocho vínculos, porque ningún clique puede poseer más de  $8 + 1$  miembros (Wasserman y Faust 1994: 256).

La elicitation, en suma, alborota por completo la configuración de la red. Hay otros errores de diseño: los autores admiten no saber si las redes evaluadas se formaron antes o después del matrimonio; no tienen datos de las redes de los maridos ni saben si ambas redes están o no vinculadas, lo cual desencadena serias implicancias teóricas (p. 580). Tampoco utilizan terminología de red, como cuando dicen que “nuestra muestra contenía muy pocas mujeres muchas de cuyas amigas se conocieran entre sí”, delatando que el estudio es anterior a la invención del concepto de índice de *clustering*, cuyo cálculo debiera haber sido de rigor en este caso (Holland y Leinhardt 1971; Watts y Strogatz 1998).

He traído a colación muy superficialmente este estudio de caso y algunas de sus derivaciones críticas no tanto por el interés de la hipótesis sustantiva, sino como ilustración del tipo de elaboraciones a que diera lugar la escuela en su fase temprana y la clase de argumentos que los cronistas tomaron como impugnaciones formalmente correctas. Desde el punto de vista de lo que luego ha llegado a ser el ARS muchos de estos trabajos son anómalos. Hay por cierto estadísticas de cuántos conocen a cuántos otros, pero las redes mismas no están articuladas y su análisis es incompleto y circunstancial. Aunque el objeto de estudio en ambos casos es obviamente reticular, es palpable que en esta línea de investigación al menos ha habido muy poco de análisis de redes en sentido técnico de la palabra.

De todas maneras las hipótesis de Bott y los trabajos de Barnes sentaron las bases para los ulteriores estudios de Mitchell y otros. En manos de los miembros de este grupo, la matriz de relaciones sociales esbozada por Bott devino susceptible de medición en tres dimensio-

nes, las cuales se han tornado fundamentales para el análisis de redes desde entonces: (1) proximidad, o sea el grado en que se superponen las redes personales de los individuos; (2) distancia de vínculo [*linkage distance*], el camino más corto que vincula individuos; y (3) patrones de vínculos y no-vínculos dentro de la matriz que se exhibe a través de correlaciones de similitud o disimilitud. Estas tres dimensiones, sin embargo, no son simples medidas de lo que hasta entonces se llamaba la “estructura” social. Mitchell y los demás autores siempre fueron muy claros respecto de que las redes expresan relaciones en una dimensión muy distinta de la que corresponde a esas estructuras. La búsqueda de las relaciones sociales a nivel de esas redes personales, centradas en Ego, devino necesaria precisamente debido a que los métodos del análisis estructural-funcional se encontraban en malas condiciones para afrontar la construcción y reconstrucción de los lazos sociales en contextos urbanos.

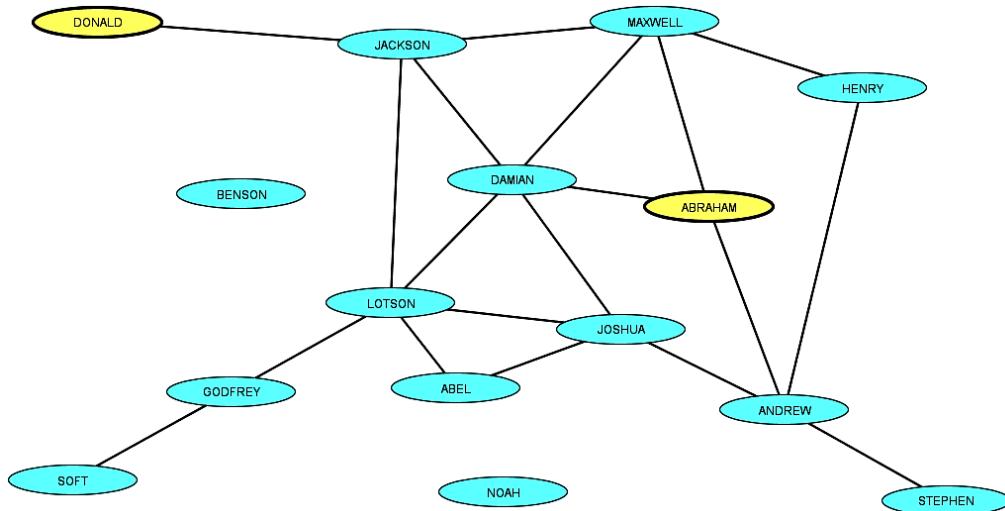


Figura 7.3 – Grafo de lazos múltiples entre los mineros de Zambia según Bruce Kapferer (1969)

Una alternativa frente a las redes basadas en Ego eran, naturalmente, los análisis exhaustivos; ya Jeremy Boissevain (1974) con su estudio de Malta había comprobado que un solo investigador no podía satisfacer en un tiempo razonable más que el relevamiento de un par de redes de primer orden. La obra maestra en materia de estudios exhaustivos de redes antropológicas es, tal vez, el análisis que llevó a cabo el australiano Bruce Kapferer (1969) en torno de una disputa en una pequeña red de trabajadores mineros en Kabwe, ciudad del centro de Zambia llamada antes Broken Hill, de donde procede el alguna vez famoso Hombre de Rhodesia. El estudio abarcaba una de las tres secciones o celdas, comprendiendo quince trabajadores permanentes y un grupo de ocho que iban y venían hacia o desde las otras secciones. La discusión que motivó el análisis comenzó cuando un trabajador de edad más avanzada, Abraham, acusó a otro más joven, Donald, de romper el ritmo coordinado de trabajo, acelerando más de lo que todos podían tolerar. En represalia, Donald lo acusó veladamente de brujería. Lo que sucedió fue que los demás operarios, en lugar de alinearse conforme a sus edades, terminaron respaldando más a Abraham que a Donald. La pregunta que se formuló Kapferer fue ¿por qué algunos trabajadores tomaron

partido de maneras que parecerían antagónicas a sus intereses en materia de ritmo de trabajo y brujería?

Kapferer estimó que los mineros se alinearían de manera tal de minimizar la amenaza sobre sus posiciones. Comparó entonces las cualidades de las relaciones directas de los miembros del grupo con Abraham y con Donald en función de tres variables interactivas de intercambio, multiplexidad y flujo direccional (figura 7.3). El intercambio abarcaba a su vez cinco tipos de contenido: conversación, comportamiento jocoso, ayuda en el trabajo, asistencia pecuniaria y servicios personales. La multiplexidad se refería al número de diversos contenidos de intercambio en la relación, vale decir, si ésta era simple o múltiple. El flujo contemplaba la dirección de los contenidos de intercambio: en un sentido, en el otro o en ambos. Sobre todo este aparato conceptual, Kapferer aplicó medidas sobre cuatro variables estructurales: (a) la proporción de relaciones múltiples de un hombre con otros hombres; (b) la proporción de vínculos laterales; (c) la densidad de las relaciones laterales de cada Ego; (d) la esfera, entendida como la proporción resultante de todas las relaciones, tanto las directas desde cada Ego como los vínculos laterales de esas relaciones. Kapferer pudo explicar entonces la conducta en apariencia contradictoria de algunos actores: Abraham podía ganar el apoyo de muchos que en la disputa parecían neutrales debido a sus estrechas relaciones con tercera personas influyentes.

El trabajo de Kapferer es magistral; no sólo resolvió de forma abierta a la inspección su problema empírico, sino que sirvió para ajustar diversos métodos de cálculo en redes sociales, la multiplexidad en primer término. El concepto había sido introducido por Gluckman (1955: 19 y ss; 1962: 26 y ss.) pero fue aquí donde recibió su bautismo de fuego. Kapferer introdujo una medida, a la que llamó *span*, equivalente al porcentaje de vínculos en la red que involucran a los actores a los cuales el actor primario es adyacente. Hoy se utiliza más bien la centralidad de grado de un actor como la proporción de nodos que son adyacentes a  $n_i$ ; siendo una medida normalizada, es independiente del tamaño de la red,  $g$ :

$$C_D(n_i) = \frac{d(n_i)}{g - 1}$$

Todavía hoy los datos de Kapferer integran el juego de archivos de ejemplo de un número crecido de programas de análisis de redes sociales: UCINET/Pajek/NetView, Krackplot y ORA Visualizer, entre otros (Wasserman y Faust 1994: 6, 13, 49-50, 179, 779; Borgatti, Everett y Freeman 2002).

Pero la práctica intensiva del análisis de redes en el seno de la escuela mancuniana duraría tan poco como la buena imagen de la escuela misma. Muchos de sus representantes de la primera hora se inclinarían hacia posiciones interpretativas y fenomenológicas en los años setenta, y no pocos llegaron a abrazar formas extremas de posmodernismo en las tres décadas subsiguientes. Nadie menos que el propio Bruce Kapferer, arrojando al vertedero una de sus más valiosas contribuciones, concedió esta expresiva entrevista a Olaf Smedal para *Antropolog Nytt* 3 en el año 2000:

*Cuando hace 25 años usted accedió a editar el volumen que luego fue Transaction and meaning (1976) yo supongo que lo hizo porque sentía un fuerte interés (aunque luego tal*

*vez menguante) en la teoría del intercambio, no en el sentido Maussiano sino en el Barthiano y sobre todo Blauniano. ¿Todavía ve algún mérito en esas tradiciones analíticas, o ellas ya son caballos muertos en lo que a usted concierne?*

Bueno, déjeme ponerlo de esta manera. Es un caballo muerto para mí, pero se está poniendo activo nuevamente. Están todas esas cosas que hice en materia de elección, toma de decisiones, redes muy barthianas (fui un pionero del análisis de redes); con esto de la globalización actual, todo eso es otra vez la orientación de moda.

*¿Lo usaría ahora, entonces?*

No. En realidad tendría que plantear la pregunta de otra manera. Usted me preguntó qué efecto tuvo ese período temprano. Bueno, el efecto que tuvo ese período fue, como puede ver todavía en todo mi trabajo, mi preocupación por cantidades masivas de detalle. Esto es, trabajar muy de cerca con una cantidad de detalles, con montones de prácticas y elaborar todo eso. Y eso proviene del viejo análisis situacional manchesteriano y el método extendido de casos. Tal como dije a mis alumnos esta mañana, ese proceso se bifurcó. Por un lado estaba el método extendido de casos que se preocupaba mucho por cómo las culturas y las estructuras se creaban y generaban continuamente, y que usaba una especie de método barthiano ingenuo. [...] Todo esto está claro en *Strategy and transaction in an African factory* (1972), donde traté de articular, siguiendo a [Peter] Blau, una teoría que soportara ese análisis de caso extendido del tipo de redes. De hecho eso fue muy positivista, muy objetivista, etcétera.

Había sin embargo otra línea alternativa que venía de la misma tradición pero iba en otro sentido, y esa línea era concretamente la de Victor Turner. [...] De hecho [su modelo, que expresaba que la gente se encuentra ligada más bien por deberes y obligaciones] es más fiel a la postura original de Gluckman que los desarrollos gluckmanianos de Mitchell, en alguna medida Epstein y ciertamente Jaap van Velsen. Pero al principio yo estaba del lado de Jaap van Velsen y Mitchell. [...] Como dijo un amigo mío, yo llevé el modelo transaccionalista a sus límites absolutos. Y eso tiende a ser una de mis constantes: tomo una posición y luego la elaboro hasta que no se puede ir más allá.

Entre los trabajos de Bott y los de Kapferer se encuentran algunos que son representativos de los estudios tempranos basados en redes. Particularmente destacables son las investigaciones de Philip Mayer en East London, una población bajo férreo control europeo con amplia mayoría Xhosa. Mayer realiza una disección muy clara en el seno de esta mayoría, distinguiendo por un lado a los urbícolas nacidos en East London y con la totalidad de sus vínculos sociales en la ciudad, y por el otro a los inmigrantes que procedían de las áreas rurales. Entre estos últimos había a su vez un claro contraste entre dos orientaciones culturales: la de los “Rojos” y la de los “Escuelas”, tradicionalistas y conversos cristianos respectivamente. Ambas orientaciones mantenían diversas formas de red que no he de describir en este punto. Baste decir que el análisis reticular propiamente dicho emprendido por Mayer se mantiene muy en segundo plano; en la reseña que encapsula lo esencial de la investigación (Mayer 1962) no hay datos precisos de relevamiento, ni demografías, ni diagramas, ni referencias a la estructura de las redes. El caso es que, bueno o malo, el estudio fue cuestionado desde el punto de vista político por Bernard Magubane (1973), un antropólogo sudafricano en el exilio, en un artículo incendiario publicado en *American Anthropologist*. La técnica de redes no fue sin embargo objeto particular de impugnación; en lo personal dudo que Magubane haya siquiera reparado en ella.

Treinta años después de enfriados los ánimos, hoy se percibe que la crítica de Magubane fue por lo menos injusta. Hay consenso respecto de que el desempeño de la escuela mancuniana en África fue, en general, inobjetable desde el punto de vista ideológico (Kuper 1973: 147; Hannerz 1986: 179-187); para la sensibilidad contemporánea, no obstante, el mero hecho de estar adscripto a un instituto ornado con un nombre que homenajeaba nada menos que a Cecil Rhodes y a David Livingstone no lo dice todo pero invita al desconcierto y orilla lo incomprensible.

Hay quien afirma que en la escuela de Manchester hubo un antes y un después tras la publicación de *Cisma y continuidad en una sociedad africana* de Victor Turner (1957). A partir de este libro sui generis se establece un nivel microanalítico y procesualista que engranaría con particular contundencia en la obra de Mitchell. Escribe Richard Werbner:

Las microhistorias en *Cisma y continuidad* resuenan con las percepciones de Turner de la creatividad humana y la conciencia individual, sus intuiciones sobre la negociación del orden cultural y social y sus análisis de las manipulaciones ávidas de poder de individuos interesados en sí mismos. La interacción misma era generativa en la microescala. Aquí el microhistoriador parecía estar diciendo algo más y algo distinto de lo que decía el sociólogo sobre el sistema social total. O más bien, estas percepciones implícitamente invocaban un abandono del paradigma estructuralista de resolución de conflictos entonces vigente, a fin de conceptualizar los matices, incluso los aspectos efímeros, de las microsituaciones (Werbner 1984: 177).

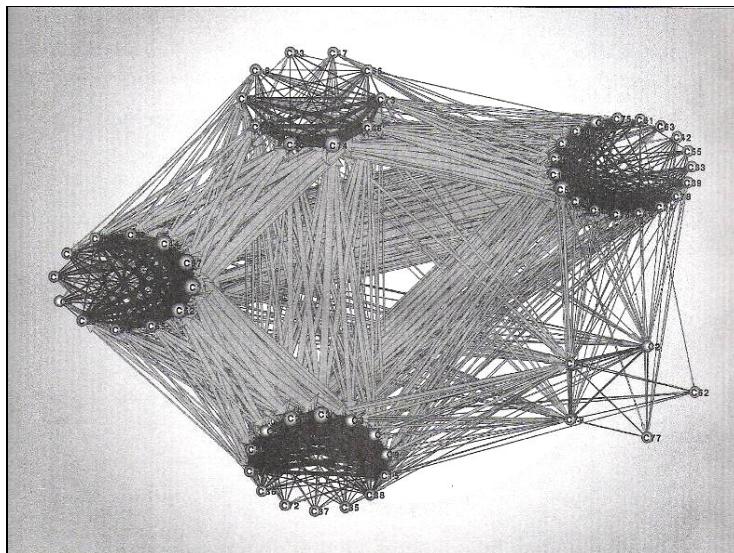


Figura 7.4 – Red de análisis de *embeddedness* en Java (Indonesia) según Schweizer (1997: 747)

Aunque durante un tiempo disfrutó de cierto prestigio y ejerció alguna influencia en ese campo desordenado que siempre ha sido el estudio de grupos y la antropología de las sociedades complejas, la carencia de herramientas computacionales, de máquinas comparables a las modernas PCs y de hallazgos dramáticos afectó el desarrollo de este campo de investigación, cuyo último trabajo memorable puede que haya sido la investigación de Bruce Kapferer (1972) que ya hemos referido sobre el poder y la influencia en una mina de Zambia, al filo del crepúsculo de la escuela de Manchester y en el pináculo del proceso

de descolonización. Kapferer siempre ilustró sus dinámicas mediante notación de redes (figura 7.3). Un cuarto de siglo más tarde las mismas problemáticas fueron abordadas con técnicas de excelencia por Thomas Schweizer (1996) en su estudio comparativo entre el intercambio de regalos entre los !Kung y las celebraciones rituales en aldeas javanesas (figura 7.4); pero ya casi nadie prestaba atención a esos menesteres. Ni a los métodos ni a la etnografía, quiero decir.

Aun cuando los desarrollos antropológicos se han ganado el respeto de los expertos en redes en general (Wellman 1988: 21; Wasserman y Faust 1994: 12-13; Scott 2000: cap. 4; Freeman 2004: 160, 162; De Nooy y otros 2005: xxiii, 98, 226-256, Mika 2007: 29), ya desde el principio sus propios practicantes sabotearon todo viso de sustentación del ARS en antropología. En opinión de Kapferer la noción de red social simplemente designa una técnica de recolección de datos y de análisis; los resultados decepcionantes del análisis pueden atribuirse, decía, a una preocupación indebida por la clasificación y la definición, con muy poca atención a los supuestos teóricos que le subyacen (Kapferer 1973: 167).

El propio creador del concepto, John Barnes (1972), afirmaba que no existía tal cosa como una teoría de redes sociales y que quizás nunca llegaría a existir. En ello estaba de acuerdo con Bott, quien pensaba que no había nada revolucionario en dicho método, dado que se lo podría usar en cualquier marco de referencia (1971: 330): una forma poco imaginativa de denigrar una de sus virtudes. Otros pensadores fueron sin embargo del mismo parecer (Granovetter 1979; Alba 1982; Wellman 1983; Rogers 1987). Tomando en consideración el hecho de que el concepto de red fue elaborado en forma diferente por distintos autores y a que no todos los que hicieron uso de la idea se sintieron obligados a proporcionar las definiciones precisas que la posicionaron en relación con otras categorías generales, Barnes escribió más tarde:

Debo aceptar algo de responsabilidad por esto, porque lo que escribí parece no haber sido claro. [...] No he distinguido entre los rasgos distintivos de todas las redes (en contraste con las relaciones diádicas, los grupos, las categorías y todo eso) y aquellos rasgos que se hallaban incidentalmente en la red noruega que yo describí. Algunos lectores presumieron que esos rasgos específicos y locales debían estar presentes en todas las redes, y han introducido modificaciones para que encajaran con situaciones empíricas en las que esos rasgos estaban ausentes. Otros lectores no han comprendido lo que quise decir por red total, quizás porque no he hecho ninguna referencia a Radcliffe-Brown, de quien tomé la idea (Barnes 1969: 53).

Desde la perspectiva actual esa actitud autocrítica (asumida en tiempos de la inminente marejada interpretativa) parece algo sobredimensionada y a todas luces inoportuna. Ya en 1973, a casi veinte años de comenzada la aventura reticular de la antropología, Barnes se había separado del grupo de Mitchell, Boissevain, Blok, Kapferer, van Velsen y demás británicos, escandinavos y holandeses, arrojando una mirada hostil hacia la segunda gran compilación del género (Boissevain y Mitchell 1973). En su filosa crítica deplora que van Velsen hable del “moderno” análisis de redes (“siento curiosidad por saber cómo era el análisis antiguo”); plantea que Mary Noble formula muchas preguntas sobre las relaciones diádicas pero sólo contesta unas pocas; objeta que “ciertos colaboradores utilizan el análisis de redes sólo como un *aide mémoire* en sus análisis de historias de casos, pero recu-

rren a datos de campo no subsumidos en el análisis cuando necesitan explicaciones de por qué A ayudó a B, o X se volvió contra Y”; lamenta la confusión terminológica crónica que afecta al análisis reticular, la falta de rigor y precisión, la debilidad de los datos y que Kapferer redefina *span* para hacerlo idéntico con “grado” pero luego siga usando *span* como si tal cosa: “otro buen término perdido en la confusión” (Barnes 1974a).

Refiriéndose al mismo volumen, el sociólogo de redes Barry Wellman (1975), quien atemperaría su severidad años más tarde, diagnostica los desarrollos matemáticos de los analistas antropólogos como rudimentarios y asegura que su nivel no alcanza la excelencia que era entonces común en la sociología norteamericana y canadiense; sucede –dice– como si los antropólogos quisieran compensar las debilidades en ese rubro con la sensitividad y la exquisitez de su trabajo de campo. Barnes volvería a cuestionar una posterior publicación de su amigo Boissevain (1974b) con mayor acrimonia todavía:

El modelo puramente corporativo de sociedad (que se aplica deductivamente en el análisis social) contra el cual Boissevain dirige una crítica sostenida a lo largo de todo el libro bien puede que sea un blanco de paja; sin embargo su propio modelo parcial, que subraya la significación de las relaciones diádicas y los contactos indirectos, es un complemento esencial a un modelo basado en grupos corporativos. Pero me intriga el estatuto analítico de una afirmación tal como que “en contraste con el clique... las actividades de los miembros de una banda a menudo tienen lugar al aire libre”. Mientras rechaza la cultura como explicación de la conducta social, Boissevain subraya los efectos causales del clima; pero el nexo entre las pandillas y el aire fresco se me escapa. [...] Dado que Boissevain sólo hace un uso impreciso de las numerosas estadísticas que proporciona, el lector puede ignorar casi todas ellas sin perder el hilo, particularmente porque algunas se basan en cálculos que involucran un número no especificado de personas “de las cuales no hay datos disponibles”. Dispersos por todo el libro hay generalizaciones de brocha gorda no soportadas por la evidencia. Por ejemplo, de acuerdo con Boissevain el individuo se ha desvanecido del análisis social desde los tiempos de Durkheim hasta que este libro apareció; [...] [él también afirma] que el número de solteros que ha sido exitoso en política resulta sorprendente; y que la personalidad de las mujeres sexualmente atractivas difiere de la de las mujeres que no son atractivas (Barnes 1974b: 1543-1544).

En la revuelta que se desató en los setentas se llegó a decir que la teoría de redes era teóricamente infructuosa, pues carecía de supuestos básicos de los que se pudiera derivar un conjunto de proposiciones relacionadas entre sí, susceptibles de ser puestas a prueba. Entre los especialistas en ARS de primera línea, Clyde Mitchell fue uno de sus pocos que fue más allá de ese vocabulario de idealización nomológica, un *wording* más estereotipado que analítico que delata haber tomado de apuro uno de esos cursos de Epistemología 101 como los que entonces plagaban las universidades. Con algo más de sensatez, él pensaba que lo mismo podía imputarse a cualquier otra teoría antropológica; más aun, afirmaba que el hecho de “que se puedan derivar proposiciones a partir de la consideración de las características de las redes sociales es [...] evidente” (Mitchell 1974: 283). Pero ya era algo tarde para estas defensas. El propio libro magno de Mitchell (1969) y los artículos de Barnes incluidos en él habían sido vapuleados por Philip Mayer:

[Estos trabajos] demuestran la elegancia pero también los peligros del método. El problema con el análisis de redes es que si es desarrollado apropiadamente, de modo que se pue-

da proclamar validez a partir de los datos, está condenado a ser oneroso y a consumir mucho tiempo del investigador y (se puede agregar) del lector consciente también. Es una herramienta costosa, que debería usarse sólo donde pueda esperarse iluminación o un valor significativo, y que demanda la aplicación de rigurosos estándares de relevancia. Barnes nos recuerda que el trabajo del analista de redes es “probar o refutar alguna hipótesis”, pero no pienso que se haya realizado eso en estos cuatro ensayos. Al final uno siente que en vez de haber sido llevado a confrontar los principales problemas metodológicos del análisis de redes cara a cara, se nos ha llevado gentilmente hasta su periferia. El problema, por supuesto, es que las hipótesis significativas difícilmente puedan ser puestas a prueba por unos pocos ejemplos aislados (Mayer 1970: 720).

Mayer y Mitchell pronto harían causa común en sus respuestas a la diatriba de Magubane; pero ya era demasiado tarde para salvar la técnica y la postura de la escuela con ella. Llovieron críticas de todas partes, de amigos y enemigos. Las de peor calidad (a fuerza de ser las más previsibles) fueron las que deploraron la deshumanización de la antropología en manos del método, expidiéndose como si realmente se creyera que sólo una descripción de tono literario garantiza una ciencia cálida y la presencia de “el individuo como ser humano” en el texto etnográfico:

Parece probable que la perspectiva de redes vaya avanzando cada vez más hacia la teoría gráfica y la manipulación estadística de los vínculos de la red. En la medida en que esto ocurra, conducirá a una mayor precisión científica, pero también a una ciencia fría. Un enfoque que comenzó en parte como un intento de comprender cómo operan los individuos en el medio social urbano y cómo llegan a decisiones e invocan vínculos sociales, es probable que se convierta en un sistema de análisis sumamente formal en el que desaparezca el individuo como ser humano en el cálculo de la red (Ottenberg 1971: 948).

En su crítica a los microestudios en antropología urbana, el antropólogo neoyorkino Anthony Leeds [1925-1989] también argumentaba en su momento que había llegado el momento de dejar de lado “la futilidad de la metodología de la red, los estudios de las esquinas de la calle, el análisis de las normas que rigen que una pelea sea justa, todo eso”. Más precisamente, “casi todos los trabajos sobre redes en África parecen estar completamente atascados en la metodología, pues no han logrado encarar cuestiones teóricas más esenciales y más amplias” (Leeds 1972: 5).

Las posturas favorables tampoco resultaron de gran consuelo. Pocos años después Alvin Wolfe (1978: 53) pronunciaría una profecía fallida, anunciando que si bien el análisis de redes había crecido explosivamente desde 1953, el siguiente cuarto de siglo presenciaría un crecimiento aún mayor. En ocasión de su recensión del texto magno de Wasserman y Faust (1994) sobre ARS, y al tomar nota de quince años de silencio antropológico sobre esa clase de modelos, Wolfe (1997: 219) no tardaría en comprobar que su predicción se había incumplido miserablemente. Sólo M. F. Ashley Montagu (1945) se equivocó por un margen igual de grande cuando auguró que “[l]os métodos sociométricos serán una parte indispensable del equipamiento de todo trabajador de campo en antropología”, agregando que “la sociometría está idealmente equipada para las condiciones con las cuales se confronta el etnógrafo”, [...] por lo que “predigo que la sociometría devendrá el método fundamental de investigación”. No fue así, quizá por desdicha.

Aunque se esfumó de la escena tan discretamente que nunca se pudo hablar de un colapso del movimiento ni precisarse la fecha de su desaparición, alguna vez habrá que inventariar las razones que se adujeron para explicar el agotamiento de este estilo particular de la escuela de Manchester en antropología. Lo primero que salta a la vista es que entre los historiadores no ha habido consenso, quizás porque se buscaron sólo razones endógenas y porque fueron muchas más cosas que el análisis de redes las que cayeron en desgracia en esa época. Escribe Antonio Chiesi, por ejemplo:

La escuela de Manchester aplicó conceptos tales como densidad, conectividad y alcance, así como parámetros relacionados con la intensidad y fuerza de los lazos, pero su preocupación exclusiva por las relaciones informales y su estrategia meramente descriptiva contribuyó a la declinación de la escuela desde 1970 (Chiesi 2001: 10502)

En opinión de Scott, la escuela resultó lesiva y no beneficiosa para el futuro del análisis de redes en el Viejo Mundo:

Los argumentos de Mitchell, Barnes y Bott fueron en extremo influyentes en Gran Bretaña (ver Frankenberg 1966), pero su mismo éxito causó que el ARS se identificara con ideas específicas de los antropólogos de Manchester. En otras palabras, el análisis de redes se vió como algo sólo interesado específicamente con las relaciones personales e interpersonales de tipo comunal, como si el método sólo tuviera que ver con la investigación de redes egocéntricas. Como resultado, el despegue crucial que llevó al estudio de las propiedades de las redes en todos los campos de la vida social no se dió en Gran Bretaña (Scott 2002).

El diagnóstico del malogrado Thomas Schweizer no coincide gran cosa con la anterior evaluación:

La escuela de Manchester, y más notablemente Barnes y Mitchell [...], distinguió propiedades claves de las redes sociales y comenzó la formalización de esos conceptos. Pero en esta instancia, la antropología social europea abandonó el análisis de redes, debido a su (temprana) asociación con el estructural-funcionalismo y el análisis formal, y se volcó al estructuralismo francés y a los estudios simbólicos (Schweizer 1996: 147)

Mientras que en sociología se mantuvo el ARS como una especialidad viva que ha adquirido fuerza inédita en los últimos años, ejerciendo influencia en computación y matemáticas (Berkowitz 1982; Mika 2007), en antropología los temas de investigación fueron dejando de lado los temas de estructura y proceso social en beneficio de la función simbólica, la interpretación, la identidad. Para colmo, el especialista Jeremy Boissevain (1979) escribió un estridente artículo en la prestigiosa *Current Anthropology* que se convirtió en algo así como el obituario de la práctica en la disciplina, avalado por un *insider*: el dictamen que dio comienzo a su aislamiento y a su redefinición como aplicación de nicho, cuando podría haber sido la práctica sustitutiva de los entonces moribundos estudios del parentesco a la manera clásica. Más adelante (pág. 309) volveré sobre esta exacta cuestión.

Llegando al término de mi evaluación de los aportes de la Escuela de Manchester a la teoría y la práctica de las redes, no puedo menos que decir que hoy en día se juzgan altamente originales tácticas y conceptos contemporáneos que apenas pueden distinguirse de

aquellos que los mejores autores del movimiento desarrollaron hace décadas. Obsérvese esta caracterización de una teoría altamente apreciada en la actualidad:

[El nombre de la Teoría del Actor-Red (TAR) de Bruno Latour] es reminiscente de las viejas y tradicionales tensiones que están en el corazón de las ciencias sociales, tales como las que se dan entre agencia y estructura, o entre el micro y el macroanálisis. [...] Uno de los presupuestos centrales de la TAR es que lo que las ciencias sociales llaman usualmente “sociedad” es un logro que siempre se encuentra en marcha. La TAR constituye un intento de proporcionar herramientas analíticas para explicar el proceso mismo mediante el cual la red se reconfigura de manera constante. Lo que la distingue de otras estrategias constructivistas es su explicación de la sociedad en el proceso de hacerse (Callon 2001: 62).

Contrástese esa descripción con esta semblanza del viejo ARS mancuniano:

Lo que los antropólogos de Manchester demostraron, por encima de todo, fue que el cambio no era un objeto de estudio simple. No se podía, como a veces presuponían los estructural-funcionalistas, comprender el cambio simplemente describiendo la estructura social tal como existía antes y después del cambio, y postular algunas reglas transformacionales simples que “explicarían” lo que había sucedido entretanto. Gluckman y sus colegas demostraron que cuando se investigan empíricamente los efectos locales de los procesos globales, ellos se disuelven en redes complejas de relaciones sociales que están en constante cambio y que se influencian mutuamente (Eriksen y Nielsen 2001: 87).

Al desconocer la literatura básica sobre redes egocéntricas, modelos de grupo y modelado en general, Latour replica no pocos enunciados comunes del antiguo ARS antropológico como si fueran descubrimientos propios, fundados en las peculiaridades de la era posmoderna. El concepto levy-moreniano de *actor*, el postulado del carácter dinámico de lo social y la búsqueda de un vínculo entre lo local y lo global y entre la agencia y la estructura precisamente a través de esa dinámica se cuentan, como hemos visto, entre las más notorias de esas réplicas involuntariamente epigonales. Al lado de ellas hay un poco de Garfinkel, de Randall Collins, de Pierre Bourdieu y hasta de Ervin Goffman, todo eso yuxtapuesto más que coordinado. La dialéctica de Latour es brillante y aunque en su modelo la articulación metodológica falta por completo, en su dialéctica hay alguna chispa epistemológica de buena factura. Por más que entre la TAR y una posible implementación en la investigación concreta se perciba un enorme hiato, nada impide integrar lo mejor de sus observaciones en el trabajo empírico, sea que éste se realice en términos de ARS o de alguna otra manera. Los lectores de larga experiencia encontrarán sin embargo que en materia de técnicas y conceptos (e incluso de teorías) no hay nada nuevo bajo el sol.

Pese a que pocas entre las teorías que le sucedieron estuvieron a su altura el modelo mancuniano no se mantuvo en pie. El declive del análisis de redes en antropología entre (digamos) 1974 y 1995 es una historia tediosa y lamentable que aún no ha encontrado su cronista pero que habrá que resignarse a contar alguna vez (cf. White 2001). Ahora que el ARS ha returned triunfalmente como una de las manifestaciones de vanguardia entre las disciplinas de la complejidad del nuevo milenio, la antropología no está en su mejor forma para retomar el camino y recuperar el tiempo perdido. Pero lo peor que puede hacerse, creo, es resignarse a dejar que la historia se repita.

## 8 – Análisis micro, macroestructuras y la fuerza de los lazos débiles

[D]ado que los individuos suelen tener muchos lazos débiles (y los empleados adultos de las sociedades mayores probablemente órdenes de magnitud más lazos débiles que lazos fuertes) ¿cuán activos debería esperarse que sean los lazos débiles en la difusión de información vital? ¿Son los lazos débiles importantes sólo por su conducta vinculante y por la información que por ellos se difunde, o más generalmente debido a otros rasgos que ellos poseen? [...] Cualesquiera sean las respuestas a éstas y otras preguntas, los trabajos de Granovetter sobre la fuerza de los lazos débiles demuestran que la abstracción de redes simples de tipo 0-1 es una cruda aproximación a las estructuras de interacción y que es importante desarrollar modelos más ricos que capturen matices adicionales de frecuencia, duración y heterogeneidad.

Matthew Jackson (2008: 103)

Pocos años atrás, un@ de l@s especialistas en teoría antropológica de la Argentina manifestó en público que el problema de la relación entre el nivel micro y el plano macro, entre el individuo, la díada, el pequeño grupo y la sociedad, era un tópico obsoleto, pasado de moda. Más allá de que dicha interpretación no podría jamás sustentarse de cara al estado de las disciplinas y a los datos cuantitativos de referencias cruzadas y temas de investigación que hoy se actualizan casi en tiempo real y que están al alcance de las puntas de los dedos, aquí sostendré que, por el contrario, la naturaleza de las relaciones micro/macro (o local/global, u horizontal/vertical, o incluso sintagmático/paradigmático) sigue constituyendo, cualquiera sea el marco teórico, un problema esencial de las ciencias sociales, antropología inclusive, si es que estas ciencias tienen algún sentido y razón de ser. A fin de cuentas, las entrevistas y observaciones que articulan el trabajo de campo no lidian con la interpellación directa al pueblo, las clases o la sociedad (sea ello lo que fuere) sino con la interacción cara a cara con (o el relevamiento *down-to-top* de) uno o unos pocos informantes, sujetos o actores a la vez. Hemos consensuado hace rato que nuestro objeto es la sociedad o la cultura o sus unidades o colectivos sustitutos (los grupos, las estructuras sociales, los campos, las clases, el *habitus*), pero ¿cómo es que, desde el trabajo de campaña en más, llegamos de alguna manera a ellos?

En consonancia con lo que alego, uno de los teóricos sociológicos hoy más reputados en los Estados Unidos, Mark Granovetter, afirmó hacia fines de los años sesenta que una de las debilidades de la teoría sociológica radicaba en su incapacidad para vincular los niveles micro con los niveles macro. ¿Cómo hace, por ejemplo, un actor para operar más allá de su entorno? El análisis de los procesos interpersonales, especulaba, podría proporcionar un vínculo adecuado. Ahora bien, la sociometría, precursora del análisis de redes, siempre ha sido periférica a la teoría sociológica, en parte porque se ha consolidado como

perteneciente a la psicología social y en parte porque nunca ha existido un método consensuado para pasar del plano del pequeño grupo (territorio de preferencia y dominio casi monopólico de la psicología social) al de las estructuras globales.

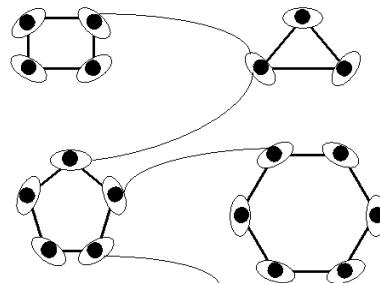


Figura 8.1 – Vínculos fuertes en el interior de grupos, lazos débiles entre ellos

Granovetter, quien todavía era doctorando en Harvard,<sup>44</sup> comienza su trabajo con una definición sumaria pero convenientemente práctica de la fortaleza y la debilidad de los vínculos en una red:

La mayor parte de las nociones intuitivas de la “fuerza” de un lazo interpersonal debería satisfacer la definición siguiente: la fuerza de un lazo es una combinación (probablemente lineal) de la cantidad de tiempo, la intensidad emocional, la intimidad (confianza mutua) y los servicios recíprocos que caracterizan el lazo. Cada uno de esos es en algún grado independiente de los otros, aunque es obvio que el conjunto está altamente intracorrelacionado. La discusión de las medidas operacionales y los pesos que se asignan a cada uno de los cuatro elementos se pospone para futuros estudios empíricos. Es suficiente para el propósito actual que la mayoría de nosotros nos pongamos de acuerdo, sobre una base intuitiva aproximada, sobre si un vínculo es fuerte, débil o ausente (1973: 1361).

Aunque los trabajos de la escuela antropológica de Manchester habían avanzado en esa dirección, Granovetter encuentra que su tratamiento de las cuestiones estructurales ha sido escueto. Lo primero que hace para revertir el estado de cosas es caracterizar una medida de la fuerza de los lazos en función del número de veces que los individuos implicados en ellos habían interactuado en el año anterior; un lazo se llama *fuerte* entonces si se interactuó al menos una vez por semana, *medio* si ha sido menos que eso pero más de una vez al año, y *débil* si se lo hizo una vez al año o menos.

Seguidamente, tomando como base algunas ideas del matemático sistémico Anatol Rapoport [1911-2007], uno de los primeros en estudiar la velocidad de propagación y la naturaleza de la epidemiología dentro de las redes, Granovetter examina las características de los lazos que vinculan las díadas, las tríadas y los cliques. Encuentra así que para que se difunda verdaderamente un rumor éste debe evitar o trascender los nexos fuertes inmediatos y pasar a través de los vínculos débiles. Si se queda en el circuito de los lazos fuertes sólo alcanzará a unos pocos cliques, pues no se cruzarán los puentes (p. 1366). Los lazos fuertes son los que uno llama amigos; los lazos fuertes, los conocidos [*acquaintances*]; el

<sup>44</sup> La disertación de doctorado de Granovetter para el Departamento de Relaciones Sociales de Harvard, bajo la pesada influencia de su maestro, Harrison White, se publicó más tarde con el título de *Getting a job* (Granovetter 1995 [1974]).

conjunto de Ego y de sus conocidos (figura 8.1) constituye, siguiendo la denominación del antropólogo manchesteriano Arnold L. Epstein, una red de baja densidad.

Tras otros análisis semejantes, Granovetter concluye que la vinculación de los niveles micro y macro no es un lujo teórico del cual se podría prescindir, sino un elemento de extrema importancia para el desarrollo de la teoría sociológica. La teoría urbana de la sociología tradicional (por ejemplo la de Louis Wirth en Chicago) sostenía que los lazos débiles eran generadores de alienación y allí acababa todo; la visión es muy distinta ahora: los lazos fuertes, que alientan la cohesión local, llevan a la fragmentación de la totalidad. Las paradojas, resume Granovetter, son un antídoto deseado para las teorías que lo explican todo con excesiva prolijidad (op. cit., pág. 1378).

La historia de Granovetter trae a colación un nuevo antipatrón de las ciencias sociales. En efecto, su hallazgo fue rechazado inicialmente por la prestigiosa *American Sociological Review*, pues se creyó que violaba el principio de sociología vulgar que establece que los lazos fuertes son los más efectivos en todos los escenarios, porque así es como lo dicta el buen sentido. Con unos pocos retoques que no modificaron ningún argumento clave el artículo fue aceptado finalmente en 1973 por el *American Journal of Sociology*, convirtiéndose desde entonces (y hasta hoy) en una de las referencias clásicas de la sociología. A partir de allí Granovetter quedó, como él mismo lo ha dicho, *typecasted*, encasillado: algo parecido a lo que le sucedió a Marc Augé con los no-lugares, se diría. Cada vez que él (un sociólogo genérico, por otra parte) intenta hablar de sociología, todos esperan que se expida sobre el análisis de redes sociales en general y los vínculos reticulares débiles en particular (Granovetter 1990: 13). Y como también pasa en cualquier dominio de la especialidad, cada vez que los teóricos de redes presentan propuestas innovadoras fuera de su nicho ecológico, lo común es que se encuentren con una resistencia desproporcionada porque no están haciendo lo que se espera de ellos.

Volviendo a su propuesta, cabe precisar que Granovetter (1983) había sugerido que si uno quiere hacer algo importante que se sale de la rutina cotidiana, como por ejemplo conseguir trabajo, más de una vez deberá aventurarse fuera del mundo sobre el cual tiene dominio inmediato. De hecho, el autor encontró que de las 54 personas entrevistadas que habían encontrado trabajo a través de contactos sociales, 16,7% lo logró a través de lazos fuertes, 55,7% mediante lazos de fuerza intermedia y 27,6 merced a un vínculo débil.

Esta clase de ideas y hallazgos, que en principio surgieron de una coronada y fueron corroborados mediante unas trecientas encuestas ad hoc en el área de Boston, ha sido con los años confirmada por los hechos; estudios independientes, como los de Carol Stack (1974), Larissa Lomnitz (1977) y Eugene Erickson y William Yancey (1977), probaron que en ambientes urbanos y etnográficos las clases pobres dependen casi exclusivamente de sus lazos fuertes, una idea sugestiva que en modo alguno explica la pobreza pero que constituye al menos una buena hipótesis de trabajo a propósito de sus posibles correlatos y consecuencias.

El propio Granovetter refinó más tarde el concepto de lazos débiles. Basándose en datos cuantitativos precisos aportados por los mismos Erickson y Yancey y considerando tam-

bien variables de educación, Granovetter halló que en los niveles más bajos de la escala social el uso de lazos débiles para la promoción laboral, contrariamente a las predicciones primarias de la hipótesis, poseían un impacto negativo, pero que ese impacto se iba atenuando a medida que el nivel de educación ascendía. El método utilizado en el estudio empírico original fue un simple análisis de regresión.

Nan Lin, Walter Ensel y John Vaughn (1981), en cambio, usaron métodos similares a los promovidos por el metodólogo Peter Blau [1918-2002], consistentes en modelos de ecuaciones estructurales y *path analysis*,<sup>45</sup> para medir la contribución relativa de distintas variables independientes a alguna clase de variable dependiente, en este caso el estatus ocupacional. Su hallazgo ha sido también esclarecedor: el uso de lazos débiles para encontrar trabajo posee una alta asociación con un logro laboral más alto sólo si los lazos débiles conectan al candidato con gente mejor ubicada en la estructura ocupacional. Todos estos estudios y una docena más que no he de tratar aquí clarifican las circunstancias bajo las cuales los lazos débiles proporcionan un valor agregado: sólo los lazos débiles *que forman puente* son de especial valor para los individuos; la ventaja de los lazos débiles es que es más probable que éstos sean puentes, y no tanto que lo sean los lazos fuertes u homóflicos.

Contrástese este principio con el que afirma que el coeficiente intelectual, variable de una raza a la otra, es un buen predictor de los resultados que uno obtenga en la vida, como por ejemplo los ingresos o el estatus social (Pinker 2003: 227). Aunque no puedo hablar en nombre de la comunidad de los teóricos de redes, en primera instancia parece más plausible la idea de que las clases pobres o determinados grupos raciales tienen más o menos éxito en la promoción social debido a las constituciones diferenciales de las redes que integran y a las capacidades concomitantes de éstas, y no a causa de la forma en que está biológicamente distribuida la inteligencia entre los individuos que conforman los grupos, cuyos IQs se cree (curricularmente) que constituye un buen predictor del éxito en la vida.

El estudio del fenómeno de los lazos débiles no constituye un eslabón escindido del resto de la investigación reticular sino que se ha ido fundiendo con otras ideas, en particular la de los mundos pequeños y la de las distribuciones de ley de potencia (cf. capítulos 9 y 11 más adelante). De esa fusión han surgido unos cuantos hallazgos. En general se estima que la navegación en redes que poseen la propiedad de mundos pequeños se ve facilitada por la existencia de lazos débiles (Lin y otros 1978). Más todavía, experimentando con redes de millones de teléfonos celulares se ha determinado que en gran número de redes sociales, la mayor parte de los vínculos típicos de los pequeños mundos son lazos débiles y que en las grandes redes existe un acoplamiento entre la fuerza de interacción y la estructura local de la red, con la consecuencia contraintuitiva de que las redes sociales son

<sup>45</sup> El *path analysis* (desarrollado por el genetista Sewall Wright [1889-1988] hacia 1918 y también llamado modelo de variable latente, modelado causal o análisis de covariancia de estructuras) es una forma de regresión múltiple que se utiliza para establecer relaciones de causalidad. Sus grafismos eventuales se asemejan a los de la teoría de grafos pero fueron desarrollados sin conexión explícita con la especialidad. De hecho, los textos esenciales del *path analysis* (Wright 1921; 1932) anteceden por décadas a la literatura de la moderna teoría de grafos.

robustas frente a la eliminación de lazos fuertes (la cual ocasiona encogimiento gradual, mas no colapso), pero se vienen abajo en una súbita y teatral transición de fase si se eliminan algunos lazos débiles (Onnela y otros 2005; 2006).

Este último fenómeno tiene una sencilla explicación: dado que los lazos fuertes predominan dentro de las comunidades, su desintegración tiene sólo alcance local; la destrucción de los puentes entre comunidades, en cambio, afecta a la totalidad de la estructura. Ambas clases de lazos han probado ser altamente inefectivos en lo que concierne a la transferencia de información: la mayoría de las noticias alcanza a los individuos a través de lazos de fuerza intermedia. Estos elementos de juicio deberían ser tomados en consideración en todo proceso de modelado o intervención en redes sociales, dado que muchos de los modelos dominantes (el de Wasserman-Faust, por ejemplo) o bien asignan la misma fuerza a todos los vínculos o presuponen que la fuerza se encuentra determinada por las características globales de la red, tales como la centralidad u otros factores semejantes.

Por añadidura, algunos de los algoritmos más utilizados para identificar comunidades y grupos en redes complejas implementan ya sea centralidad de *betweenness* (como el modelo de Girvan y Newman) o se basan en medidas topológicas (como en el de Palla y otros 2005). Se ha encontrado ahora que el peso de los lazos y la centralidad de *betweenness* están negativamente correlacionados al menos en las redes de comunicaciones móviles y en las redes sociales virtuales; es momento entonces de elaborar algoritmos que se adecuen a la estructura de las redes reales y reevaluar los hallazgos que se obtenían hasta no hace mucho mediante modelos de grafos sin peso.

Un aspecto fundamental de esta elaboración tendrá que ver con el hecho de que hacia fines del siglo XX el análisis de redes dejó de ser una estática estructural para sumarse al tren de los modelos dinámicos. David Knoke y Song Yang ilustran la coyuntura, sus promesas y sus precariedades de manera inmejorable:

[E]n la teoría del cambio en las redes del campo organizacional de Kenis y Knoke (2002), las estructuras de comunicación antecedentes afectan la elección de las alianzas estratégicas subsecuentes. A su vez, estas relaciones interorganizacionales afectan el flujo de información, el cual crea oportunidades o coacciones adicionales para las futuras alianzas. Estas dinámicas ejemplifican el más general “problema-de-lo-micro-a-lo-macro” en la teoría de la acción social (Coleman 1986). El problema central concierne a la forma en que las transformaciones sistémicas en la gran escala emergen de las preferencias o las acciones intencionales de los individuos. Dado que el análisis de redes abarca simultáneamente tanto las estructuras como las entidades, ella proporciona herramientas conceptuales y metodológicas para vincular los cambios en las elecciones en el micronivel con las alteraciones estructurales en el macronivel. Desdichadamente, el análisis de redes empírico de procesos dinámicos a través de los niveles sigue siendo un objetivo deseado más que una práctica prevaleciente (Emirbayer 1997: 305). Pero a medida que continúan proliferando los datos reticulares longitudinales, emergen nuevos métodos para conceptualizar e investigar el cambio en las redes (Faust y Skvoretz 2002; Snijders y otros 2007). (Knoke y Yang 2008: 6).

Aun cuando resten resolver unos cuantos dilemas en el análisis longitudinal, el estatuto y la fuerza de la teoría de redes en sociología se debe a muchos factores, pero la centralidad

de la figura de Granovetter pudo haber tenido algún impacto al menos en ciertos amplios sectores de la disciplina. De ningún modo es un sociólogo marginal. Las encyclopedias sociológicas recientes lo consideran sin ambages como el fundador mismo de la sociología económica, la cual se origina en ese mismo documento canónico sobre el embebiimiento de la economía en la sociedad y la cultura; en ciencias económicas es uno de los referentes de la econofísica (Swedberg 1990: 96-114; 2000: 734-736). Aunque con interpretaciones ligeramente distintas, las investigaciones de redes masivas a cargo del equipo de Barabási ha ratificado lo esencial de sus ideas (Onnela y otros 2005; 2006). Los especialistas en antropología económica y los investigadores de procesos reticulares en las llamadas sociedades complejas deberían conocer al menos de nombre este campo de estudio en crecimiento dinámico en el que la teoría de redes constituye el estilo normal de investigación.

Muchos creen hoy que la forma en que se establecen los lazos es sin duda esencial para la adaptación; al menos en lo que atañe a su escala, ella parece encontrarse en sintonía con hábitos y capacidades cognitivas que están comenzando a conocerse mejor. Diversas investigaciones demostraron que las personas acostumbran a integrar círculos de 5, 15, 35, 80 y 150 miembros. El antropólogo británico y biólogo evolucionista Robin Ian McDonald Dunbar (1998) y Russell Hill (Hill y Dunbar 1994) llaman a esos círculos (1) el de la familia y los amigos íntimos, (2) el de los amigos cercanos, (3) el de nuestros colegas y conocidos, (4) el de los miembros del club u organización y (5) nuestra “aldea”. El número máximo de 150 se ha hecho famoso en ciertos círculos de arqueología cognitiva evolucionaria (y también en el diseño de juegos en línea) como el “número de Dunbar”, que vendría a ser el límite cognitivo de la cantidad de personas con las que alguien puede mantener relaciones estables.

Dado que el número de Dunbar no fue obtenido de manera sistemática sino mediante la extrapolación a la esfera humana de datos etológicos elaborados sobre primates, el antropólogo Russell Bernard y el oceanógrafo inglés Peter Killworth han propuesto otro número basado en datos elicidos en trabajos de campo en Estados Unidos; la cifra, que es una estimación de la máxima probabilidad del tamaño de la red social de una persona, asciende a los 290 (Bernard, Shelley y Killworth 1987; McCarthy y otros 2000; Bernard 2006). Todavía está en estudio y en debate la estimación del número correspondiente a las redes virtuales, tales como Facebook, Twitter y otras iniciativas de *microblogging* que han surgido apenas en el último puñado de años (Abrahm, Hassanien y Snášel 2010; Furht 2010; Kelsey 2010; Ting, Wu y Ho 2010). En cuanto al número de niveles, una dimensionalidad parecida se ha encontrado en la llamada condición de [Jon] Kleinberg (2000): vecindario, ciudad, país, continente y mundo; anidamiento que tiene un aire de familia con la escala de alcances definida por Barnes (1954) para el sistema territorial en el estudio seminal sobre redes sociales en antropología: (1) unidad doméstica, (2) caserío, (3) aldea, (4) municipio y (5) más allá.

En este punto es ilustrativo examinar las formas en que se abordan las cuestiones de jerarquía y escala en disciplinas tales como la geografía cultural, de la cual me he ocupado con algún detenimiento en el libro complementario al presente (Reynoso 2010). Los niveles

de escala usualmente utilizados por los geógrafos (y también en campos transdisciplinarios tales como la teoría de la globalización) son algo así como éstos: (1) el cuerpo humano, (2) la unidad doméstica, (3) el vecindario, (4) la ciudad, (5) el área metropolitana, (6) la provincia/departamento o estado, (7) la nación/estado, (7) el continente, (8) el mundo (Sheppard y McMaster 2004: 4). J. C. Hudson (1992: 282) proporciona una serie distinta, con mayor precisión de escala cartográfica: (1) una casa, usualmente a escala 1:100, (2) una cuadra de ciudad a 1:1.000, (3) un vecindario urbano a 1:10.000, (4) una ciudad pequeña a 1:100.000, (5) un área metropolitana importante a 1:1.000.000, (6) varios estados a 1:10.000.000, (7) la mayor parte de un hemisferio a 1:100.000.000 y (8) el mundo entero a 1:1.000.000.000. En ARS, donde recién se está comenzando a plantear la problemática de la escala y su influencia en la definición de las unidades de muestreo y tratamiento, se distingue usualmente entre (1) individuos, (2) grupos formales o informales, (3) organizaciones formales complejas, (4) clases y estratos, (5) comunidades y (6) naciones-estados (Knoke y Yang 2008: 10).

De más está decir que todas estas series, tanto las que parecen lineales tanto como las logarítmicas, encuadran en el principio cognitivo de George Miller (1987) para el procesamiento óptimo de información (el mágico número  $7\pm 2$ ). Los estudiosos de redes complejas han encontrado que en cada nivel de establecen estructuras de pequeños mundos que proporcionan claves para la búsqueda y el accionar eficientes. Péter Csermely (2006: 13-14) ha calculado (a grandes rasgos por cierto) que la frecuencia de encuentro con los miembros de cada círculo (en tanto indicador de la fuerza del vínculo) y el número de amigos o conocidos en cada rango de frecuencia se precipitan con caídas independientes de escala en un gráfico *log-log*. Esto concuerda una vez más con las leyes de Zipf o de Pareto que se analizarán en detalle un par de capítulos más adelante.<sup>46</sup>

También es posible recurrir a esta distribución de frecuencia para definir qué se entiende por un lazo débil, ya que si existe un continuo de posibilidades entre vínculos apenas perceptibles en un extremo y relaciones extraordinariamente fuertes en el otro, se torna difícil acordar un valor de discriminación por debajo del cual se pueda afirmar la debilidad de un vínculo. Convencionalmente, se ha propuesto que si una relación no se encuentra en el grupo del 20% más fuerte, se considerará débil de ahí en más (Csermely 2006: 100-101).

---

<sup>46</sup> En esta jerarquía se esconde una aguda problemática para la antropología, una disciplina que nació en torno de métodos de interacción cara a cara que está visto que no escalan bien para el abordaje de las sociedades (mal) llamadas complejas, de los fenómenos de globalización o incluso de las redes virtuales (Reynoso 2010). Igual que sucedió en algún momento con la tecnología de las redes informáticas (uno de cuyos modelos de referencia, el estándar ISO/OSI, está articulado exactamente en siete capas), las diversas disciplinas han conceptualizado los niveles jerárquicos en los que se han concentrado de maneras inconmensurables: cada nivel se rige entonces por una lógica diferente. Por razones de foco, espacio y competencia técnica la parte más sustancial del espinoso tema de las redes jerárquicas, el modelado y la inferencia bayesiana, así como la teoría de la jerarquía propiamente dicha, no será elaborada en esta tesis. Tampoco hay mucho que decir, ciertamente. El desarrollo de los problemas de jerarquía y de los niveles de organización en las teorías de redes y grafos es más bien rudimentario: una de las muchas áreas de vacancia que hoy pueden percibirse tanto en las matemáticas que estarían en condiciones de proporcionar respuestas como en las ciencias humanas que formularían las preguntas.

Junto a la teoría de los lazos débiles, los antropólogos han desarrollado otros métodos bien conocidos para analizar dinámicas sociales y comparar usos a través de las culturas; el más notorio gira en torno del concepto de *embeddedness* (Schweizer 1997), al cual, por razones del espacio argumentativo requerido para hacerle justicia, no podré tratar con el debido detenimiento. Tras haber sido acuñado por Karl Polanyi [1886-1964] en la década de 1940,<sup>47</sup> el significado actual del concepto se remonta por lo menos al artículo “Economic action and social structure” de Mark Granovetter (1985) sobre la acción económica y la estructura social. El *paper* se convirtió de la noche a la mañana en la piedra fundamental de la influyente “nueva sociología económica” norteamericana, la escuela de orientación estructuralista contra la cual Pierre Bourdieu (2008) escribió sus últimas obras en la especialidad.

En su faceta “vertical”, el concepto de *embeddedness* denota la duplicidad de las vinculaciones jerárquicas de actores a nivel local con la sociedad, la política y la economía de la que forman parte; en la perspectiva “horizontal”, comprende la interpenetración de los dominios sociales y culturales, materiales e ideológicos: toda interacción económica está embebida en relaciones sociales; ésa es la idea, susceptible ahora de representarse y modelarse con cierta solidez. Tal como lo intuyó el lamentado antropólogo Thomas Schweizer [1949-1999] en sus últimos años, la elaboración de esas relaciones categoriales basadas en redes ilumina tanto las viejas polémicas de la antropología económica sustantivista como las nuevas estrategias de George Marcus referidas a la etnografía multisituada (cf. Reynoso 2008: 411-422; Isaac 2005: 15; Laville 2007). No todas las estrategias examinadas en estos términos resultan favorecidas por esta luz.

**Consecuencia n° 6:** El puente entre lo micro y lo macro no sólo es una posibilidad conceptual, sino que constituye un ingrediente clave de la experiencia cotidiana. Aunque han habido avances palpables en este terreno no hay todavía en teoría de redes una demostración exhaustiva, concluyente y axiomática, comparable (por ejemplo) al descubrimiento de las distribuciones de ley de potencia, de los mundos pequeños o del umbral de percolación. Hoy en día se está tendiendo a superar la dicotomía que en las ciencias sociales convencionales ha tendido a establecerse entre lo individual en un extremo y lo holístico en el otro, adoptándose un modelo jerárquico con más instancias intermedias y con relaciones complejas, no lineales, recursivas o emergentes entre los diversos niveles.

Esta constatación merece un par de párrafos de comentario y posicionamiento. Pierre Bourdieu (2001: 26, 226) ha protestado contra la falsa alternativa entre el individualismo y el holismo, así como contra la falsa superación de esa dicotomía por parte de ideas como el *awareness context* o por la teoría de las redes sociales. Si bien se puede estar de

<sup>47</sup> Una creencia sustantivista más debe caer por tierra. Tras una serie de relecturas de *The great transformation*, su obra mayor, puedo dar fe que Polanyi nunca utilizó el concepto de *embeddedness* como sustantivo. Lo más que llegó a decir es que para los ideólogos del libre mercado “las relaciones sociales están embebidas [*embedded*] en el sistema económico” (p. 60) y que antiguamente “los motivos y circunstancias de las actividades productivas estaban embebidas en la organización general de la sociedad” (p. 73). Ni una palabra más. Para un tratamiento creativo de la idea de embebimiento es esencial consultar la obra reciente de Guillermo Quirós (2009: 17, 19, 20 y ss.).

acuerdo con su protesta, el problema con esta lectura (emergente de un número llamativamente pequeño de referencias, todas ellas blanco de un desborde inmotivado de cláusulas peyorativas) es que a este respecto ni existe una postura monolítica dentro de la comunidad del ARS, ni éste constituye más que un conjunto polítetico de técnicas heterogéneas que está muy lejos de implicar una toma de postura monolítica o un “programa fuerte” en el plano teórico. Tampoco se ha impuesto en el ARS una forma canónica o prescriptiva de modelado que imponga una ideología determinada, ni hay un solo teorizador global del movimiento que pueda considerarse el portavoz autoral de la práctica, el vapuleado Granovetter menos que nadie.

Por otro lado, dista de ser verdad que los nodos de un modelo de red hayan de ser por necesidad “sujetos”, “individuos” o “agentes” particulares o que el conjunto de la red denote un orden o estructura societaria global que se define como lo único objetivo (Bourdieu y Wacquant 1992: 106-107); como se ha visto y se seguirá viendo a lo largo de este libro, los vértices bien pueden ser ciudades, países, culturas, calles, esquinas, habitaciones de una vivienda, proteínas, estilos artísticos, escuelas de pensamiento, recorridos de recolección de basura, acentos rítmicos o notas musicales. Las relaciones denotadas por las aristas, asimismo, no tienen por qué ser necesariamente señaladoras de “interacción”. Y la totalidad habrá de ser, conforme se articule el modelo, lo que cada quien postule que ella sea: o bien el espacio o campo de posibilidades, o bien la fuente de determinación y constreñimiento de los elementos en juego, o todo eso junto. No es cierto, por último, que el ARS recurra a un análisis estructural que es “difícil de traducir a datos cuantificados y formalizados, salvo que se recurra al análisis de correspondencias” (Bourdieu y Wacquant 1992: 89). Por un lado, muchas operaciones de este último análisis coinciden con inflexiones del análisis espectral de matrices; por el otro, las potencialidades de cuantificación y formalización del análisis de redes y de sus fundamentos en la teoría de grafos, la combinatoria, el álgebra y la topología son abismales, órdenes de magnitud por encima de las técnicas de caja negra del ACM, limitado éste (por el tipo de análisis espectral subyacente) a relaciones lineales entre elementos (Baxter 1994; Greenacre y Blasius 1994).

El trabajo que resta por hacer para integrar todo lo que falta a la visión de las redes es mucho y se anticipa difícil. Pero en este contexto no hace honor a la verdad decir que el ARS favorece invariablemente un principio causal de abajo hacia arriba, un dualismo rígido, un individualismo metodológico o una instancia condenada a permanecer en lo microscópico:

Los escenarios pequeños tienen ventajas considerables al delinear con claridad los límites de membreccía [y] al enumerar las poblaciones de manera exhaustiva. [...] Sin embargo, no hay nada intrínseco en el análisis de redes que impida la aplicación de conceptos y métodos a formaciones de mayor escala, muchas de las cuales poseerán delimitaciones porosas e inciertas (Knoke y Yang 2008: 10)

Como sea, la mayor parte de los estudios longitudinales todavía consideran a lo sumo dos planos de organización. Más todavía, hallazgos como los de Granovetter introducen dudas acerca del nivel de abstracción requerido para un modelado productivo del vínculo entre lo local y lo global. Mi percepción es que este puente habrá de ser resuelto no tanto

por el análisis de redes en estado puro sino por investigaciones intersticiales que combinen el ARS con análisis espectral y análisis de componentes múltiples, o bien con modelos de simulación basados en agentes u otras clases de sistemas complejos adaptativos (Kollo y von Rosen 2005; Reynoso 2010: 39-110). Al igual que las redes, éstos han tenido un desarrollo más sostenido en sociología o en psicología social que en antropología sociocultural. Habrá que ver si la antropología se incorpora a este circuito o si permanece, como ha sido la tendencia en el último cuarto de siglo, apegada a lo más simple, lo más convencional, lo más conocido.

## 9 – Travesías por mundos pequeños

[El experimento de Stanley Milgram] contiene realmente dos descubrimientos sorprendentes: primero, que esas breves cadenas deben existir en la red de la gente conocida; y segundo, que la gente debe ser capaz de encontrar esas cadenas sabiendo muy poco sobre el individuo de destino. Desde un punto de vista analítico, el primero de esos descubrimientos es de naturaleza existencial, el segundo algorítmico: revela que los individuos que sólo conocen las ubicaciones de sus conocidos directos pueden aun así, colectivamente, construir un camino corto entre dos puntos de la red.

Joseph Kleinberg (1999)

Entre otras propiedades interesantes, las redes ER son modelos aceptables de pequeños mundos, por razones matemáticamente inevitables pero empíricamente irreales. Si alguien tiene cien o mil conocidos (un número realista) y cada uno de éstos tiene otros tantos, cualquier miembro de la población humana estará entre unos ocho y unos diez pasos de distancia geodésica de cualquier otro. Ésta es la esencia de la idea de los mundos pequeños: entre dos personas cualesquiera existen muy pocos grados de separación, independientemente del tamaño de la red. El concepto de mundo pequeño es acaso uno de los ejemplos más rotundos de la idea de no-linealidad aun cuando las relaciones cuantitativas que lo definen sean proporcionales: la distancia entre dos nodos cualesquiera crece por cierto en consonancia con el tamaño de la red; pero crece órdenes de magnitud más lentamente.

Igual que sucedió con el “efecto de las alas de mariposa”, entrevisto por Ray Bradbury en *A sound of thunder* (1952) algunos años antes que se lo redescubriera en dinámica no lineal bajo el nombre apenas más austero de “sensitividad extrema a las condiciones iniciales”, hay quien afirma que la idea de pequeños mundos se pensó antes en literatura que en ciencia. En 1929 el escritor húngaro Frigyes Karinthy [1887-1938] publicó una colección de cuentos titulada *Minden masképpen van* (“Todo es diferente”) que incluye uno titulado *Láncszemek* (“Cadenas”). Lo he podido leer recientemente en la exquisita edición de clásicos inhallables de Newman, Barabási y Watts (2006: 21-26). El relato no es nada del otro mundo, pero incluye este momento asombroso:

En esta discusión se originó un juego fascinante. Uno de nosotros sugirió ejecutar el experimento siguiente para probar que la población de la tierra se encuentra más próxima ahora de lo que lo ha estado jamás. Podríamos elegir cualquier persona de entre los 1.500 millones de habitantes de la tierra; cualesquiera, en cualquier lugar. Él nos apostó que utilizando no más que *cinco* individuos, uno de los cuales fuera un conocido personal, él podría contactar al individuo elegido usando sólo la red de sus conocidos personales. Por ejemplo: “Mire, usted conoce al Sr X.Y.; por favor pídale que se ponga en contacto con su amigo, el Sr Q.Z, a quien él conoce, y así sucesivamente” (Karinthy 2006 [1929]: 22).

El episodio (en el cual aparece la expresión *red* décadas antes que se comenzara a pensar técnicamente en ellas) anticipa exactamente la clase de concepto que años más tarde habría de hacerse popular como “los seis grados de separación”. La misma idea, aunque imaginando un mínimo de nueve nodos, está implícita en párrafos premonitorios del libro clásico de la arquitecta canadiense Jane Jacobs [1916-2006], *Vida y muerte de las grandes ciudades americanas* (Jacobs 1961: 134-135). Aunque habría que comprobarlo en base a mejor documentación, hoy es moneda común sostener que se trataba de una creencia sustentada por muchos que sólo estaba en espera de ser codificada en el campo científico. El estudioso que llevó a cabo este trámite no ha sido otro que el psicólogo Stanley Milgram [1933-1984], el mismo que diseñara un famoso experimento que comprobó lo fácil que es inducir a un ciudadano común, políticamente correcto, a que aplique por razones baladíes castigos lindantes con la tortura.

La segunda gran idea de Milgram (1967) es menos horrorosa pero no menos sorprendente. Iniciando una cadena de cartas que tenían por destinatario final a una persona escogida más o menos al azar en Boston, Massachusetts, Milgram envió cartas a residentes también aleatorios de Omaha, Nebraska, en el otro extremo de la escala social. En las cartas les pedía a éstos que si conocían al destinatario le enviaran la carta directamente; si no lo conocían, que se las remitieran a otra persona de su conocimiento que pudiera tener alguna probabilidad de conocerlo.

En cuanto a los resultados, se dice que cierto número de cartas (64 de 217) llegaron a destino; algunas de las cadenas requirieron 12 pasos, pero el promedio de pasos fue de sólo 5,2 (Travers y Milgram 1969: 431). Redondeando magnánimamente hacia arriba, de allí viene lo de los seis grados de separación, aunque Milgram mismo jamás utilizó esta frase. Quien lo hizo por primera vez fue John Guare, en la obra de teatro de 1991 *Six degrees of separation*, luego transformada en una película en la que el personaje a cargo de la actriz Stockard Channing desarrolla un razonamiento similar al que se encuentra en el relato de Karinthy. Se dice que Guare atribuía el descubrimiento a Guglielmo Marconi, quien se supone que dijo en su discurso de recepción del Premio Nobel del 11 de diciembre de 1909 que la telegrafía sin hilos uniría a todo el mundo mediante una cadena que sólo requeriría 5,83 intermediarios entre cualesquiera dos lugares.<sup>48</sup>

Lo que descubrió Milgram (y lo que había intuido antes el escritor) es que la *longitud de camino característica* de una red es órdenes de magnitud menor que la dimensión reticular. Milgram documentó este hallazgo impresionante en un artículo breve de una revista popular, *Psychology Today* (Milgram 1967), y algo más tarde en un artículo más detallado en coautoría con Jeffrey Travers en *Sociometry*. Contemporáneamente a este último,

<sup>48</sup> Sospecho que se trata de otro mito urbano. El artículo de Wikipedia que desliza esa insinuación es “Six degrees of separation” ([http://en.wikipedia.org/wiki/Six\\_degrees\\_of\\_separation](http://en.wikipedia.org/wiki/Six_degrees_of_separation), consultado el 24 de marzo de 2009). Con el discurso de Estocolmo a la mano puedo garantizar que en él no se afirma semejante cosa, aunque matemáticamente la idea está implicada por las 4.000 millas de alcance de cada servicio de transmisión ([http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/1909/marconi-lecture.html](http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1909/marconi-lecture.html), id.). El mundo implícito en el modelo de Marconi parece ser un mundo pequeño debido a la potencia bruta del *broadcasting* pero no lo es en realidad, puesto que crecería proporcionalmente al aumento del diámetro de la red o (pensándolo mejor) de la superficie del planeta.

Milgram documentó otro junto a Charles Korte introduciendo gente de distintas razas a lo largo de la cadena sin que los resultados variaran sensiblemente. En rigor los estudios y los descubrimientos de Milgram habían sido precedidos por un artículo, “Contactos e influencia” de Manfred Kochen e Ithiel de Sola Pool (1978) de mediados de los cincuenta (citado por Milgram como un inédito) que demoró unos veinte años en publicarse. Precediendo al de Travers y Milgram, el artículo hoy se consigue en la mencionada compilación de Newman, Barabási y Watts (2006: 83-129, 130-148). En él tampoco se menciona el concepto de grados de separación, pero hay que admitir que es el primero en introducir la expresión “mundo pequeño”; y no solamente eso, sino, dos décadas antes de Granovetter, la insinuación de la idea de los lazos débiles que existen entre una persona y otra en una posición social más alta:

Comencemos con afirmaciones familiares: el fenómeno del “mundo pequeño” y el uso de amigos en posiciones elevadas para ganar favores. Es casi demasiado banal citar un caso favorito de descubrimiento improbable de un conocido compartido, que usualmente finaliza con la exclamación “¡Qué pequeño es el mundo!”. El cuento favorito del autor principal sucedió en un hospital en un pequeño pueblo de Illinois donde escuchó que un paciente, un telefonista, contaba al paciente chino de la cama de al lado: “Usted sabe, en mi vida sólo he conocido un chino. Él era... de Shanghai”. “Vaya, ése es mi tío”, contestó su vecino. La probabilidad estadística de que un telefonista de Illinois conozca a un pariente cercano de uno de los 600.000.000 de chinos es minúscula; y sin embargo esas cosas pasan (Kochen y de Sola Pool 1978: 5).

Todavía más anticipatoria y contemporánea suena la insinuación de estos autores de que ambos fenómenos (mundo pequeño y lazos débiles) se hallan correlacionados a su vez con el número de personas que alguien es capaz de identificar y con los límites de la memoria en general. Hay a este respecto una referencia al artículo seminal de George Miller (1956) sobre el mágico número  $7 \pm 2$ , por entonces recién acabado de publicar, y una alusión a rangos mayores de gente conocida que guarda alguna semejanza con lo que años más tarde será el número de Dunbar del cual se trató en el capítulo anterior (cf. pág. 125).

El producto más conocido derivado la idea de los grados de separación es el Oráculo de Kevin Bacon en la Universidad de Virginia, donde se puede proponer el nombre de (casi) cualquier actor o actriz y verificar su distancia geodésica (o sus grados de separación) de aquel actor en particular o de cualquier otro (véase <http://oracleofbacon.org>). Los comportamientos notables de esta red de algunos millones de nodos ocurren a nivel de agregado, pues sucede que Bacon (junto a otros mil o dos mil actores) está a muy pocos grados de distancia de cualquier otro actor. La imagen de la figura 9.1 muestra que, por ejemplo, la red de pequeños mundos desde el improbable Luis Sandrini hasta Kevin Bacon. Contra todo pronóstico, Sandrini se encuentra sólo a tres grados de separación, o sea que tiene un “número de Bacon” igual a 3. ¿Un tío influyente, una celebridad mundial? No; las redes son así y a cualquiera le puede pasar, tanto más cuanto más secundario sea y en más filmes necesite trabajar para ganarse la vida. A quien siga pensando en cuestionar las técnicas de redes por inexpresivas, cabría pedirle que examine la semántica de las aristas en la misma figura: no denota en este caso una árida relación de lógica de clases taxonómicas o teoría de conjuntos (ES-UN), ni una fría señalización transitiva (SE-COMUNICA-CON)

como las que se encuentran en redes semánticas o grafos existenciales, sino el nombre de una película en que ambos actores trabajaron juntos. En suma, cualquier expresión predicativa puede ser mapeada en estos términos. Por más que la explicación matemática parezca elusiva o haya sido pobemente comprendida, el fenómeno de los seis grados se presenta en infinidad de contextos. La compañía Sysomos, por ejemplo, ha monitoreado la estructura de la red Twitter sobre 5.200.000.000 de usuarios, encontrando que el grado promedio de separación es de 4,67 pasos. Un 50% de los usuarios se halla a 4 pasos de distancia entre sí, mientras que prácticamente todos están a 5 pasos. Después de visitar un promedio de 3,4 personas cualesquiera, los usuarios pueden esperar encontrarse con alguno de sus propios seguidores.<sup>49</sup> Similares guarismos se estiman para Facebook, LinkedIn y otras redes semejantes.

En mis experimentos en antropología de la música, examinando las posibilidades de que un estilo musical se fusione con otros, he jugado muchas veces a calcular los grados de separación entre dos géneros cualesquiera; hay una leve dependencia, por supuesto, de la granularidad de las definiciones, pues no es lo mismo que el *rock'n roll* se cuente como un estilo o que se lo divida en mil; pero en general la distancia geodésica entre un estilo y otro es de una magnitud mucho más baja que el número de clases en que se haya particionado el repertorio y que el número de elementos del sistema (cf. Cano, Celma y Koppenberger 2005; Uzzi y Spiro 2005; Park y otros 2006; Goussevskaia, Kuhn, Lorenzi y Wattenhofer 2008; Jacobson y Sandler 2008; Teitelbaum y otros 2008).

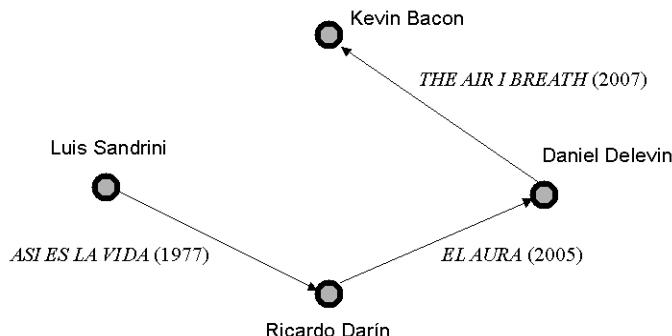


Figura 9.1 – Los grados de separación de Kevin Bacon

Como suele suceder, tanto el experimento de Milgram como la idea misma de los seis grados fueron puestos periódicamente en tela de juicio. También se ha malinterpretado su sentido. En la escuela de redes “estructural” asentada en Harvard, en particular, los mundos pequeños, así como la idea semejante de los mundos pequeños reversos, se tomaron como si fueran diseños especiales de redes, formas de recolección de datos, herramientas de construcción de teorías o estrategias de estimación de las propiedades de las redes (análogas, por ejemplo, a las cadenas de Márkov), antes que como propiedades estructurales de las redes complejas (White 1970a; Cuthbert 1989; Lin 1989; Wasserman y Faust 1994: 53-54). La idea dominante en este círculo es que la “técnica” de Milgram, Shotland

<sup>49</sup> Véase <http://sysomos.com/insidetwitter/sixdegrees/>. También vale la pena el artículo colectivo que se está montando en [http://en.wikipedia.org/wiki/Six\\_degrees\\_of\\_separation](http://en.wikipedia.org/wiki/Six_degrees_of_separation). Visitados en mayo de 2010.

y Travers permite pasar del estudio de grupos propio de la vieja sociometría al análisis de redes mayores, tales como ciudades o países (Hunter y Shotland 1974: 321). La mayoría de los autores de la escuela se consagró por ende a refinar la técnica o, más a menudo, a sustituirla por otras. Llegó un momento en el que sólo Peter Killworth y H. Russel Vernon advirtieron que estaban frente a un atributo de las redes, pero que dada la inexistencia de datos sobre redes de gran envergadura con anterioridad a los experimentos de Duncan Watts y a los hallazgos de Barabási, sólo cabía la resignación:

Ahora bien, puede argumentarse que es la estructura social misma lo que debería modelarse, antes que un experimento que puede darnos, en el mejor de los casos, una indicación de algunas facetas de la estructura social. Esto es por cierto verdad. Por desgracia hay muy pocos datos confiables sobre las propiedades de las redes sociales en gran escala. Los modelos sin datos tienen una tendencia a quedarse simplemente en modelos (Killworth y Bernard 1979: 478)

Años más tarde, Judith Keinfel (2002) procuró degradar los estudios de Milgram casi como si fueran fraudes científicos, aduciendo irregularidades y lagunas de documentación en la ejecución del experimento original. Diversas experiencias con toda clase de redes, empero, confirmaron que las redes grandes, y en particular las que veremos seguidamente, poseen en efecto la propiedad de pequeños mundos, algunas de ellas en el mismo orden de escala que el presunto mito urbano, otras incluso por debajo. Una tendencia que también se ha manifestado en torno de la idea de mundos pequeños concierne a la trivialización de la idea, pese a que ella es definitoria en innumerables procesos que van desde la posibilidad de “alcanzar” a cualquier persona en la red global hasta la velocidad de difusión de enfermedades.

Un correlato de la idea de pequeños mundos de inmensas potencialidades antropológicas tiene que ver con el “empequeñecimiento” del mundo merced a la virtualización de las redes. Las posibilidades tecnológicas no sólo han sido protagónicas de sucesos políticos y mediáticos cuya sola enumeración ya sería imposible, sino que han establecido modalidades de gestión social y cultural inexistentes hasta hace poco más de una década: el arte interactivo, la creación musical digital-reticular, la performance colaborativa, los mega-repositorios, la visita virtual, los sistemas de telepresencia, la improvisación en línea, los portales de tribus urbanas o globales gestadas virtualmente y un largo etcétera (Barbosa 2003).

La antropología ha llegado tarde al abordaje de estos fenómenos, favoreciendo enfoques discursivos de tono posmoderno, alternativamente integrados o apocalípticos, siempre crispados, supeditados a la contundencia y al colorido de la ejemplificación, que han demostrado hasta ahora muy escaso vuelo metodológico (p. ej. Pound 1995; Marcus 1996). Resulta increíble que haya sido la antropología la disciplina que puso su nombre a las redes sociales, pues de ello se trata. La literatura antropológica actual sobre el particular, abismada en la reproducción *sine fine* de miradas que ya se encuentran en las galaxias de McLuhan, en los simulacros de Baudrillard o en futurismo de video-clip del Manifiesto Cyborg, no ha logrado poner en acción el espíritu de sistematicidad y de pensamiento algorítmico que a propósito de las redes la disciplina desplegó alguna vez como pocas otras

y que el tema está requiriendo con urgencia. Lo único que ha producido hasta ahora, y que le concedo, es un repertorio abismal de observaciones goffmanianas y de nomencladores sustantivos que no hacen sino agregar más clases de cosas a las infinitas clases que ya existen y duplicar aquello que ya han estado haciendo (no invariablemente de peor forma) los estudios culturales. El empequeñecimiento de las redes globales acarreado por las virtualidades proliferantes, en suma, aun no ha suscitado una exploración antropológica de orden técnico que le haga justicia.

En la transdisciplina, mientras tanto, los modelos de pequeños mundos comenzaron a ser tratados formalmente por Duncan Watts y Steven Strogatz en la década de 1990. Los autores propusieron tomar como punto de partida una grilla regular parcialmente “re-cableada”; en el camino comprobaron que si a una grilla regular como la de la izquierda de la figura 9.2 se le añaden unos poquísimos vínculos al azar, la conectividad de esa red aumenta (o su diámetro disminuye) en una magnitud absolutamente desproporcionada, con absoluta independencia del tamaño de la red. La red de la derecha, por ejemplo, presenta estadísticas de *betweenness*, distancia geodésica, diámetro y demás radicalmente diferente de las del caso de la izquierda. Si se agregan algunos cientos de nodos el efecto no varía mucho. Nada en todo este campo es monótonamente proporcional a ninguna otra cosa. No por nada Joel Spencer (2000) escribió todo un libro sobre la lógica extraña de los grafos aleatorios; las grillas regulares (o cualesquiera otras estructuras) son por igual sorprendentes.

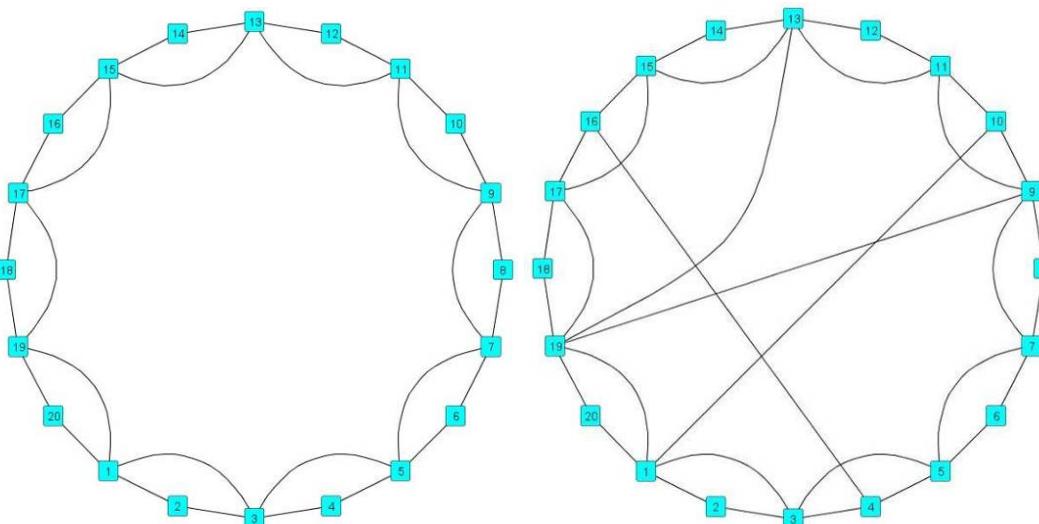


Figura 9.2 – Grilla regular y grilla regular SW re-cableada  
Graficado por el autor en VisOne

Cuando se razonan las explicaciones del caso, se descubre que en la estructura de las redes al azar hay algo importante que está fallando. Si bien estas redes son modelos más aceptables de los mundos pequeños que las grillas regulares, no dan cuenta de una propiedad esencial de las redes en la vida real: los amigos de los amigos de uno tienden a ser amigos entre sí; esta es la propiedad de conglomerado [*clustering*], que en una red aleatoriamente estructurada no sólo es improbable sino taxativamente imposible. En efecto, en un grafo al azar la probabilidad de que dos amigos de *A* sean amigos entre sí no es mayor

que la que tienen de ser amigos dos personas cualesquiera de la población mundial, estatal o lo que fuere. La vida es diferente. Las redes verdaderas poseen además cualidades de correlación de grados [*assortativity*]<sup>50</sup> y fractalidad que las redes aleatorias no poseen, como habrá de verse en el próximo apartado (Xulvi-Brunet y Sokolov 2005). De esto se desprende una conclusión importante: el efecto de pequeños mundos no es un emergente obligado de las propiedades formales de la red, ni algo que sólo existe en la mirada del observador, sino el resultado de un proceso que (si bien está constreñido por coacciones parecidas a las que definen, por ejemplo, al número de Ramsey)<sup>51</sup> sólo se explica a la luz de la forma en que funcionan las relaciones, sean ellas humanas o de otro orden.

Aunque las redes de Watts tampoco se encuentran en la vida real, su propuesta significó un gran avance en la comprensión de los pequeños mundos. Watts demostró, en efecto, que hay dos conceptos importantes que definen un mundo pequeño: una separación global pequeña y un alto *clustering* local. Lo primero se puede medir mediante la longitud del camino promedio [*LC*], la cual expresa el número promedio de intermediarios entre todos los pares de actores de la red; el coeficiente de *clustering* [*CC*], mientras tanto, mide la fracción promedio de colaboradores o amigos de un actor que son colaboradores o amigos entre sí (Holland y Leinhardt 1971; Feld 1981). Para determinar si una red es o no un mundo pequeño, el modelo de Watts compara su *LC* y su *CC* con los de un grafo aleatorio del mismo tamaño. Cuanto más cerca de 1 se encuentre la razón entre el *PL* de la red y el del grafo ER y cuanto más la razón de *CC* exceda la unidad, más marcada será la naturaleza de pequeño mundo de la red en cuestión. Poco después Newman, Strogatz y Watts (2001) elaborarían las correcciones correspondientes para el cálculo del *LC* y del *CC* en redes aleatorias bipartitas, un aporte de gran interés técnico pero que no se ha inspeccionado aquí dado el carácter puramente teórico de las redes involucradas. Pero aun en ellas el refinamiento de la idea de pequeños mundos y *clustering* fue una novedad significativa.

Nada de todo esto aparece en la teoría de redes del siglo XX, aunque algo ya se presentía. Tan tarde como en 1994 y hacia el final de su libro habían escrito Wasserman y Faust, perplejos:

Muchos investigadores han mostrado, utilizando estudios empíricos, que los datos de las redes sociales poseen fuertes desviaciones de la aleatoriedad [*randomness*]. Esto es, cuando uno analiza tales datos utilizando modelos de línea de base o modelos nulos que presuponen diversos tipos de aleatoriedad y tendencias específicas que deben surgir en tales datos (tales como igual popularidad, falta de transitividad y no reciprocidad), los datos a menudo están en desacuerdo con las predicciones que pueden hacerse a partir del modelo (Wasserman y Faust 1994: 556).

Los autores señalan que muchos investigadores en ciencias sociales creen que esas desviaciones de la aleatoriedad son causadas por la presencia de patrones estructurales (tales como popularidad diferencial, transitividad o tendencias hacia la reciprocidad de relacio-

<sup>50</sup> La tendencia de nodos de alto grado a conectarse a otros de similar condición. *Dissortativity* es la tendencia de nodos de alto grado a conectarse a otros de baja graduación. Ambas medidas a menudo se expresan como un coeficiente o una correlación entre ambas clases de nodos.

<sup>51</sup> Véase más arriba, pág. 55.

nes) que han sido conocidas por años en redes sociales. Algunos de esos patrones han sido estudiados por medio de conceptos de conglomerados y tríadas. Pero esa es otra cuestión a tratar más adelante.

**Consecuencia n° 7:** La primera lección a sacar aquí, epistemológicamente hablando, es que el azar es un pobre modelo de las estructuras de red que se encuentran en la vida real; más todavía, lejos de constituir una heurística útil, el azar es en estos escenarios un modelo inhibidor que impide abordar y comprender estructuraciones esenciales de la realidad. Las estructuras de los pequeños mundos son todo lo contrario al ruido blanco; son además configuraciones tan robustas como delicadas, invisibles al muestreo y a la percepción sincrónica. Dado que una sensible mayoría de los métodos estadísticos en diversas disciplinas presuponen que la muestra de base está regida por el azar y es representativa del conjunto, corresponde tal vez repensar o tomar con extremada prudencia dichos métodos cuando de redes y complejidad se trata.

La siguiente lección, no menos importante, consiste en haber aprendido que en los sistemas regidos por la complejidad las propiedades no siempre evolucionan proporcionalmente al número de elementos que los componen. Más no es ni mejor ni más complejo. En dinámica no lineal los sistemas llamados caóticos son casi siempre de muy baja dimensionalidad, sumando típicamente dos o tres entre variables y parámetros. En estos sistemas existen comportamientos que no resultan más complejos si el número de elementos es más grande, si las incógnitas se multiplican o si se introduce aleatoriedad (Reynoso 2006a: 267-290).

En los albores del ARS antropológico Barnes (1954) sostenía que en las sociedades de modesto tamaño el número de pasos entre dos personas cualesquiera es muy pequeño, mientras que en las sociedades mayores es una cifra muy grande o indefinida. Igual que sucede en unos cuantos comentarios disciplinares contemporáneos sobre la globalización, la afirmación de Barnes no se basaba en ninguna observación, cálculo o inferencia formal. Barnes dijo, en síntesis, lo que le parecía, lo que debería invitarnos a pensar en todas las ocasiones en las que los antropólogos formulan opiniones, o incluso construyen teorías enteras, basadas simplemente en lo que en el calor de la discusión les parece plausible.

Muchas observaciones, inferencias y cálculos mediante, ahora sabemos que los números que miden los grados de separación en las sociedades contemporáneas y los mundos globales son apenas un poco mayores que los que se encuentran en la aldea, si es que no son idénticos o quizás más pequeños todavía. Esto no significa, empero, que la antropología pueda pasarse del estudio cara a cara de los hijos de Sánchez o de Kiriwina a la investigación global o multisituada sin tener que incorporar nada nuevo en el camino; por el contrario, toda vez que las propiedades de las redes contradicen tan fieramente al sentido común, conviene más bien mirar cuidadosamente en torno, resignarse a un duro aprendizaje y extremar el alerta.

Los nuevos saberes en torno de las redes, en fin, han puesto en crisis ideas en torno de la cantidad, el crecimiento y la proporción que de Aristóteles en adelante se pensaban inmutables. En una época los grandes números encarnaban el terror de las ciencias; hoy en día,

en una época de descubrimientos tan intensa como pocas veces se ha dado, se sabe que incluso las más inmensas de las redes albergan en su estructura pequeñeces y simplicidades hace poco imposibles de presuponer y también a la inversa. La complejidad no es entonces de cabo a rabo correlativa al tamaño; ella posee propiedades que no son necesariamente del orden de la monotonía en el tiempo o la homogeneidad en el espacio y que comenzamos a interrogar ahora.

## 10 – Redes IE: Complejidad, fractalidad y principio de San Mateo

Las redes han surgido recientemente como un tema unificador en la investigación sobre sistemas complejos [...]. No es coincidencia que las redes y la complejidad estén tan densamente entrelazadas. Cualquier definición futura de un sistema complejo debe reflejar el hecho de que un sistema tal consiste en muchos componentes interactuando mutuamente. [...] En sistemas verdaderamente complejos cada uno de ellos tiene una identidad única. La primera pregunta a formularse sobre ese sistema es ¿con qué otros componentes interactúa un componente dado? Esa información de la totalidad del sistema se puede visualizar como un grafo, cuyos nodos corresponden a los individuos del sistema complejo en cuestión y las aristas a sus interacciones mutuas. Tal red puede pensarse como la columna vertebral del sistema complejo.

Maslov, Stephen y Allon (2003: 168)

En los comienzos del pensamiento reticular y en la teoría de grafos temprana las redes se consideraban como si fueran regulares o euclidianas en aras de la simplicidad; más tarde, en cuatro de las últimas cinco décadas, la ciencia trató la mayor parte de las redes empíricas, siguiendo a Erdős y Rényi, como si se formaran al azar. Podrá decirse que fue un mal necesario; la relativa simplicidad de esta estrategia hizo que floreciera la teoría de grafos y que surgiera una rama de las matemáticas especializada en redes aleatorias. Las redes ER son de potencia baja pero exponenciales al fin: tienen un pico en un valor promedio y su caída es abrupta. Como ya se ha visto, en este modelo todos los nodos tienen aproximadamente la misma cantidad de vínculos, lo que resulta en una distribución de Poisson en forma de campana, como se muestra en la figura 10.1 (b). Todos los conjuntos de vértices que no sean demasiado pequeños se comportan además de la misma forma, casi como si el grafo fuera regular (Bollobás 2001: 46).

En 1998 Albert-László Barabási, Eric Bonabeau, Hawoong Jeong y Réka Albert se embarcaron en un proyecto para trazar el mapa de la Web, pensando que iban a encontrar una red aleatoria. Las mediciones, empero, refutaron esa expectativa: la totalidad de la Web se sustentaba en unas pocas páginas altamente conectadas, que en el modelo se identificaron como *hubs*; la gran mayoría de los nodos, comprendiendo más del 80% de las páginas, tenía poquísimos vínculos, menos de cuatro. Entre ambos extremos estaban representadas todas las frecuencias posibles, o casi. Contando el número de páginas que tienen exactamente  $k$  vínculos, resultó evidente que la distribución seguía un patrón de ley de potencia: la probabilidad de que un nodo estuviera conectado a  $k$  otros nodos era proporcional a  $1/k^{\alpha}$ . Cuando hay una ley de potencia, también se manifiesta independencia de escala, como después se verá: no hay una medida típica, ni hay valores promedios que describan el conjunto; para la estadística tradicional, esos sistemas son casi intratables

porque ninguna técnica de muestreo puede generar un subconjunto isomorfo con (o representativo del) conjunto y porque cualquier prueba estadística convencional resultaría incongruente.<sup>52</sup> Las redes IE, asimismo, obedecen leyes de escala que son características de los sistemas que se auto-organizan.

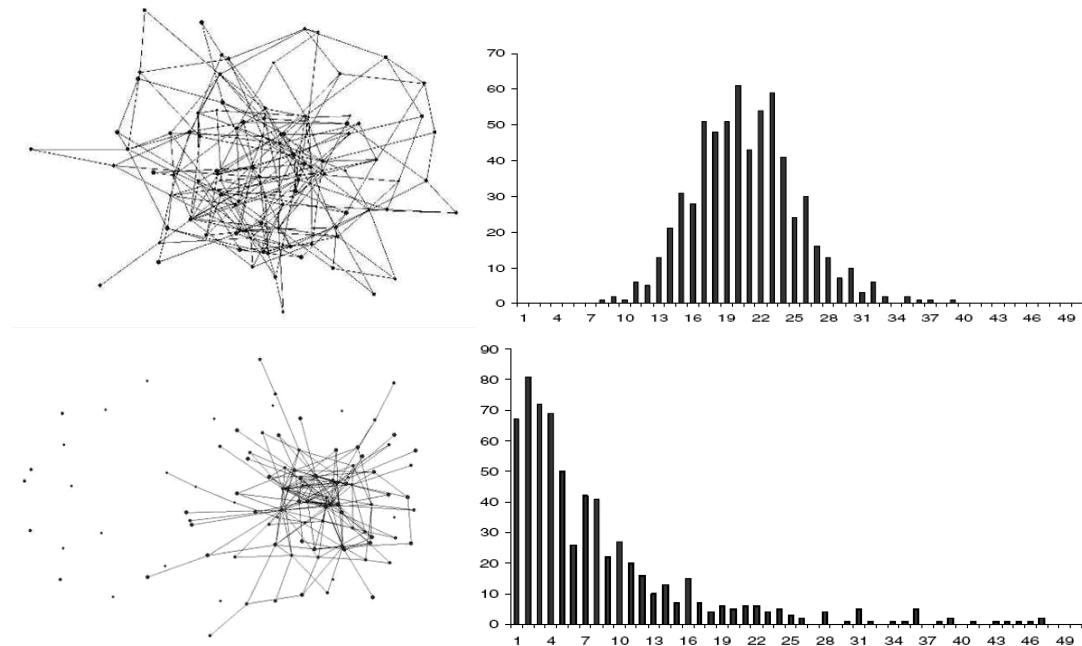


Figura 10.1 – Red aleatoria (a, b) y red independiente de escala (c, d)  
Diseño del autor en Pajek y graficación en Microsoft® Excel™

Hacia fines del siglo XX resultaba indudable que se había descubierto una nueva clase de red, menos “teórica” y mucho más conspicua en la vida real que la de Erdős y Rényi. La expresión “redes independientes de escala” [*scale-free networks*] fue acuñada por Barabási para referirse a ella. El centro neurálgico de las investigaciones en redes IE fue desde el principio la Universidad de Notre Dame en Indiana, donde Barabási dirige un activo grupo de investigación que ha desarrollado el programa Network Workbench; éste se presenta como una “herramienta para el análisis, modelado y visualización de redes en gran escala para la investigación en biología médica, ciencias sociales y física”.

Si se examina retrospectivamente la historia de las redes y los grafos (como es costumbre hacerlo cuando se impone una idea nueva) se verá que la distribución de ley de potencia aparece una y otra vez desde fechas muy tempranas. Ya en la década de 1920, Alfred Lotka (1926) afirmaba que el número de citas en la literatura académica seguía la curva propia de esa ley. Otras investigaciones pioneras que reflejaban esa misma distribución eran la de Herbert Simon (1955) y la del inefable George Zipf (1949), cuyos textos abordaré luego con mayor detenimiento. Poco antes del hallazgo de Barabási, Nigel Gilbert

<sup>52</sup> La estatura promedio o normal de un adulto (en una distribución que es sin duda gaussiana) debe ser algo así como el término medio entre la de Robert Pershing Wadlow (2,72 m, según el Guinness Record) y la de Edward Niño Hernández (70 cm) algo así como 1,71 m. La fortuna promedio, en cambio, no es posible que sea la de Bill Gates sumada a la de un mendigo Digambara de la India, dividido por dos.

(1997), de la Universidad de Surrey, sugirió un modelo probabilístico que daba sustento a la “ley de Lotka”. La idea estaba ahí, dando vueltas en el aire; era una buena idea, y es por eso que son tantos los que hoy reclaman ser sus progenitores.

Tras la primera identificación oficial de las redes complejas comenzó a hacerse evidente que las redes de este tipo aparecían en los contextos lógicos y materiales más disímiles: relaciones sexuales, agendas telefónicas, nexos sintácticos entre palabras en un texto o discurso, citas bibliográficas entre miembros de la comunidad académica, colaboraciones en reportes de investigación, alianzas tecnológicas, relaciones entre actores de cine, sinapsis neuronales, contactos entre personas en una organización, cadenas alimentarias, conexiones entre organismos vinculados al metabolismo o proteínas reguladoras, propagación de enfermedades y virus informáticos (Barabási y Bonabeau 2003; Liljeros y otros 2003).

Los investigadores de Notre Dame y otros que se unieron al estudio descubrieron en esta clase de redes IE un número inesperado de propiedades. Tienen, por empezar, una extraordinaria robustez: se puede destruir el 80% de los nodos que el resto seguirá funcionando. Pero también son desproporcionadamente vulnerables a ataques selectivos: una eliminación del 5 al 10% de los *hubs*, que son poquísimos en relación al tamaño de la red, alcanzaría para hacer colapsar al sistema o quebrar su unidad. Artículos aparecidos en el momento de explosión de estos hallazgos en *Nature* y en *Science* promovían afirmaciones aun más extremas: “Internet es robusta pero frágil. El 95% de los vínculos se pueden remover y el grafo seguirá conectado. Sin embargo, la eliminación planeada de 2,3% de los *hubs* desconectaría la Internet”. Aunque esas evaluaciones se saben hoy exageradas,<sup>53</sup> el modelo LE no sólo sigue en pie sino que permite conciliar el hecho que muchas redes reales presentan conglomerados o *clusters* jerárquicos, un factor que el modelo aleatorio ER no es capaz de tratar.

Se sabe además por simple observación que las redes IE surgen cuando a una red existente se van agregando nuevos nodos, y que éstos prefieren ligarse a otros que están bien vinculados. Esta vinculación selectiva se llama efecto de “el rico se vuelve más rico”, o principio de [San] Mateo, bautizado así por el sociólogo Robert Merton muchos años atrás (Barabási 2003: 79-92; Wang y Chen 2003: 14; Watts 2004a: 108, 112).

Examinando el sistema científico de recompensas, Merton observó que los científicos eminentes obtienen un crédito desproporcionado por sus contribuciones, mientras que los que son relativamente desconocidos obtienen muchísimo menos por contribuciones comparables. La recompensa cae, en general, en manos de quienes ya son famosos. La referencia a [San] Mateo, proporcionada en el documento de Merton sin mención de capítulo

<sup>53</sup> Rick Durrett ha demostrado que esas cifras no se sostienen. Si se elimina el 95% de los vínculos Internet sigue conectada, pero suponiendo que la fracción de nodos del componente gigante es  $5,9 \cdot 10^{-8}$ , si inicialmente estaban conectados seis mil millones de usuarios luego que se eliminan los vínculos sólo 360 podrán consultar su email. El otro resultado depende de que en la distribución de grado se presuma una ley de potencia fija para todos los valores de  $k$ , lo que fuerza  $p_k \sim 0,832k^{-3}$ . Sin embargo, si el grafo se generó mediante un modelo de agregación preferencial con  $m=2$ , entonces  $p_k \sim 12k^{-3}$ , y uno tiene que eliminar el 33% de los *hubs* (aunque suene drástico se trata de un conjunto de pequeña cardinalidad). Véase Durrett (2007: 1-2, 17-18); Klau y Weiskircher (2005).

y versículo es la que dice que “Al que ya tiene le será dado, y tendrá en abundancia; pero al que no tiene incluso lo que tiene le será quitado” (Merton 1968: 68; Mateo 13 §12). Entre paréntesis, señalo que la metodología de Merton en ese ensayo se basa en un anecdotalista impresionista y en una búsqueda a ojo que nada tienen que ver formalmente con análisis de redes o con modelos matemáticos. En base a metodologías más refinadas, Barabási llegó a concluir que “el resultado más sorprendente del mapa de la Web fue la completa ausencia de democracia, juego limpio y valores igualitarios en ella” (2003: 54). Naturalmente, el mismo juicio se aplica a todas las redes que comparten la misma clase de distribuciones.

Dado que el principio de Merton-Barabási refuta de plano la idea de las redes como el lugar de la justicia distributiva, se hace preciso interpelar un mito insidioso que se ha apoyado en la literatura *new age* de divulgación y en cierta filosofía posestructuralista que se basa primordialmente en aquélla. En *La trama de la vida* Fritjof Capra (2003) codifica una visión reticular que niega dignidad a las jerarquías y que exalta el igualitarismo y la benevolencia de las redes que se auto-organizan sin necesidad de un gobierno o jerarquía vertical. Escribe Capra:

La visión de los sistemas vivos como redes proporciona una nueva perspectiva sobre las llamadas jerarquías de la naturaleza. [...] [L]a trama de la vida está constituida por redes dentro de redes. En cada escala y bajo un escrutinio más cercano, los nodos de una red se revelan como redes más pequeñas. Tendemos a organizar estos sistemas, todos ellos anidando en sistemas mayores, en un esquema jerárquico situando los mayores por encima de los menores a modo de pirámide invertida, pero esto no es más que una proyección humana. En la naturaleza no hay un “arriba” ni un “abajo” ni se dan jerarquías. Sólo hay redes dentro de redes (Capra 2003: 54-55).

Para alguien que cita a Bateson como su referencia cardinal (cf. Capra 2003: 38, 72-74, 80, 174, 315-318) resulta inexplicable que se reconozca el carácter construido de las jerarquías (“una proyección humana”) mientras se silencia el hecho de que las redes y sus anidamientos son construcciones igualmente arbitrarias, mapas de un territorio que por definición no son sino una clase entre las muchas clases de mapas posibles. Alcanza con pensar en las redes de trata de blancas o de prostitución infantil, o en las de tráfico de esclavos, armas y drogas para comprobar, por otro lado, sin necesidad de remitirnos a la cruel constatación del principio de [San] Mateo, que no necesariamente hay en las redes (por contraste con los árboles o las jerarquías) una bondad, una armonía con la naturaleza o un igualitarismo inherentes.

Lo que Capra hizo con sus redes, Deleuze y Guattari lo hicieron con su modelo rizomático, al que presentan como si fuera lo opuesto a las jerarquías, a las estructuras en árbol, a las estructuras centradas o a las estructuras sin más. Dicen los autores:

A [los] sistemas centrados, los autores oponen sistemas acentrados, redes de autómatas finitos en los que la comunicación se produce entre dos vecinos cualesquiera, en los que los tallos o canales no preexisten, en los que los individuos son todos intercambiables, definiéndose únicamente por un estado en un momento determinado, de tal manera que las operaciones locales se coordinan y el resultado final o global se sincroniza independientemente de una instancia central (Deleuze y Guattari 2006: 22).

En uno de los gestos filosóficos más débilmente fundamentados en las postimerías del siglo XX, Deleuze y Guattari (aunque alegan disentir de las dicotomías) terminan contraponiendo (*a*) una concepción arbórea, jerárquica, ramificada, como la que presuntamente encarnan Chomsky, la lingüística, el estructuralismo, la lógica binaria, el psicoanálisis y la informática y (*b*) la idea de rizoma, encarnación de la multiplicidad, de los agenciamientos colectivos, de las redes de autómatas finitos igualitarios, de los procesos que se muestran refractarios a la codificación y a las genealogías (*Op. cit.*: 9-32).

Lo más preocupante de esta pirueta discursiva es la construcción axiológica de la contrapartida del rizoma: las estructuras arbóreas, figuras de paja identificadas con el plan de las gramáticas y demasiado prestamente identificadas con el mal. Dejando de lado las inexactitudes proliferantes, es evidente que esas etiquetas deconstrucionistas de celo justiciero, más paranoides que esquizos, incurren en un exceso de metáfora: ni los diversos géneros gramaticales son sustancialmente arbóreos, ni cuando se orquestó la trama rizomática Chomsky utilizaba ya gramáticas, ni las gramáticas generativas modelaron otra cosa que no fuera un fragmento de la competencia lingüística de los hablantes (la cual está muy lejos de ser impuesta por una burocracia tiránica o una academia totalitaria, pues se supone que es innata). Las gramáticas formales del primer período chomskiano y las gramáticas normativas del buen hablar que hemos sufrido en la escuela elemental comparten por desdicha un mismo nombre; pero es ofensivo a la inteligencia de la comunidad científica que alguien insinúe que aquellas ideas han sido por tal motivo igual de estúpidas que éstas.

Lo cierto es también que sólo uno de los cuatro tipos chomskyanos (los autómatas de almacén que procesan lenguajes independientes de contexto) admite representarse mediante árboles (Reynoso 2010: 159-176); aun así, ésa no es más que una representación alternativa, un recurso pedagógico entre los muchos que existen. No es imperioso usar precisamente árboles para diagramar esa gramática: se puede optar por matrices, álgebra de procesos, reglas de sustitución, listas recursivas, formas de Backus-Naur, grafos existenciales, lenguaje en prosa y hasta redes. Las piezas distintivas de las tempranas gramáticas chomskyanas no son tampoco los árboles (que se remontan al estructuralismo de Zellig Harris) sino las reglas de transformación, las cuales son imposibles de expresar mediante diagramas arbolados.<sup>54</sup> Los lenguajes independientes de contexto son, como todo el mundo debería saberlo, una entre las clases de lenguajes formales; de ningún modo constituyen un modelo del lenguaje natural o del *logos* como racionalidad. Ni por asomo tampoco los términos superiores en una estructura arbolada (“Síntagma Nominal”, pongamos por caso) ejercen alguna forma de violencia política sobre los que se encuentran por debajo (“Artículo” + “Nombre”); la idea de “subordinación” tiene aquí que ver con procedimientos de sustitución o con pertenencia a conjuntos, antes que con hegemonías dictatoriales o subalternidades gramscianas.

---

<sup>54</sup> La contribución de Chomsky (1956: 120-121) consistió precisamente en haber cuestionado la capacidad de las reglas generativas como modelos adecuados de la competencia lingüística.

Ni duda cabe que Deleuze y Guattari han sido pródigos en ideas brillantes. Pero el modelo rizomático ostenta muchos otros flancos débiles que no solamente afectan a su lectura de la lingüística o de las ciencias formales (cuya miopía en esta corriente filosófica ha sido proverbial) sino que tocan de lleno a su visión de la historia científica y la antropología. En contraste con un Occidente arbóreo y absolutista, por ejemplo, Deleuze y Guattari (maoístas en ese entonces) imaginan una China y una India en las que los tiranos son magnánimos y refinados y el propio árbol de Buddha deviene rizomático (2006: 24). Pero hasta la ejemplificación del caso resulta chocante por su falta de competencia en el tratamiento de la historia cultural y por el escamoteo de datos esenciales; pues fue en la India de la quema de viudas, del Código de Leyes de Manu y de la jerarquía de castas más despiadada que se conoce donde se originó el *Aṣṭādhyāyī* [अष्टाद्यायी] de Pāṇini, la madre de todas las gramáticas. Y fue el Celeste Imperio, al que se pinta imbuido de una cosmovisión rizomática de ensueño, el lugar al que desde el siglo VII se llevaban esclavos del Zenj (la actual Zanzíbar) y en el que se concibió el Yingzao Fashi [營造法式], la primera gramática arquitectónica de la historia (Oliver 1975: 192; Li 2001).

Si se pretende que la “jerarquía” de un sistema taxonómico de inclusión de clases y la de un sistema político totalitario son la misma cosa (igualación que no hace justicia ni a las abstracciones de la lógica ni a las materialidades de la política), entonces es igualmente inaceptable la presunción de que sólo en Occidente han habido sistemas linneanos de múltiples niveles, “significantes despóticos” afines a los “modos logocéntricos” del saber (Pinzón Castaño, Suárez Prieto y Garay Ariza 2004: 20); por el contrario, la antropología cognitiva ha testimoniado la existencia de taxonomías, partonomías, árboles binarios y claves clasificadorias en la tradición oral y escrita de la virtual totalidad de las lenguas, las culturas y los campos semánticos, mucho más allá y desde mucho antes de que el ethos conceptual de Occidente llegase siquiera a plasmarse (Tyler 1978; Reynoso 1986; D’Andrade 1994).

En la misma tesis, nada hay tampoco en un modelo gramatical que implique jerarquía en el sentido de un poder opresor ejercido desde “arriba” hacia “abajo”; menos todavía hay ecos de esa implicación en los árboles genealógicos, en los diagramas antropológicos de parentesco o en el esquema de desarrollo evolucionario. Tanto en estos grafismos como en la topología de los grafos la orientación del dibujo se sabe convencional: un artificio que varía, además, según la dirección en que se escriba y lea la escritura circunstancial de la lengua que se trate o la escritura de los grafos con los que se las acompaña. No es verdad tampoco que los mecanismos gramaticales generen necesariamente lenguaje y que los contamine por ello un pecado original de logocentrismo. Mientras una gramática (un algoritmo generativo o generativo-transformacional, a fin de cuentas) puede engendrar tanto árboles como hierbas, laberintos, embaldosados, espirales, música, muebles, rizomas, casas o ciudades, una colección de autómatas finitos igualitarios se puede usar (y de hecho es lo que se usa preferentemente) para modelar las formas más crudas de segregación (Sakoda 1971; Schelling 1969).

El hecho más inoportuno para la ideología rizomática, por último, radica en que entre árboles y redes no existe necesariamente la contraposición que sus promotores postulan.

Desde la teoría de grafos en más, los árboles son simplemente grafos (o redes) en las que no se presentan ciclos o circuitos cerrados: una clase especial de un conjunto que abarca ambas ideas. Y por añadidura en todo grafo (en toda red, por ende) se aloja un número crecido, usualmente enorme, de árboles abarcadores y de todo género de estructuras arbóreas: un rasgo presente en todos los ejemplares del conjunto (Harary 1969: 32-42; Wilson 1996: 43-59; Balakrishnan 1997: 31-34; Bollobás 2001: 8-14). Volveré a tratar de las ingenuidades de la oposición entre árboles y redes algo más adelante (pág. 256).

Así como estas dicotomías caen estrepitosamente en crisis, del mismo modo se revelan impropios otros contrastes consagrados en el folklore de las corrientes humanísticas. Contradiciendo a Clifford Geertz (2000: 135), no son pocos los que creen que los universales predicados en las ciencias humanas no necesariamente conciernen a ideas consabidas o triviales, como habrá de entreverse en las páginas próximas y de ahí en más: es la separación de las ciencias en duras y blandas lo que cabe poner más bien en tela de juicio. Desde Vilfredo Pareto en adelante, han sido las ciencias sociales las que caracterizaron la independencia de escala con mayor exactitud y adecuación explicativa. Una vez que se especificaron las propiedades de las redes IE y se fueron identificando en manifestaciones de distinta materialidad, los descubrimientos y las heurísticas para avanzar en la comprensión de esta clase de redes en las ciencias exactas y en las ciencias sociales (antropología inclusive) sobrevinieron en tropel.

	<b>Red</b>	<b>Tipo</b>	<b>Dimensión <math>n</math></b>	<b>Assortativity <math>r</math></b>	<b>Error <math>\sigma_r</math></b>	<b>Referencia</b>
Social	Coautoría en física	No dirigida	52.090	0,363	0,002	Newman
	Coautoría en biología	No dirigida	1.520.251	0,127	0,0004	Newman
	Coautoría en matemáticas	No dirigida	253.339	0,120	0,002	Grossman
	Colaboraciones de actores	No dirigida	449.913	0,208	0,002	Watts
	Directores de compañías	No dirigida	7.673	0,276	0,004	David/Yoo
	Relaciones entre estudiantes	No dirigida	573	-0,029	0,037	Bearman
	Agendas de email	Dirigida	16.881	0,092	0,004	Newman
Tecnológica	Red de energía eléctrica	No dirigida	4.941	-0,003	0,013	Watts
	Internet	No dirigida	10.697	-0,189	0,002	Chen/Chang
	World Wide Web	Dirigida	269.504	-0,067	0,0002	Barabási
	Dependencias de software	Dirigida	3.162	-0,016	0,020	No especif.
Biológica	Interacciones de proteínas	No dirigida	2.115	-0,156	0,010	Jeong
	Red metabólica	No dirigida	765	-0,249	0,007	Jeong
	Red neuronal	Dirigida	307	-0,226	0,016	Watts
	Estuario de Ythan	Dirigida	134	-0,263	0,037	Huxham
	Cadena de Little Rock lake	Dirigida	92	-0,326	0,031	Martinez

Tabla 10.1 – Coeficientes de assortativity – Basado en Newman (2003: 7)

Otras propiedades de las redes IE vuelven a desafiar el sentido común: por razones que aún se siguen discutiendo, el valor de  $n$  en el término  $k^n$  de la ley de potencia tiende a caer siempre entre 2 y 3; dada la estructura de estas redes, además, cualquier nodo está conectado con cualquier otro con muy pocos grados de separación, alrededor de seis cuando los nodos son unos cuantos cientos de miles, no más de diecinueve entre cualesquiera de los cuatro mil millones de páginas de la Web. Por otra parte, en una red IE es posible encontrar nodos cuyo valor de conectividad supera varias veces el número promedio; esto no es propio de las distribuciones aleatorias (como la que rige la tabla de estatu-

ras de una población) donde nunca se encontrará una persona que sea mil o un millón de veces más alta que otra. Dada la distribución peculiar de estas redes, muchas de las técnicas estadísticas, incluso muchas de las que vienen incluidas en los programas de redes (muestreo, análisis de varianza, coeficientes de correlación) son inadecuadas para lidiar con ellas, puesto que presumen distribuciones normales, conservación de la simetría, linealidad y regímenes estables; esto es algo que las ciencias sociales han estado ignorando hasta ahora. Cuando digo *ahora* intento significar aproximadamente eso: hasta los últimos dos o tres años del siglo XX, para ser precisos.

En estas redes IE también es irregular el comportamiento dinámico. Las teorías clásicas de la difusión, que se desarrollaron durante décadas en estudios de mercadeo y epidemiología, predicen un umbral crítico de conectividad para la propagación de un contagio, rumor o novedad a través de una población. Para que un virus, una noticia, un motín o lo que fuere se difunda debe superar ese umbral; de otro modo terminará extinguiéndose. Pues bien, hace poco se demostró que en las redes IE el umbral es cero, lo cual implica que cualquier elemento contagioso encontrará la forma de dispersarse y persistir en el sistema, por más que su capacidad de contagio sea débil (y sobre todo si lo es, según dicen). Esto tiene consecuencias drásticas para el planeamiento de campañas de vacunación, distribución de ayuda humanitaria en situaciones de emergencia, tácticas de insurgencia o contrainsurgencia u otros escenarios por poco que se sepa uno manejar con estas redes de manera adecuada: tomar como blanco unos pocos *hubs* más conectados es mucho más efectivo y económico que aplicar la solución a un porcentaje enorme de nodos. Inmunizando los *hubs*, por ejemplo, podría impedir que se propague una epidemia. Es fácil imaginar que este escenario no sólo concierne a la medicina y sus dilemas disciplinares; por ello es que su relevancia para otros dominios, objetivos y efectos los dejo librados a la imaginación.

Relativamente al margen, o más bien enfrentados a las investigaciones en torno de la independencia de escala, los estudios de las redes complejas abordaron otras propiedades que son parcialmente universales, dado que se presentan con mayor claridad y contundencia en las redes sociales que en otras clases de redes. Uno de los que ha indagado esas propiedades más inquietamente y con mayor apertura ha sido Mark Newman. Este investigador se ha mostrado frío ante los estudios que se preocupan por analizar las redes con distribuciones de ley de potencia,  $p_k \approx k^{-\tau}$ , aduciendo que ellas son problemáticas por cuanto sus distribuciones cruciales poseen una media divergente. Otros autores en su misma línea que han propuesto medidas o métodos de clasificación alternativos antes o después de Newman son figuras de la talla de Sunetra Gupta, Roy M. Anderson y Robert May (1989) y Marian Boguñá, Romualdo Pastor-Satorras y Alessandro Vespignani (2002).

Como quiera que sea, las investigaciones de Newman lucen brillantes a pesar de su acendrado conservadurismo o sus intereses de escuela; a mi juicio, éstos lo impulsan a confiar demasiado en los modelos basados en grafos aleatorios o en principios estocásticos de construcción, tales como cadenas de Márkov o métodos de Montecarlo, que ya empiezan a sonar un poco improprios. En su artículo sobre patrones de mezcla en redes, Newman

comienza diciendo que los estudios recientes de la estructura de las redes se han concentrado en un número de propiedades que parecen ser comunes a muchas redes y que se puede esperar que afecten el funcionamiento de los sistemas reticulares de una manera fundamental. Entre ellas se encuentran el efecto de los pequeños mundos, la transitividad o *clustering* y las distribuciones de grado. Otras que resultan ser igual de importantes son la resiliencia ante eliminación de nodos, la navegabilidad o buscabilidad, las estructuras de comunidades y las características espectrales. El objetivo de Newman (2003b) es analizar las correlaciones entre propiedades de nodos adyacentes que se conoce en ecología y epidemiología como “mezcla clasificatoria” [*assortative mixing*] o más simplemente como correlaciones positivas.

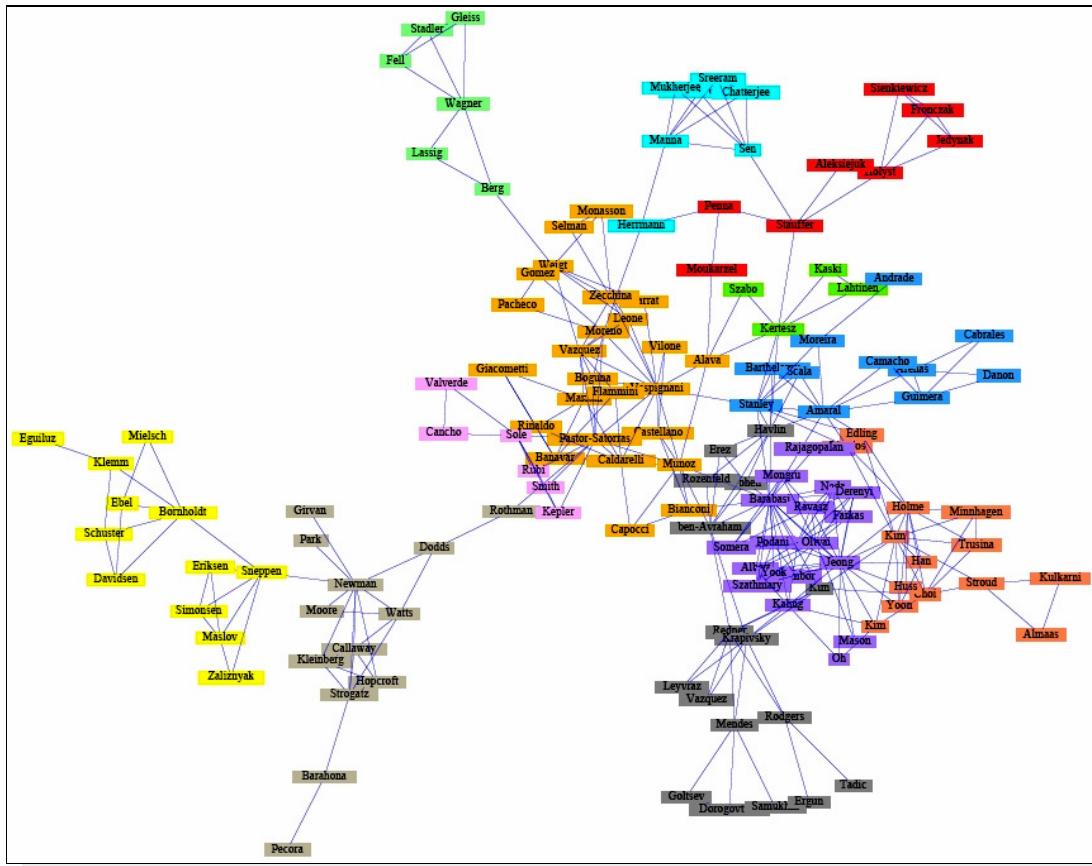


Figura 10.2 – Redes de autores que estudian redes (Newman y Park 2003: 6).

En el estudio de las redes sociales se sabe que los patrones de conexión de las personas en una sociedad no son indiferentes a la clase de personas de que se trate. Los patrones de amistad entre individuos, por ejemplo, se encuentran afectados por la lengua, la raza, la clase social, la tribu urbana o la edad de las personas. Si la gente prefiere asociarse con otros que son como ellos, se dice que la red muestra una mezcla o una coincidencia clasificatoria; en caso inverso se dice que la mezcla es des-clasificatoria [*disassortative*]. La mezcla clasificatoria puede definirse entonces como la tendencia que muestran los vértices en las redes a conectarse preferencialmente con otros vértices que son parecidos a ellos en algún respecto.

Los resultados de la investigación de Newman (cuya rica urdimbre matemática no describiré por ahora) son de indudable interés. Él encuentra que casi todas las redes sociales muestran coeficientes de clasificadoriedad positivos mientras que todos los otros tipos de redes, incluyendo las tecnológicas y las biológicas, muestran coeficientes negativos o de desclasificadoriedad. Aunque hubiera sido precioso que los autores del bando IE y los cazadores de *assortativities* unieran criterios y esfuerzos, estas cuestiones no son sólo de importancia anecdótica; las cifras resultan primordiales en el diseño de proyectos aplicados de vacunación u otras acciones ante procesos epidémicos, distribución de provisiones en situación de emergencia y seguimiento, así como impulso o intercepción de procesos de todas las clases imaginables. En la figura 10.2 se muestran los efectos de mezcla y disyunción de los diversos equipos de investigadores que están trabajando en redes sociales complejas y que se mencionan en los capítulos circundantes; puede observarse que los miembros del clique de Newman (color gris, abajo a la izquierda) están a una distancia perceptiblemente mayor del club de los húngaros y pakistaníes que se concentran en torno de las distribuciones de ley de potencia liderado por Barabási (color violeta azulado, a la derecha).

Además del efecto de los pequeños mundos, de la mezcla clasificatoria, del umbral de percolación y de la robustez, cada investigación sistemática que se lleva a cabo descubre comportamientos impensados que obligan a reformular las hipótesis de trabajo o a quebrar convicciones hace tiempo instaladas en la comunidad. Una idea central en gestión de mercadeo y en investigación sobre procesos de difusión, por ejemplo, ha sido que los influenciadores son importantes en la formación de la opinión pública. Esa idea fue popularizada por Paul Lazarsfeld, Elihu Katz y sus colegas en el famoso modelo del “flujo de los dos pasos” que introducía formadores de opinión entre la influencia mediática y la población en general, suplantando al siempre dudoso modelo hipodérmico en las teorías de los medios de comunicación.

La investigación reciente ha demostrado que, por el contrario, las avalanchas de cambio en la opinión dependen menos de influenciadores poderosos que de cierta masa crítica mínima de individuos fácilmente influenciables, quienes a su vez impactan sobre otros de su misma condición. En algunos escenarios, ciertamente, los formadores de opinión son responsables de dramáticos efectos de cascada; pero los modelos matemáticos más elaborados parecen comprobar que esas instancias son más la excepción que la regla: en la mayor parte de los casos, los influenciadores son sólo un poco más importantes que los individuos comunes (Watts y Dodds 2007). Lanzada hace apenas un par de años, las hipótesis de Watts y Dodds han alborotado el ambiente de las teorías de la influencia y la difusión; su conclusión, empero, se inclina a la prudencia.

Nuestro punto principal, de hecho, no es tanto que la teoría de los influyentes sea correcta o equivocada, sino que sus micro-fundamentos, por lo que queremos significar los detalles sobre quién influye en quién y de qué manera, requieren una articulación muy cuidadosa para que se pueda evaluar significativamente su validez (op. cit.: 456).

Dado que algunas redes son aleatorias (la red eléctrica o las carreteras de un país), otras en apariencia análogas son IE (la red de aeropuertos, Internet) y otras más son mixtas o

irregulares, el investigador deberá encontrar de qué clase de red se trata usando el ya familiar gráfico log-log: si la red es IE, el logaritmo del número de nodos contra el logaritmo del número de vínculos resultará en una línea recta (figuras 10.1-d y 11.2). Este notable patrón estadístico fue descubierto tempranamente por Felix Auerbach (1913), aunque por lo común su descubrimiento se atribuya a George Zipf (1949). La inclinación de esa línea mide la dimensión fractal y, según afirman muchos, la complejidad del sistema. La “cola” de una distribución de este tipo tiene una caída mucho más suave que la de una distribución en forma de campana, lo que quiere decir que hay en ellas mayor diversidad.

Las redes IE poseen también la propiedad de *scaling*: un sistema con esta propiedad no posee un tamaño óptimo (o típico), dado que sigue funcionando del mismo modo aun si nuevos elementos se unen al sistema; en esta propiedad se ve claramente cómo difiere, por ejemplo, un cuerpo humano de una ciudad. Las matemáticas de las redes IE son además muy simples y sus usos parecen ser innumerables; su marco teórico se vincula con problemáticas de auto-organización, criticalidad y percolación que se revisarán en los capítulos correspondientes.

•••

Antes de elaborar esas problemáticas, empero, hace falta explorar con algún detenimiento el problema de la fractalidad de las redes en general y de las redes sociales en particular. Se trata de un tema que comenzó a desarrollarse tardíamente, a despecho que los nexos entre las redes complejas y la geometría fractal salieran a la luz aquí y allá. Después de todo, fractales y redes poseen algunas importantes propiedades en común: distribución de [ley de] potencia, independencia de escala dentro de ciertos márgenes, criticalidad, auto-organización. El dilema, sin embargo, es que las redes complejas reales (las redes sociales, pongamos) no son por completo invariantes de longitud de escala o auto-similares; esta conclusión se origina en la propiedad de “pequeños mundos” de estas redes, la cual implica que el número de nodos se incrementa exponencialmente conforme crece el diámetro de la red; para una estructura que se supone que es auto-similar, sin embargo, ese crecimiento debería ser de ley de potencia. Los intentos de fractalización tempranos no desentrañaron fractales cabales en la estructura de las redes de la vida real, sino más bien seudo-fractales, multi-fractales, quasi-fractales, trans-fractales abstractos y otros eufemismos que intentaban mitigar las retorcidas paradojas de la topología y la dimensionalidad (Dorogovtsev, Mendes y Samukhin 2001; Dorogovtsev, Goltsev y Mendes 2002; Rozenfeld, Havlin y ben-Avraham 2007).

La ley de potencia y otros conceptos relacionados con las redes complejas se revisarán en los apartados siguientes. Mientras tanto, bastará decir que en los últimos años se han creado procedimientos que permiten comprobar efectivamente la auto-similitud de las redes complejas reales, y con ella su fractalidad. La bibliografía sobre esta temática proporciona además procedimientos sugerentes para incorporar ideas no reduccionistas de teoría de campo y física estadística en el estudio de las redes sociales. El método escogido ha sido particularmente ingenioso. ¿Cómo se puede hacer –se preguntaron Song, Havlin y Makse– para implementar el cálculo más simple e insospechable de dimensión fractal (el conteo de cajas) en un terreno tan aparentemente disímil de un objeto fractal natural como lo

es una red? ¿Cómo hay que hacer para cubrir una red con cajas de distintos tamaños?. La respuesta es simple: hay que dividir todos los nodos en grupos de modo que el camino más corto entre los nodos de un grupo sea casi de longitud  $l_B$ : éstas serán las cajas. Luego se arma el número de grupos más pequeño que sea posible (o una aproximación decente) y se repite para  $l_B \in [2, D]$ . El resultado de este procedimiento es asombroso: muchas redes bien conocidas (la WWW, redes metabólicas, la red de los actores de cine) muestran un *scaling* netamente fractal entre el número de cajas y su tamaño. Como si eso fuera poco, los autores utilizaron un procedimiento de renormalización haciendo colapsar cada caja en un nodo y vinculando cada uno de esos nuevos nodos entre sí cuando existía una conexión entre cualesquiera miembros de las cajas originales.

Las redes renormalizadas de esa manera resultaron ser también IE, con el mismo exponente de distribución de grado, independientemente de los tamaños de caja definidos en la renormalización (Song, Havlin y Makse 2005; 2006; Song, Gallos, Havlin, Makse 2007; ver más adelante cap. 13, pp. 193 y ss.; sobre el cálculo de la dimensión fractal cf. Reynoso 2010: 111-158). El hallazgo es sorprendente y cabe suponer que sus consecuencias para la teoría y la práctica serán significativas. Lo que cuenta al fin y al cabo es que en algunos respectos, a ciertos definidos niveles de escala y en escenarios críticos, las redes complejas son ya plenamente fractales. Cuál vaya a ser la productividad de esta constatación el tiempo lo dirá.

**Consecuencia n° 8:** Las polémicas en torno de las distribuciones [de ley] de potencia *versus* las propiedades de mezcla clasificatoria, o de los modelos deterministas *versus* los estocásticos han sido traídas a colación no tanto para forzar el voto de un eventual lector en favor de una u otra clase de modelos, sino para establecer un horizonte que sensibilice frente a las consecuencias de las decisiones que se toman en un diseño investigativo.

Si bien las investigaciones recientes desmienten que los árboles sean inherentemente o-presivos o que las redes favorezcan la igualdad, no es legítimo desentenderse de la dimensión política de la reticularidad. Más bien al contrario: las técnicas bien pueden ser neutrales, pero la teoría y la práctica nunca lo son. Si la pregunta a hacerse es qué se puede hacer, queda claro que toda decisión metodológica que implique una disyuntiva crítica debería acompañarse de una heurística que la oriente y de una elaboración experimental que la avale. La *political correctness* se siente aquí necesaria, como en todas partes, pero se sabe insuficiente, pues aquí es exactamente donde el sentido común y los saberes convencionales devienen ilusorios. En las ciencias de las redes complejas comienza a asentarse la percepción de la extraordinaria sensitividad de los sistemas a sus condiciones iniciales y del efecto que la más mínima modulación de sus parámetros ejerce sobre sus trayectorias; en este escenario las discrepancias entre un comportamiento y otro se originan las más de las veces en el reino de lo infinitesimal. Si el objetivo del trabajo científico no es sólo comprender la realidad sino contribuir a que ella cambie, en este punto es acaso donde finca la clave de la cosa: la distancia que media entre un razonamiento preciso y un problema intratable es la misma que separa un cálculo bien fundado de un diagnóstico impropio, o un buen gesto de intuición operativa de un infortunado paso en falso.

## 11 – Más allá del ruido blanco: Ley de potencia y análisis espectral

Las distribuciones de ley de potencia ocurren en un rango extraordinario de fenómenos. Además de las poblaciones de las ciudades, la intensidad de los terremotos, los cráteres de la luna, las tormentas solares, los archivos de computadora y las guerras, la frecuencia del uso de palabras en cualquier lengua humana, la frecuencia de ocurrencia de los nombres personales en la mayoría de las culturas, el número de trabajos que escriben los científicos, el número de citas que reciben los *papers*, el número de *hits* en las páginas de web, la venta de los libros, las grabaciones de música y casi cualquier mercancía a la venta, el número de especies en los taxones biológicos, los ingresos anuales de la gente y una enormidad de otras variables siguen distribuciones de ley de potencia.

Mark Newman (2006)

¿Cuál es la probabilidad de que alguien tenga dos veces tu estatura? ¡Esencialmente cero! La altura, el peso y muchas otras variables están distribuidas en funciones de probabilidad “dóciles” con un valor típico bien definido y relativamente poca variación en torno suyo. La ley gaussiana es el arquetípico de las distribuciones “dóciles”.

¿Cuál es la probabilidad de que alguien tenga el doble de tu fortuna? La respuesta depende por supuesto del monto de ella, pero en general hay una fracción no despreciable de la población que será dos, diez o incluso cien veces más adinerada que tú. Esto fue descubierto a finales del siglo [ante]-pasado por Pareto, por quien se ha llamado así la ley que describe la [distribución de] ley de potencia de las fortunas, el ejemplo típico de una distribución “salvaje”.

Didier Sornette (2006: 104)

Tenemos entonces que la distribución de numerosos valores de importancia crítica en el seno de las redes IE no es aleatoria, no es un ruido blanco o un polvo gris, elemental y amorfo, sino que posee una rica estructura. Matemáticamente, aunque simplificando un poco, la distribución propia de estas redes es lo que se denomina distribución  $1/f$  o ley de potencia [*power law*], en lo sucesivo LP. Una relación de LP entre dos magnitudes escalares  $x$  e  $y$  es una relación que se puede escribir de este modo

$$y = ax^k$$

donde  $a$  (la constante de proporcionalidad) y  $k$  (el exponente de la LP) son constantes. Puede decirse que este exponente es la característica principal de la distribución, pues describe de qué manera cambia ésta como función de la variable subyacente. Por ejemplo,

si el número de ciudades de cierto tamaño decrece en proporción inversa a su tamaño, el exponente es 1. Si decrece inversamente al cuadrado el exponente es 2, y así sucesivamente.

Hay diversas formas de escribir la misma relación, más o menos expresivas o fáciles de entender para el lego matemático. Una modalidad común es ésta:

$$P = cM^{-\alpha}$$

donde  $P$  es la probabilidad,  $c$  una constante,  $M$  una medida y  $\alpha$  un exponente de escala. Puede decirse que en una distribución de este tipo la cola cae asintóticamente con la potencia  $\alpha$ . El signo del exponente es opcional pero conveniente para hacer que la inclinación de la curva sea negativa, es decir, para que se vea cayendo de izquierda a derecha que es como usualmente leemos los grafos u ordenamos las series temporales en Occidente. La constante  $c$  es un valor que simplemente se aplica de modo tal que la suma de las probabilidades resulte igual a 1. En esta interpretación, este exponente es llamado exponente de Hurst o dimensión fractal cuando la distribución se observa en el tiempo o en el espacio, respectivamente (Csermely 2006: 325). El exponente de Hurst ( $H$ ) o índice de dependencia, nacido en hidrología para calcular el tamaño mínimo y máximo de las represas a construirse en el Nilo, varía entre cero y uno; un valor mayor significa una trayectoria más suave, menos volatilidad y menor rugosidad. La dimensión fractal puede calcularse como  $D = 2 - H$ .

Otra notación habitual (expuesta sin ánimo de unificar los operadores) expresa la LP como sigue:

$$n_k = Ak^{-\gamma}$$

donde  $n_k$  es el número de unidades discretas de tamaño  $k$ ,  $A$  es un término de normalización y  $\gamma$  es un exponente de escala mayor que cero.

Según no pocos autores, la atención casi desmesurada que se ha prestado a esta distribución en muchos campos que estudian fenómenos complejos, tales como el desarrollo y la evolución de redes sociales, puede atribuirse a tres factores fundamentales: la simplicidad de su definición formal, la transparencia o conveniencia de manipulación de sus principales parámetros y la aparente facilidad de su detección en datos empíricos. De hecho, la distribución de LP (llamada también de Zipf, de Pareto o de cola pesada [*heavy-tailed*]) tiene un solo parámetro libre,  $\gamma$ , y su estimado  $\gamma_{\text{est}}$  que se obtiene de los datos puede usarse para caracterizar el proceso subyacente o (en condiciones más restringidas) para predecir el comportamiento ulterior del sistema observado.

Aunque se han propuesto muchas variedades de procesos más o menos estocásticos para generar esta distribución, siguiendo a Mitzenmacher (2003) y Kryssanov y otros (2008), la mayoría de ellos se puede clasificar en tres grupos: la LP a través de crecimiento multiplicativo mínimo ligado (Champernowne 1953), la LP a través del *attachment* preferencial (o elección basada en prioridades) (Simon 1955) y la LP como resultado de la optimización (Mandelbrot 1960). Todas estas propuestas seminales han sido desde entonces profusamente estudiadas. Hay además en danza otras variaciones del modelo: desplazamien-

to lineal de la vinculación preferencial por una constante (Dorogovtsev, Mendes y Samukhin 2000), creación y remoción de aristas internas (Dorogovtsev y Mendes 2000), crecimiento del grado promedio (Dorogovtsev y Mendes 2001b), re-cableado de las aristas (Barabási 2000; Tadić 2001), el principio del cameo o “mis-amigos-son-tus-amigos” (Blanchard y Krüger 2008) y la regla de preferencias de distancia o “hazte-amigo-de-los-amigos-de-tus-amigos” (Jost y Joy 2002). Bianconi y Barabási (2001a) también han propuesto un modelo de adecuación multiplicativa en el cual la vinculación resulta influenciada tanto por el grado como por la “calidad” intrínseca de los nodos para adquirir nuevos vínculos; este modelo genera tanto redes IE como escenarios alternativos de “el que se mueve primero toma ventaja”, “el que se adecua se vuelve rico” y “el ganador se lleva todo” como fases termodinámicamente diferenciadas del proceso de cambio de la red. Lejos de agotarse en recetas e imágenes puramente metafóricas, la transición entre esas modalidades mapea con elegancia sobre el modelo de condensación de Bose-Einstein (Bianconi y Barabási 2001b).<sup>55</sup>

En función de lo visto, es posible ahora identificar numerosas relaciones de LP, tales como la ley de Stefan Boltzmann (la energía irradiada por un cuerpo oscuro es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura termodinámica), la ley de mortalidad de Benjamin Gompertz que se usa para cálculo de seguros desde 1825, la ley de Newton, en la cual la fuerza gravitacional resulta ser inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre dos cuerpos y la ley de Max Kleiber que vincula el metabolismo de un animal con su tamaño.

El antropólogo Gregory Bateson demostró tener alguna vaga intuición de estas ideas, en particular de la última, en el extraño episodio del caballo poliploide de su libro *Espíritu y naturaleza* (Bateson 1980: 49-53). Bateson se refería allí a las relaciones diferenciales que se manifiestan ante la variación de la fuerza de un estímulo, que en aquel entonces se conocía como la ley de Weber-Fechner. La ley originaria de Ernst Henrich Weber [1795-1878], el fundador de la psicología experimental, afirmaba que sobre un amplio rango dinámico, y para muchos parámetros, el umbral de discriminación entre dos estímulos se incrementaba linealmente con la intensidad de éste (Weber 1846). Con los años, Gustav Fechner [1801-1887], el creador de la psicofísica, pasó a pensar que el estímulo externo escala conforme a una representación interna de la sensación que es más bien logarítmica. Casi en misma tesitura bombástica de un Kurt Lewin, su famosa fórmula  $S = k \log I$  probaba (o pretendía hacerlo) nada menos que la relación entre el cuerpo y la mente (Fechner 1860).

Con el correr de los años la ley de Weber-Fechner fue sustituida por la LP de Stanley Smith Stevens [1906-1973], desarrollada en los laboratorios de psicología de la Universidad de Harvard antes de 1960. Una vez más, esta ley mide la relación entre la intensidad objetiva de un estímulo y la intensidad o fuerza con que se la percibe. Aunque se ha de-

---

<sup>55</sup> Véase [http://en.wikipedia.org/wiki/Bose-Einstein\\_condensation:\\_a\\_network\\_theory\\_approach](http://en.wikipedia.org/wiki/Bose-Einstein_condensation:_a_network_theory_approach) y la bibliografía indicada en ese artículo. Visitado en abril de 2010. El artículo señala erróneamente que las redes reales pueden ser bien descriptas mediante el concepto de redes aleatorias, pero en otros sentidos es un buen resumen de las investigaciones actuales.

mostrado que estas relaciones ya eran conocidas por los psicólogos y los matemáticos de siglos anteriores, Stevens ha sido quien revivió esta clase de observaciones a partir de 1957, constituyéndola en la columna vertebral de la nueva psicofísica (Stevens 1957; Massin, Zudini y Antonelli 2009). La forma general de esta ley es:

$$\Psi(I) = k I^a$$

donde  $I$  es la magnitud del estímulo físico,  $\Psi(I)$  es la función psicofísica relativa a la magnitud subjetiva de la sensación provocada por el estímulo y  $k$  es una constante de proporcionalidad que depende del tipo de estímulo y de las unidades de medida utilizadas. Invito a comparar esta notación ligada a dominio con las más genéricas que expuse unas páginas atrás (pág. 151). La tabla 11.1 allí incluida describe los exponentes característicos de la variación de diversos estímulos.

Continuum	Exponente ( $a$ )	Condición de estímulo
Aceleración angular	1,4	Rotación de 5 s
Área visual	0,7	Cuadrado proyectado
Brillo	0,33	Blanco de 5° en la oscuridad
Brillo	0,5	Fuente de punto
Brillo	0,5	Flash breve
Brillo	1	Fuente puntual en flash breve
Choque eléctrico	3,5	Corriente a través de los dedos
Dolor térmico	1	Calor radiante sobre la piel
Duración	1,1	Estímulo de ruido blanco
Dureza al tacto	0,8	Estrujar goma
Esfuerzo vocal	1,1	Presión del sonido vocal
Frío	1	Contacto de metal sobre el brazo
Fuerza muscular	1,7	Contracciones estáticas
Gusto	1,3	Sacarosa
Gusto	1,4	Sal
Gusto	0,8	Sacarina
Incomodidad, frío	1,7	Irradiación sobre todo el cuerpo
Incomodidad, tibiaza	0,7	Irradiación sobre todo el cuerpo
Longitud visual	1	Línea proyectada
Luminosidad	1,2	Reflejo sobre papel gris
Medición con los dedos	1,3	Grosor de bloques
Olor	0,6	Heptano
Pesadez	1,45	Pesos levantados
Presión sobre la palma	1,1	Fuerza estática sobre la piel
Rojez (saturación)	1,7	Mezcla rojo-gris
Rugosidad al tacto	1,5	Fricción sobre prendas ásperas
Ruido	0,67	Presión de aire de tono de 3000 Hz
Tibiaza	1,6	Contacto de metal sobre el brazo
Tibiaza	1,3	Irradiación de piel, área pequeña
Tibiaza	0,7	Irradiación de piel, área grande
Vibración	0,95	Amplitud de 60 Hz sobre el dedo
Vibración	0,6	Amplitud de 250 Hz sobre el dedo
Viscosidad	0,42	Revolver fluidos de silicona

Tabla 11.1 – Ley de potencia estimular de Stevens – Compilada por el autor.

Estas relaciones de LP están entre las leyes o principios más frecuentes que describen la invariancia de escala en muchos fenómenos materialmente disímiles. Dando un giro a lo que antes dije, la invariancia de escala se encuentra asimismo vinculada a la autosimilitud

y la auto-organización; es también un rasgo característico de las transiciones de fase en las proximidades de un punto crítico como las que se explorarán en el capítulo 13.

Es importante tener en cuenta que la invariancia de escala no es una categoría nacida en las ciencias duras o abstractas, sino que fue descubierta y acuñada por Lewis Fry Richardson [1881-1953] al examinar la frecuencia de los conflictos grandes y pequeños (desde las guerras mundiales hasta los asesinatos domésticos) como una función de su severidad, medida en número de víctimas fatales directas (Richardson 1948). Richardson era físico, matemático y meteorólogo, pero en 1929 (a los cincuenta años) se doctoró en psicología y se consagró a lo que podría llamarse psicología social. En un campo que parecían haber agotado figuras mayores como Pitirim Sorokin y Quincy Wright, Richardson formuló ideas sobre la escalada de la carrera de armamentos que le permitieron llegar a conclusiones inesperadas y que más tarde influyeron en las teorías de Bateson. La figura 11.1 muestra la red de las guerras de magnitud superior a 3,5 en la escala de Richardson; ni falta hace decir que es una escala logarítmica, de base 10 en este caso: una campaña de terror que mata a cien tiene una magnitud de 2, una guerra en que muere un millón una magnitud de 6. No es tan esotérico; alcanza con contar los ceros. Por añadidura, la denominación de los países sigue la nomenclatura de la Web. Argentina aparece abajo a la izquierda con sus guerras contra Uruguay, Brasil, Francia, España, Gran Bretaña y, a otra escala, Paraguay.

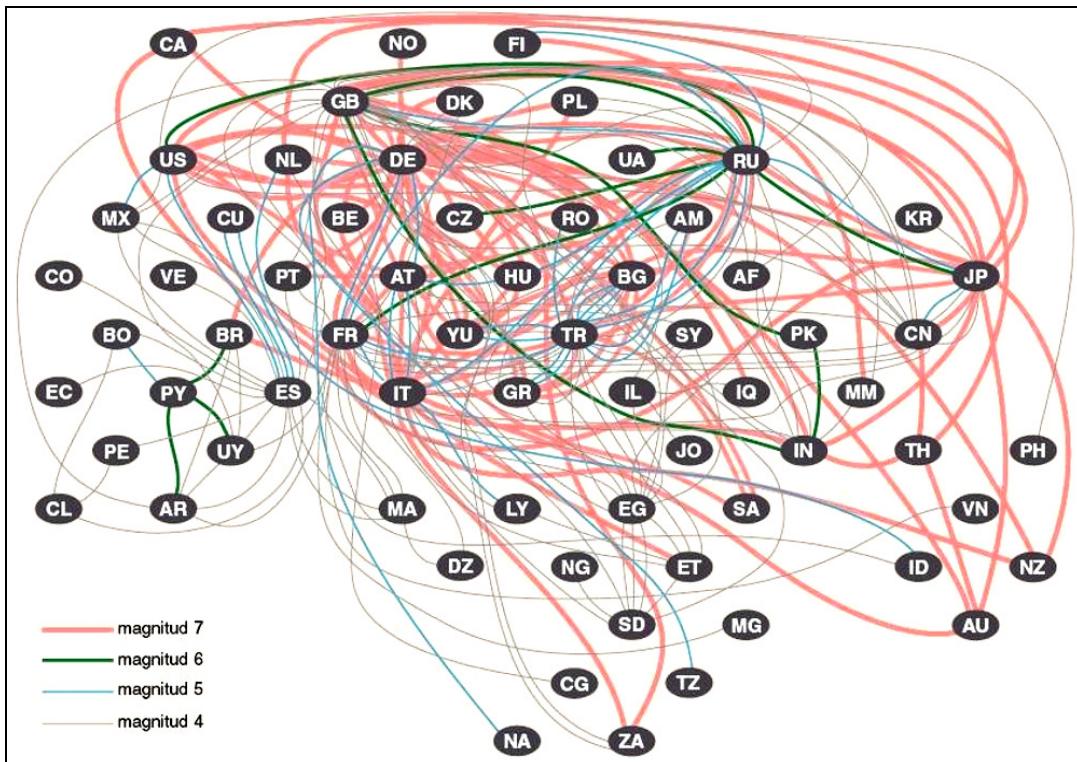


Figura 11.1 – Red de conflictos internacionales – Basado en Hayes (2002: 14)

En el estudio de Richardson el número de países o imperios considerados rondaba los sesenta. El número promedio de países fronterizos, con los que la probabilidad de conflicto

era más alta, sumaba alrededor de seis; basándose en un refinado argumento geométrico inspirado en la relación euleriana entre los vértices, las aristas y las caras de un poliedro (o de un grafo planar), Richardson demostró además que *debían* ser aproximadamente seis para cualquier disposición geográfica de naciones. Existía entonces una probabilidad de 10% de que cualquier par de beligerantes fueran países fronterizos. En fin, no viene al caso resumir el conjunto del ensayo, continuado en la actualidad con mejores recursos por autores como David Singer o Peter Breke. Si bien Richardson nunca dibujó un grafo (como tampoco lo hizo Euler), prefiguró un fragmento pequeño pero importante de la teoría de redes hasta en los más precisos detalles algorítmicos.

Si bien el influjo que Richardson ejerció sobre Bateson es público y notorio, más significativa en este contexto es la influencia que el concepto batesoniano de cismogénesis obró sobre aquél. Una sección de su estudio sobre los factores psicológicos de la guerra y la paz titulada “Matemáticas de la Guerra y Política Exterior” concierne a la cismogénesis batesoniana, caracterizada en la clásica etnografía *Naven* sobre la ceremonia epónima entre los Iatmul de Nueva Guinea (Bateson 1936; Richardson 1988 [1946]: 1218-1219). Tras una descripción sucinta del concepto, referido a las relaciones no lineales entre causa y efecto, la sección del artículo de Richardson culmina con este párrafo poco conocido por historiadores y biógrafos:

Se demostrará en la sección siguiente que las carreras de armamentos se describen mejor en términos cuantitativos; pero, para aquellos que no gustan de las matemáticas, el término batesoniano ‘cismogénesis’ puede servir como resumen aceptable de un proceso que de otro modo requeriría una larga descripción verbal tal como las que nos proporcionaron Russell, Bateson o Joad (Richardson 1988: 1219).

En obras posteriores Bateson retribuyó la referencia unas cuantas veces (1985 [1949]: 135-136; 1991 [1958, 1976, 1977]: 90, 119, n. 4, 196, n. 5). Pero Richardson fue el primero en citar al otro; fue entonces desde la antropología que provino una parte de la inspiración.

La figura 11.2 muestra otro hallazgo colosal de Richardson, que es el que compete a la dimensión fractal de diversas curvas fronterizas, en contraste con la de un círculo. A medida que disminuye la unidad de medida, aumenta la longitud que arroja la medición; las costas de pendiente más empinada (es decir, las de mayor dimensión fractal) son las más accidentadas; en contraste, en el caso del círculo la longitud total tiende rápidamente a un límite apenas comienza a disminuir la unidad de medida (Mandelbrot 1967). Esto nos remite a la ley de potencia: si se plotea la función de distribución complementaria acumulativa en una distribución de este tipo en un gráfico *log-log* se obtiene una línea recta.

Entre paréntesis, me interesa señalar algunos otros hallazgos convergentes que se encuentran en el estudio de Richardson en los términos en que los ha elaborado Brian Hayes, imposibles de superar:

La estrategia de Richardson frente a estas cuestiones tenía un cierto sabor topológico. En vez de medir la distancia entre países, meramente preguntó si ellos compartían o no una frontera. Luego, en estudios posteriores, refinó esta noción tratando de medir la longitud de la frontera común, lo que llevó a una fascinante digresión. Trabajando con mapas a di-

ferentes escalas, Richardson especificó las longitudes de los límites y las costas mediante divisores y se dio cuenta de que los resultados dependían de la configuración de los divisores, o en otras palabras de la unidad de medida. Una línea que mida 100 pasos de 10 milímetros no necesariamente medirá 1000 pasos de un milímetro; es probable que mida más, dado que las unidades menores siguen más de cerca los caminos en zig-zag de la costa. Este resultado apareció en una publicación más bien oculta; cuando Benoît Mandelbrot se cruzó con ella por casualidad, la observación de Richardson devino una de las ideas que inspiraron la teoría de los fractales de aquel autor (Hayes 2002: 12).

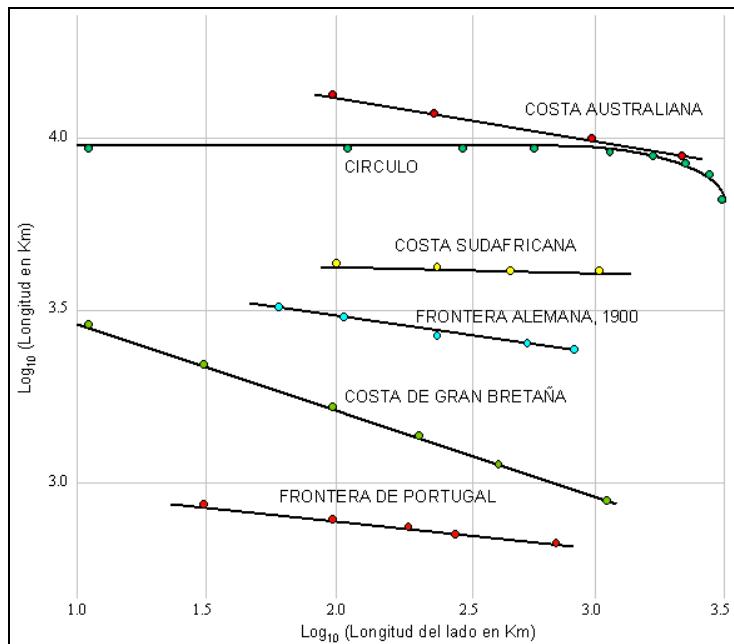


Figura 11.2 – Dimensión fractal de las costas – Basado en Richardson (1961: fig. §17)

El lector podrá reconocer en esta instancia digna de Nelson Goodman la raíz y la clave de no sólo la geometría fractal y de su concepto de dimensiones fraccionales, sino un episodio que revela, como en toda ciencia interesante, las fuerzas que se desatan cuando se formula la pregunta crítica en el escenario oportuno: “¿Cuánto mide la costa de Gran Bretaña?” fue aquí el interrogante canónico, el modo de esconder recatadamente, detrás de un asunto particular, que se estaba aportando un elemento de juicio esencial a lo que luego sería uno de los más universales de los campos del saber (Mandelbrot 1967). Las mismas técnicas de cálculo basadas en ecuaciones diferenciales, de hecho, le sirvieron a Richardson para estudiar los fenómenos meteorológicos, la psicología, las turbulencias, la dimensionalidad de las curvas costeras y los conflictos armados.

La tabla 11.2 proporciona una idea de los múltiples fenómenos en los que se manifiestan distribuciones con arreglo a esta ley. El procedimiento para calcular el exponente es sencillo y está al alcance de cualquier científico social. La fórmula es la siguiente:

$$\alpha = 1 + n \left[ \sum_{i=1}^n \ln \frac{x_i}{x_{\min}} \right]^{-1}$$

donde las cantidades  $x_i$ ,  $i=1 \dots n$  son los valores medidos de  $x$ , y  $x_{\min}$  es el valor mínimo de  $x$ . En situaciones prácticas  $x_{\min}$  no es el valor mínimo de  $x$  obtenido en las mediciones, sino el valor más pequeño para el cual se mantiene la ley de potencia. Para realizar los cálculos en contextos de la vida real es conveniente guardar algunas precauciones estadísticas sencillas, sintetizadas con claridad en los trabajos de Newman (2006).

Variable	Mínimo ( $x_{\min}$ )	Exponente $\alpha$
Frecuencia de uso de las palabras	1	2,20
Número de citas de <i>papers</i>	100	3,04
Número de hits en sitios de Web	1	2,40
Copias de libros vendidas en USA	2.000.000	3,51
Llamados telefónicos recibidos	10	2,22
Magnitud de terremotos	3,01	3,04
Diámetro de cráteres de la luna	0,01	3,14
Intensidad de tormentas solares	200	1,83
Intensidad de guerras	3	1,80
Ganancia anual en USA	U\$S 600.000	2,09
Frecuencia de nombres familiares	10.000	1,94
Población de ciudades en USA	40.000	2,30

Tabla 11.2 – Valores de corte mínimo y exponentes (Newman 2006: 8)

Al lado de las que puso de manifiesto Richardson hay infinidad de LPs adicionales escondidas en la investigación sociocultural. Inspirándose lejanamente en la “ley de gravitación social” de Émile Durkheim,<sup>56</sup> hace poco se ha resucitado la teoría de interacción espacial de William Reilly (1931), que trasplantaba la ley de Newton al campo de las interrelaciones entre locaciones y transporte en la adquisición de mercaderías por parte del consumidor final (“ley de gravitación de la compra al menudeo”). Años más tarde Sir Alan Geoffrey Wilson (1967, 1970, 1974) verificó esta temprana intuición, la cual es hoy un lugar común en los modelos de interacción espacial en planeamiento y estudio urbano (Bertuglia y Vaio 2005: 224-230). Muy poco de esto se ha filtrado a los jornaleros de la estadística o del análisis de redes, y sobre lo poco que se filtró algunos han erigido mitologías. Entre Newton y Wilson hay un variado repertorio de intentos de extrapolación del princi-

<sup>56</sup> Esta ley aparece apenas insinuada en un sorprendente pasaje de *De la Division du Travail Social* (1967 [1893]) en el que se describe asimismo una escalada de cambio en la densidad reticular que conduce a una transición de fase. El pasaje es éste: “Nous n'avons pas à rechercher ici si le fait qui détermine les progrès de la division du travail et de la civilisation, c'est-à-dire l'accroissement de la masse et de la densité sociales, s'explique lui-même mécaniquement; s'il est un produit nécessaire de causes efficientes, ou bien un moyen imaginé en vue d'un but désiré, d'un plus grand bien entrevu. Nous nous contentons de poser cette loi de la gravitation du monde social, sans remonter plus haut. Cependant, il ne semble pas qu'une explication téléologique s'impose ici plus qu'ailleurs. Les cloisons qui séparent les différentes parties de la société s'effacent de plus en plus par la force des choses, par suite d'une sorte d'usure naturelle, dont l'effet peut d'ailleurs être renforcé par l'action de causes violentes. Les mouvements de la population deviennent ainsi plus nombreux et plus rapides, et des lignes de passage se creusent selon lesquelles ces mouvements s'effectuent: ce sont les voies de communication. Ils sont plus particulièrement actifs aux points où plusieurs de ces lignes se croisent: ce sont les villes. Ainsi s'accroît la densité sociale. Quant à l'accroissement de volume, il est dû à des causes de même genre” (Durkheim 1893: Libro II, capítulo V.II; trad. esp., pág. 383, n. 8).

pio gravitacional a las ciencias sociales, algunos de ellos reflejos de un extremo simplismo (como el fisicismo determinista de Henry Charles Carey [1858] o las leyes de los flujos de migración de Ernst Georg Ravenstein [1885]). Los que aciertan a poner en foco la dimensión epistemológica son decididamente pocos (véase Isard 1960; Sen y Smith 1995).<sup>57</sup>

La sombra negra de la distribución de ley de potencia suele ser la distribución lognormal, la cual depende de dos parámetros,  $x_0$  y  $\sigma$ :

$$f_{\log \text{normal}}(x) = \frac{1}{x\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(\log(x/x_0))^2}{2\sigma^2}\right)$$

Es decir, si  $X$  es una variable aleatoria lognormal,  $\log X$  está distribuida normalmente con  $\langle \log X \rangle = \log X_0$  y  $\langle (\log X)^2 \rangle - \langle \log X \rangle^2 = \sigma^2$ . Una distribución lognormal resulta cuando muchas variables aleatorias cooperan multiplicativamente. La polémica entre los partidarios de la distribución lognormal y la LP es de nunca acabar; a veces se percibe que aquélla es más ajustada a la configuración del conjunto pero que la LP da mucha mejor cuenta de algo así como el 0,6% del rango superior, cifra que no parece significativa a primera vista pero que incluye más del 30% de la población implicada (Saichev, Malevergne y Sornette 2010: 3-4). El gráfico para la función de distribución lognormal es el de la figura 11.3. Se parece enormemente al gráfico para la distribución de LP, pero si se mira bien se verá que el eje horizontal (en este caso) no es logarítmico.

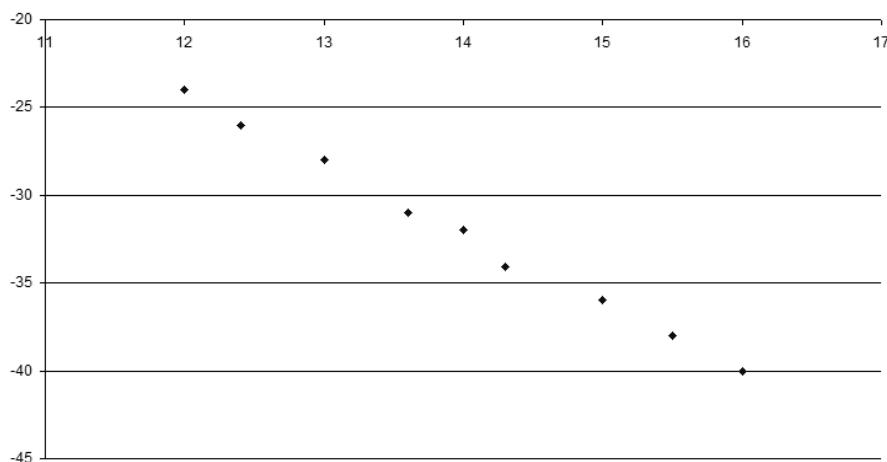


Figura 11.3 – Distribución lognormal – Graficado por el autor en Microsoft® Excel™

Como sea, la LP aparece también en la investigación social cuando uno se pregunta cuánta gente hay que tiene qué cantidad de dinero (ley de Pareto), en lingüística cuando se analiza la distribución de las palabras en un texto (ley de Zipf), en criticalidad auto-organizada y en sismología (ley de Gutenberg-Richter), en el número de cuencas petrolíferas, meteoritos, bosques quemados, partículas de arena o especies por género conforme a su

<sup>57</sup> Los textos más viejos ya son de dominio público y comienzan a aparecer en la Web, comenzando por la traducción de la obra magna de Isaac Newton (cf. <http://gravitee.tripod.com/toc.htm> y nuestra bibliografía). Hay más referencias a ideas similares de Alan Wilson (1970; 1974) más adelante en el capítulo 13.

tamaño, en sintaxis del espacio con referencia al número de calles de qué longitud hay en una ciudad, en la música estéticamente “aceptable” (distribución 1/f o ruido rosa), en el comportamiento dinámico de los públicos musicales (cuánta gente hay que escucha qué géneros, cuántos artistas venden cuántos discos) y en la vida de los géneros estilísticos (Voss y Clarke 1975; Bak 1996; Hillier 2002; Rosvall y otros 2005; Porta y otros 2006; Carvalho y Penn 2004; Rosvall y otros 2005; Figueiredo y Amorim 2007). Según Baumann y Stiller (2005: 348) en redes complejas la ley de potencia se manifiesta no sólo en la distribución de grados sino en otras propiedades del grafo:

- En el grado del vértice como función del grado, es decir en la posición del vértice en una lista ordenada de grados de vértices en orden decreciente.
- Número de pares de vértices dentro de una vecindad como función del tamaño de la vecindad, medida en saltos.
- Eigenvalores (valores propios, raíces latentes o valores característicos) de la matriz de adyacencia como función del rango.

Vale la pena aclarar este último punto, por cuanto permite establecer correspondencias con otros dominios complejos del conocimiento. En análisis de redes uno se encuentra constantemente con conceptos tales como eigenvalores o eigenvectores (o sus equivalentes más castellanizados, autovalores y autovectores). En este campo estos conceptos se dan por consabidos y los *papers* ganan más puntos cuando menos se inclinan a impartir pedagogía; pero si algo es seguro es que para los antropólogos no deben ser ideas familiares. No es posible explicar aquí de qué se trata esto en profundidad, pero sí conviene señalar algunos indicios importantes. Créase o no, el lector puede encontrar una definición excelente de eigenvectores, eigenvalores y eigenespacios, así como una introducción perfecta al álgebra lineal y a las transformaciones lineales del espacio en el artículo “Vector propio y valor propio” de Wikipedia® (visitado en marzo de 2008); de allí se puede pasar a literatura más completa y exigente.<sup>58</sup>

El análisis espectral puede aplicarse a infinidad de objetos conceptuales susceptibles de expresarse en formato matricial (datos de planilla de cálculo, archivos planos, distribucio-

<sup>58</sup> Para comprender este tema esencial en ciencias sociales en general y en estudio de simetrías y ARS en particular, es beneficioso tener una base en álgebra lineal; recomiendo para ello los libros de Gilbert Strang (1988: caps. 5 y 8), David McMahon (2006: caps. 5 y 8) y Thomas Shores (2007: caps. 3 y 5). Sobre eigenanálisis de redes y grafos (o sea, métodos espectrales), véase Wilkinson (1965); Biggs (1974); Chung (1997); Richards y Seary (1997); Seary y Richards (2003); Beineke y Wilson (2004); Biyikoğlu y otros (2007). Para un antropólogo los textos sobre álgebra de matrices de McMahon (2006), Gentle (2007) y Sterling (2009) pueden ser los más amigables, si es que uno tolera la impertinencia de ser calificado como un perfecto idiota. Aunque las hay en abundancia, todavía está por escribirse el libro maestro en aplicaciones del álgebra lineal, respecto a lo cual daré algunos ejemplos algo más adelante; debido a su extraña *Weltanschauung*, cuando los matemáticos hablan de “aplicaciones” se refieren por lo común a análisis de Fourier, variables complejas, ecuaciones diferenciales parciales, métodos numéricos, programación lineal, teoría de juegos, computación de diagramas, optimización o directamente a otras áreas de las matemáticas que la que se está tratando en un momento dado (Akiyama, Egawa y Enomoto 1986; Strang 1988: xii, 388-441; Meyer 2000: x; Anton y Rorres 2005): campos que, desde nuestra perspectiva, se encuentran todavía a unos cuantos grados de separación del mundo empírico al cual (valga la expresión) se aplican las aplicaciones.

nes de probabilidad, tablas de valores como las que usa Bourdieu en su análisis de correspondencias múltiples); las matrices de conectividad o adyacencia de los grafos o redes son sólo una de esas clases de objetos, acaso la más simple de todas. La idea subyacente a estos análisis es que las transformaciones algebraicas operadas sobre la matriz equivalen a operaciones de visualización analítica de la red a distintas escalas y desde diversas perspectivas, como si la estuviéramos contemplando en un programa de edición y diseño gráfico con riqueza de filtros y criterios de selección: para llevar a cabo una transformación algebraica todo lo que hay que hacer es tomar el grafo o una parte de él y copiarlo, trasladarlo, escalarlo, permutarlo, espejarlo o rotarlo, y también viceversa. Las operaciones implicadas son muy pocas y se conocen a la perfección. Una traslación es una suma; un cambio de tamaño y una rotación, son multiplicaciones; una simetría en espejo, lo mismo pero en diagonal (Reynoso 2006a: 347-350).

Una característica importante de las transformaciones es lo que ellas dejan sin cambiar, vale decir sus propiedades de invariancia. Siendo la matriz de adyacencia de un grafo resultado de un ordenamiento arbitrario de los vértices, el análisispectral se interesa primordialmente en las propiedades de la matriz que permanecen invariantes bajo permutación. Muchas de esas propiedades permiten comprar grafos de un modo que sería imposible en términos puramente visuales, o mediante la inspección visual de las matrices correspondientes. Considerando sólo las transformaciones lineales vemos que las transformaciones afines y las de deslizamiento [*shearing*] preservan además la colinealidad, las de escala mantienen invariantes los ángulos, mientras que las traslaciones, las rotaciones y los espejados conservan los ángulos y las longitudes. Como se verá más adelante, todos los grafos isomorfos tienen el mismo espectro; pero lo inverso no es verdad. Más todavía, es en extremo fácil encontrar grafos iso-espectrales que no son isomorfos; de hecho, todos los digrafos acíclicos tienen el mismo espectro sea cual fuese su estructura y su diámetro (Cvetković, Doob y Sachs 1980: 24).

En el tratamiento matricial de las redes y grafos sucede como si existieran dos niveles de sofisticación. En un nivel básico, el álgebra de matrices nos presta elementos de juicio que surgen de las operaciones básicas que muchos hemos aprendido en los cursos elementales de matemáticas sin saber para qué podría servir semejante cosa. Para comprender la relación entre estas operaciones y las características estructurales de las redes es menester penetrar un poco en los rudimentos del análisis matricial.

Una matriz es un arreglo [array] rectangular de números. Si una matriz tiene  $m$  filas y  $n$  columnas, se dice que el tamaño u orden de la matriz es  $m \times n$ . Si la matriz es  $1 \times m$  ó  $n \times 1$ , se la denomina un vector. Cada vector es por ende una matriz. Una matriz se representa habitualmente con una letra mayúscula y un vector con minúscula; se utiliza  $i$  para denotar filas y  $j$  para las columnas; la expresión  $A = [a_{ij}]$  significa entonces que  $A$  es una matriz cuya  $(i,j)^{\text{ava}}$  entrada (comúnmente un número o *escalar*) se identifica como  $a_{ij}$  (Gentle 2007: 3, 4; Shores 2007: 23).

Dado que en una red cualquiera el orden en que se encuentran los elementos es siempre arbitrario, la permutación de una matriz es una operación esencial; por una parte, ella no altera la información sobre la adyacencia de los nodos o los nexos entre los actores; por la

otra, la permutación permite que se enfaticen patrones latentes en la red que son de importancia pero imposibles de percibir si el orden es otro. Por ello es que se la usa con frecuencia para estudiar subgrupos cohesivos dentro de un conjunto mayor, construir modelos de bloque o destacar la separación de los elementos en los grafos bipartitos. La experiencia recabada desde los estudios de sociomatrizes en la década de 1940 ha permitido elaborar diversas técnicas de permutación para ordenar apropiada y objetivamente matrices de tamaño arbitrario, de modo que actores “próximos” o unidos por lazos fuertes (con mayor intensidad de interacción u homofilia por pertenecer a la misma clase, clase de edad, grupo étnico, club, secta, logia, consorcio o lo que fuere) queden también próximos en la estructura matricial (Katz 1947; de Nooy, Mrvar y Batagelj 2005: 259-265).

Trasponer una matriz, en cambio, significa intercambiar las filas y las columnas de modo que  $i$  deviene  $j$  y a la inversa. Si realizamos la trasposición de una matriz de adyacencia de un grafo dirigido y examinamos sus vectores de fila, estaremos contemplando las fuentes de los vínculos que se dirigen a un actor. El grado de similitud entre una matriz de adyacencia y la trasposición de la misma constituye una forma de expresar el grado de simetría en el patrón de relaciones entre actores. En otras palabras, la correlación entre una matriz de adyacencia y su trasposición es una medida del grado de reciprocidad de los vínculos, el cual es a su vez fundamental en tanto se relaciona tanto con el equilibrio como con el grado y forma de la jerarquía en una red.

En cuanto a la suma y resta de matrices, ellas son sin duda las operaciones más simples que se pueden ejecutar sobre éstas. Las operaciones se reducen a sumar o restar cada elemento  $i, j$  de dos o más matrices, que deben por ende poseer el mismo número de  $i$  y  $j$  (lo que en términos más técnicos se expresa diciendo que deben ser “conformables” a dichas operaciones). En el análisis de redes la suma y la resta se usan para reducir la complejidad de multiplex, esto es, de múltiples relaciones registradas en términos de matrices distintas. Si se tienen dos matrices simétricas una de las cuales representa la relación “intercambian nombre” mientras la otra indica la de “intercambian dinero”, puedo sumar las dos matrices para indicar la intensidad de las relaciones de intercambio. Pares con una relación de cero no están relacionados, pares con valor “1” estarán involucrados en una clase de relación y pares con valor “2” lo estarán en ambas. Si se resta la matriz de intercambio de mercancía de la de intercambio de dinero, un valor de “-1” indica pares con una relación de intercambio, “0” expresa falta de relación o relaciones de intercambio y compra, mientras que “1” es indicador de relaciones de compraventa.

En lo que concierne a la multiplicación (una operación algo más infrecuente que las anteriores) lo habitual es multiplicar una matriz por ella misma (que es lo mismo que elevarla al cuadrado), o multiplicar el cuadrado por la matriz (elevarla al cubo), etcétera. El resultado de la operación de cuadrado nos indica cuántos vínculos de longitud “2” hay entre un actor y los demás actores, la cúbica cuántos de longitud “3” y así sucesivamente (Hanneman 2005: cap. 5). La multiplicación de matrices es una operación importante en ARS por cuanto ha demostrado ser muy útil en el estudio de las trayectorias [*walks*] entre elementos y las propiedades de alcanzabilidad de un grafo (Wasserman y Faust 1994: 157, 159).

Estas operaciones matriciales son sin duda útiles y están en la raíz de los cálculos que utilizan los programas de ARS usuales. Lo mismo se aplica a algunas mediciones, tales como el cálculo de la centralidad de *closeness*, que se basa en la suma de las distancias geodésicas [*farness*] entre un actor y todos los demás. En redes de cierto tamaño y complejidad, sin embargo, medidas de este tipo son engañosas. Si un actor *A*, por ejemplo, se encuentra muy próximo a un grupo pequeño, cerrado y distante en una red mayor, mientras que otro actor *B* está a una distancia moderada del resto de la población, sus medidas de *farness* pueden resultar parecidas. *B*, empero, es generalmente un actor mucho más “central” que *A*.

Pretendiendo evitar éstas y otras distorsiones, la estrategia de los eigenvectores constituye un esfuerzo por encontrar los actores más centrales en términos de la estructura global de la red, prestando menos atención a las relaciones más locales. Del análisis espectral de adyacencia se pueden derivar conocimientos sobre un grafo tales como su número de aristas o su número de tríadas, o determinar si es o no bipartito. Trabajando sobre matrices laplacianas<sup>59</sup> ya no se puede saber si un grafo es bipartito pero sí se puede establecer el número de elementos conectados y el de árboles abarcadores; sobre laplacianas normalizadas se puede calcular todo eso y mucho más (Baltz y Kliemann 2005: 380-381).

La técnica que se aplica para el cálculo de vectores (el análisis factorial) es bastante complicada, pero casi todos los programas la traen codificada y lista para usar. Lo importante es comprender que el análisis factorial identifica “dimensiones” de las distancias entre actores. Aunque su definición en álgebra de matrices es distinta, la ubicación de cada actor con respecto a cada dimensión se denomina un eigenvalor, y la colección de tales valores se llama un eigenvector. Por lo común la primera dimensión captura los aspectos “globales” de las distancias entre actores, mientras que la segunda (y las dimensiones ulteriores) encapsulan sub-estructuras más específicas y locales (Hanneman 2005: cap. 10). Debe tenerse en cuenta que la estrategia de los eigenvalores (al igual que la proximidad geodésica o los grados de separación) considera la proximidad de las conexiones con los demás actores sólo siguiendo el camino más eficiente, que es precisamente el geodésico. En las redes sociales, sin embargo, el poder y la influencia se pueden expresar en base a otra clase de relaciones, incluyendo vínculos débiles.

Las operaciones matriciales más refinadas requieren profundizar un poco más en la idea de vectores. El análisis de los vectores matriciales correspondientes a un grafo es lo que propiamente se denomina análisis espectral. Un vector (que usualmente es representado mediante una flecha) posee una longitud (que también se llama magnitud) y una dirección. Una transformación lineal opera sobre un vector para modificar ya sea su magnitud o su dirección. Un eigenvector de una transformación lineal es un vector que se multiplica por una constante, llamada eigenvalor. La dirección de un eigenvalor o bien se mantiene para eigenvalores positivos, o bien se invierte para los negativos. En el ejemplo del tatua-

<sup>59</sup> Una matriz laplaciana, de admitancia o de Kirchhoff se construye mediante la diferencia entre la matriz de grado y la matriz de adyacencia de un grafo. Junto con el teorema de Kirchhoff sirve para encontrar el número de árboles abarcadores de un grafo, así como muchas otras propiedades.

je Maōri que uso habitualmente como símbolo de una imagen compleja el dibujo se ha deformado de tal manera que el eje vertical (el vector rojo) no se modificó pero el azul sí, puesto que cambió de dirección (figura 11.4). Por lo tanto el vector rojo es el eigenvector de la transformación y el azul no lo es. Dado que el vector rojo no se ha estirado ni comprimido su eigenvalor es 1. Todos los vectores en esa misma dirección son también eigenvectores. Junto con el vector cero conforman el espacio propio para ese eigenvalor. Que puedan ilustrarse estos conceptos mediante imágenes o matrices de números reales es significativo e ilustra la independencia de dominio de las operaciones implicadas. De hecho, las operaciones espectrales (tanto o más que la manipulación de imágenes en una superficie o en el espacio) han comenzado a juzgar un papel importante en el desarrollo de algoritmos de visualización de redes (Marks 2001: 287; Goodrich y Kobourov 2002: 96, 198, 203, 210, etc.; Koren 2002; Pach 2004: 275-281).

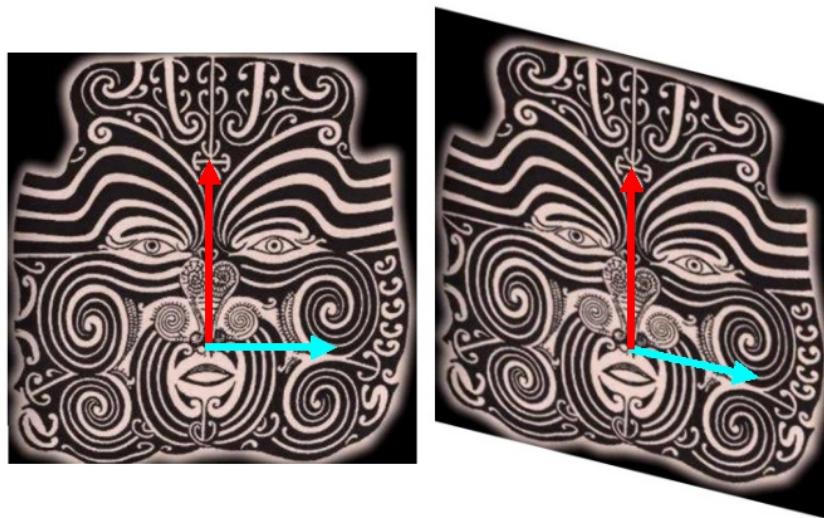


Figura 11.4 – Eigenvector (rojo) – Imagen de tatuaje Maōri de dominio público editada por el autor en Gimp 2.4.4

El uso de métodos espectrales para dibujar (o imaginar) grafos es bastante antiguo, tanto como que se origina con los estudios de Kenneth Hall (1970). Ni siquiera en el campo especializado de los métodos de dibujo de grafos, sin embargo, se los ha tenido mayormente en cuenta. Tal parece que la idea de espectros y vectores es difícil de comprender en términos de una concepción estética cercana a la intuición; pero malgrado su dificultad aparente, las técnicas espectrales han demostrado ser especialmente aptas para resolver problemas que con otras herramientas llegan a ser intratables o cuyo proceso se torna insopportablemente lento.

Los métodos espectrales más utilizados en dibujo no se basan en las populares matrices de adyacencia sino más bien en las laplacianas de esas matrices, a las cuales no pocos autores consideran hoy más fundamentales que aquéllas. Convenientemente tratados con triangulaciones de Delaunay o diagramas de Voronoi, los eigenvalores de las laplacianas permiten refinadas experiencias de representación de grafos multidimensionales implementando una ingeniosa metáfora de paisajes. Con esta idea es posible visualizar simultáneamente la preminencia autoral y el *clustering* (la similitud de las co-referencias) en las

redes de citas bibliográficas, apareciendo los textos de mayor importancia [*landmark references*] como las cumbres de un paisaje montañoso; la altura y la amplitud de las elevaciones denotan respectivamente el número de citas merecidas y el número de referencias hechas en un texto (Brandes y Willhalm 2002). Me ha llamado la atención el hecho de que estos paisajes bibliográficos despliegan la misma congruencia que las orografías de la naturaleza y que los *terrains* independientes de escala de la geometría fractal.

En teoría de redes, como hemos visto, el vector propio de un grafo es uno de los elementos de juicio que se utiliza para medir la centralidad de sus vértices. Si no se especifica algún otro criterio, el valor propio de un grafo es el eigenvalor de su matriz de adyacencia, aunque también es usual considerar otras clases de matriz. Las prestaciones de esta clase de análisis son múltiples, ya que permiten operar sobre redes enteras o sobre las comunidades, cliques o sub-redes que la forman. Más allá del análisispectral propiamente dicho, las propiedades algebraicas de las matrices de los grafos desvelan información combinatoria sobre grafos y redes que tampoco es susceptible de obtenerse por otros medios (Brualdi 2007: 27-1). Estos elementos se usan, por ejemplo, en los algoritmos Page-Rank™ de Google (basado en el Science Citation Index) utilizados para asignar relevancia a las páginas en el motor de búsqueda.

Los primeros avances notables del análisispectral giraron en torno de aplicaciones en química, en las que se demostró que los eigenvalores están asociados con la estabilidad de las moléculas (Chung 1997: 2; Biggs, Lloyd y Wilson 1983). Las aplicaciones ulteriores en las disciplinas menos pensadas rondan lo innumerables. En esta tesitura, Ungsik Kim (2007) ha sido capaz de identificar correo basura simplemente prestando atención a las características espectrales de las redes sociales tales como la distancia geodésica o las configuraciones de pequeños mundos.

En otro estudio magistral, Nathan Eagle y Alex (Sandy) Pentland (2006) del MIT Media Laboratory, comprueban que operaciones simples de eigendecomposición, por ejemplo, permiten tratar datos masivos, simplificando fenómenos multivariados mediante la generación de caracterizaciones de baja dimensionalidad. Ello se debe a que los primeros pocos eigenvectores de la decomposición permiten dar cuenta, típicamente, de la mayor parte de la variancia de la señal. Dado que se requieren muy pocos parámetros, se torna fácil analizar los comportamientos de individuos y grupos, siendo posible predecir la conducta tanto de los elementos individuales como del conjunto. Estas propiedades únicas hacen que los eigenvectores sean ideales como elementos de juicio para la representación de los movimientos, interacciones y prácticas comunicativas de la gente. La baja dimensionalidad del sistema, a su vez, facilita una caracterización rápida de los perfiles de conducta, agrupar la gente o los grupos con comportamientos parecidos y predecir sus decisiones en el futuro próximo. No niego que el tema esté surcado por unas cuantas dificultades técnicas y conceptuales; pero si en prácticas de mercadeo que ni siquiera se precian de ser científicas esta cuestión se aborda con tanta familiaridad, resulta imperdonable que los antropólogos ignoren la existencia misma de estas posibilidades.

Como podría esperarse, los espectros de los grafos aleatorios y los de las redes “de la vida real” (como se las llama oficialmente ahora) no podrían ser más distintos. Vale la pena

dedicar unas líneas a la caracterización técnica del problema, ya que la literatura usual (en la línea Wasserman-Faust 1994 por ejemplo) no ha elaborado la cuestión de manera comparativa. Como han señalado Cvetković, Doob y Sachs (1980: 7), los textos clásicos de teoría de grafos no acostumbran tratar el tema de análisis espectral. El lugar característico donde se trata este tema es en textos de álgebra lineal o en el análisis de correspondencias.

Dado que las matrices se utilizan también para otros fines (que van de la organización de datos a la resolución de ecuaciones) el problema es que no todos estos textos se refieren a grafos o a matrices de adyacencia. El álgebra lineal, por otra parte, se llama así porque todos los términos de la ecuación que la matriz expresa están elevados implícitamente a la primera potencia; una ecuación de este tipo no involucra productos, ni raíces, ni funciones exponenciales, trigonométricas o logarítmicas (Sterling 2009: 65; Meyer 2000: 89); como hemos comprobado, las proporciones que se encuentran en las redes y otros fenómenos reales suelen ser no lineales: cuadráticas, cúbicas y aun más allá. Incluso estas potencias son apenas casos especiales, redondeos o aproximaciones en un continuum de exponentes fraccionales posibles (ver tabla 11.2).

Ha habido un puñado de intentos por tratar dinámicas no lineales mediante el álgebra lineal, a través de aproximaciones, exponentes de Lyapunov, linealizaciones y metaheurísticas más o menos heterodoxas (Conte, Moog y Perdon 1999; 2007; Colonius y Kliemann 2007). Pero el álgebra no lineal que esta situación impondría considerar ni siquiera existe todavía como territorio genuino de investigación matemática: si se busca “*nonlinear algebra*” en (digamos) Google™, sólo se obtendrán consultas de primerizos que se preguntan, desconcertados, por qué no existen en ningún lugar del mundo señales de semejante cosa. El incordio no sólo ataña a las estrategias algebraicas sino que afecta incluso a las técnicas estadísticas; escribía Noel Cressie, de la Universidad del Estado de Iowa:

Mientras que la geoestadística lineal se puede aplicar en formas relativamente directas, las técnicas no lineales a menudo requieren supuestos para los cuales no están disponibles los métodos de verificación, y que pueden desembocar en soluciones que son computacionalmente complejas (Cressie 1993: 278).

Volviendo al álgebra, se percibe que las consecuencias de hechos como éste son significativas. Examinemos por ejemplo una medida que circula como si tal cosa en los manuales de la especialidad. Simplificando mucho la cuestión, digamos que el espectro de un grafo de  $N$  vértices es el conjunto de eigenvalores de su matriz de adyacencia. Existen  $N$  eigenvalores  $\lambda_j$ ,  $j=1, \dots, N$ ; a partir de esa nomenclatura la densidad espectral se define como:

$$\rho(\lambda) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \delta(\lambda - \lambda_j)$$

Ella se aproxima a una función continua para sistemas de gran envergadura ( $N \rightarrow \infty$ ). Para un grafo aleatorio cuyos nodos se conectan uniformemente con probabilidad  $p$ , la densidad espectral converge hacia una distribución circular o más bien semi-elíptica conocida como la ley (o distribución) de Wigner o ley del semicírculo (Wigner 1958; Arnold 1967; Newman, Barabási y Watts 2006: 344). En esa apoteosis de la aleatoriedad que es la lla-

mada teoría de la probabilidad libre en la cual se inscribe, el papel de la distribución del semicírculo (tipificada por el premio Nóbel Jenö Wigner [1902-1995] hacia fines de la década de 1950) se asemeja al de la distribución normal en la teoría clásica de la probabilidad. Sin embargo, diversas investigaciones independientes demostraron a comienzos de este siglo que la densidad espectral de las redes IE difiere marcadamente de la ley del semicírculo (Farkas y otros 2001; Goh, Kahng y Kim 2001). Los cálculos numéricos revelan un espectro de forma triangular con bordes que decaen según una ley de potencia; estas “colas” de la distribución se deben a los eigenvectores que se localizan en torno de los nodos de más alto grado.

Aun cuando los objetos complejos se salgan de la norma, una especialización del análisis espectral, los gráficos o *plots* espectrales, ha mostrado ser una herramienta poderosa para inferir los procesos de desarrollo y crecimiento de una red. En particular, se comprobó que una versión “atenuada” del gráfico de densidad de los eigenvalores de la laplaciana de una red (valores sobre cuya obtención no vale la pena distraernos aquí) constituye un buen esquema heurístico de *clustering* para redes de diferentes dominios empíricos. Más exactamente, se encontró que los gráficos espirituales de diversas redes del mismo dominio son parecidos entre sí, pero sutilmente distintos a los de otras redes en otros dominios. Más todavía, los gráficos a menudo sugieren hipótesis de interés sobre los mecanismos evolutivos dominantes de las redes subyacentes (Banerjee y Jost 2009). Por ejemplo:

- 1) Un pico elevado y abrupto en los valores del primer eigenvalor es un indicador de una larga serie de duplicaciones de nodos.
- 2) Igualmente, las duplicaciones de motivos pequeños (díadas, tríadas) dejan huellas características en el espectro.
- 3) La presencia de muchos eigenvalores pequeños indica que el grafo consiste en muchos componentes que, pese a estar densamente conectados en el interior sólo se encuentran débilmente conectados entre sí. Esto implica que el grafo consiste en “comunidades” muy pequeñas y segregadas, lo cual arrojan consecuencias importantes para su sincronización.
- 4) Cuando los eigenvalores más altos son iguales a 2, más generalmente cuando el espectro es simétrico en torno a 1, el grafo es bipartito, lo cual no siempre es evidente a la observación. Si el eigenvalor se aproxima a 2, por su parte, señala que el grafo está cerca de ser bipartito. Cuando un grafo es bipartito, eso afecta a las propiedades de las búsquedas al azar en la red subyacente.

El análisis espectral posee una modesta pero refinada presencia en estudios de geografía humana y una representación algo más notoria en sociología. Fred Roberts y Thomas A. Brown (1975), por ejemplo, han utilizado eigenvalores de digrafos signados para analizar diversos factores de la crisis energética. Los autores parten de la base de que en ciencias sociales a menudo un digrafo signado puede llegar a ser el modelo matemático de mayor detalle posible para determinadas clases de sistemas, clases que suelen ser características de disciplinas que lidian con variables que no se pueden cuantificar con exactitud. Un ejemplo de esta circunstancia son los grafos (no dirigidos pero sí signados) implícitos en el tratamiento lévi-straussiano del átomo de parentesco (ver pág. 32). En teoría de grafos y en otros campos aledaños se sabe que incluso modelos sobresimplificados como éstos

ofrecen de algún modo un rico conjunto de conclusiones extremadamente precisas.<sup>60</sup> En un punzante *tour de force*, Roberts y Brown realizan una elaboración aplicativa ejemplar, explotando las ideas espetrales con una rara combinación de relevancia formal y solvencia pedagógica.

Aunque se trata de un capítulo particularmente difícil en el plano técnico hay unas cuantas aplicaciones más de análisis espectral en las ciencias humanas que no es posible reseñar aquí (cf. Estrada 2009; Dehmer y Emmert-Streib 2009: *passim*). Mientras el análisis espectral en química, física y biología florece como nunca antes, percibo sin embargo que la edad de oro de esta modalidad analítica en el terreno de las redes sociales se ubica en algún momento difuso entre los setenta y los ochenta, denotando un estilo de abordaje que se mantiene vivo pero que (a excepción de los estudios de mercado y del campo de la econofísica) no crece en la medida en que debería hacerlo.

A pesar de todo, existe una amplia literatura sociológica que explota esta clase de instrumentos, muchas veces en relación con el modelado en bloque [*blockmodeling*]. Acaso los nombres más destacados en la especialidad sean los de Philipp Bonacich, Patrick Doreian y Noah Friedkin, quienes han abordado cuestiones de accesibilidad, centralidad, poder, influencia y alcance. En antropología la situación es otra. A mediados de los ochenta un matemático y dos antropólogos intentaron utilizar estas y otras herramientas de análisis para descubrir relaciones de conocimiento personal [*acquaintanceship*] dentro de un orden social; publicado nada menos que en *Current Anthropology*, su intento fue, empero, muy mal recibido por la crítica (según se dijo) por su especial combinación de oscuridad conceptual y enfoque individualista, y desde entonces no han habido muchos más intentos en ese terreno (Killworth, Bernard y McCarty 1984). Nadie supo captar la potencialidad de la algorítmica más allá de los confines de un caso y los sesgos de una teoría. Me referiré a otras aplicaciones antropológicas cuando se revisen los análisis reticulares del parentesco (ver pág. 297). Fuera de esas aventuras especializadas, el uso pleno de estas herramientas analíticas en la investigación antropológica todavía está esperando su oportunidad.

Lo mismo se percibe en un campo parcialmente solapado al álgebra lineal que ha resultado de importancia en logística, organización, gestión de gobierno, diseño de procesos, planeamiento urbano y economía; me refiero a la programación lineal (en adelante PL), uno de los métodos de optimización que conforman la esfera de la investigación operativa al lado de las teorías de juegos, colas e inventario, la programación dinámica, el análisis de decisión, la minería de datos, la optimización combinatoria, el análisis de sistemas y un amplio conjunto polimorfo de procedimientos algorítmicos. Una parte considerable de

<sup>60</sup> Aunque desconocidas para la literatura de redes sociales, las aplicaciones prácticas de esta clase de formalismos son numerosas. El mismo Roberts (1973) usó digrafos signados aplicados al uso de energía en el transporte, P. G. Kružic (1973) los utilizó para modelar el impacto energético y ambiental de los puertos de aguas profundas, S. K. Coady y otros (1973) para evaluar el uso de zonas costeras para recreación urbana, J. Kane y otros (4) para analizar la asignación de recursos escasos en servicios de salud, mientras que la Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo los empleó para estudiar el impacto de decisiones de financiamiento gubernamental de la investigación científica. Para más referencias véase Roberts (1976).

la PL concierne a teoría de grafos, matrices y matroides aplicada a la búsqueda de caminos más cortos o de menor costo, la detección de ciclos, la exploración de algoritmos, el diseño de flujos en redes y rutas de transporte y otras finalidades técnicas en los más variados terrenos de aplicación (Lawler 1976; Bazaraa y Jarvis 1977; Matoušek y Gärtner 2007; Vanderbei 2008; Karloff 2009).

La PL fue creada por el premio Nóbel ruso Leonid Kantorovich [1912-1986] en 1939 para optimizar los métodos de la industria soviética; luego fue perfeccionada por el legendario George Dantzig [1914-2005] en 1948 mediante la invención del método simplex y el bautismo de la especialidad con el nombre que ha llevado hasta hoy.<sup>61</sup> También John Von Neumann hizo algunos aportes tempranos a la idea de PL. La “programación” a la que alude el nombre no guarda relación con el desarrollo de programas de computadora sino con la idea “militar” de “programa”, esto es: un conjunto de operaciones tácticas y estratégicas que incluye prácticas heterogéneas de “mecanización”; el sinónimo más cercano es, quizá, “planeamiento” (Dantzig 1963).

Con el tiempo, las operaciones de la PL se han transformado en una robusta colección de algoritmos invisibles para el público en general pero que han catapultado el progreso tecnológico y perfeccionado los resortes de más alto valor competitivo en la gestión financiera, de gobierno, nutricional, agrícola, ecológica, médica o empresarial. Cualquier problemática multivariada en la que estén implicados recursos limitados, elección entre actividades alternativas y satisfacción de objetivos especificables es susceptible de elaborarse en función de PL y de resolverse mediante sus múltiples métodos, del método simplex, el algoritmo de punto interior y la programación de objetivos en adelante (Hillier y Lieberman 2001: 24-26, 309-349).

Al menos un científico destacado, el irreverente Russell Ackoff [1919-2009], ha desarrollado una intensa carrera aplicando investigación operativa en general y PL en particular a las problemáticas humanas y sociales más acuciantes. La suya no ha sido una tarea fácil: por una parte, una proporción desmesurada de las prácticas que involucran recursos, estrategias, tiempos y límites se precipita fácilmente en dilemas insolubles de tratabilidad; por la otra, y tal como Ackoff ha insistido en proclamarlo, las técnicas implicadas tienden a tecnicarse más allá de lo imaginable, tornándose tratables en la teoría pero insostenibles en la práctica. En este contexto, la participación activa de las ciencias sociales ha demostrado ser esencial. Aun cuando algunos principios sustentados por Ackoff son remiscentes de las recetas de autoayuda corporativa, él ha sabido encontrar soluciones de alta ingeniosidad algorítmica ahondando en ideas de la psicología y las humanidades.

<sup>61</sup> Si me he permitido llamar legendario a George Dantzig, no ha sido por mera licencia literaria. Es sabido que siendo alumno de Jerzy Neyman en Berkeley, Dantzig llegó un día tarde a clases y copió en su cuaderno dos célebres problemas pendientes de la estadística que estaban escritos en la pizarra creyendo que formaban parte de la asignación de tareas para el hogar. Pocos días más tarde los devolvió resueltos, dando pie a un mito urbano que desde entonces se ha agigantado y embellecido, llegando al cine como un episodio de *Good Will Hunting* en 1997.

Puede verse la narración detallada en <http://www.snopes.com/college/homework/unsolvable.asp> (visitado en julio de 2010).

Los analistas de redes, incluso en los bastiones más duros de la sociofísica, han prestado poca atención a los hallazgos y requerimientos de la PL. Sólo una pequeña comunidad en el seno del ARS explota ocasionalmente recursos de esa técnica en el diseño investigativo (Brandes y Erlebach 2005: 12; Jacob y otros 2005; Kosub 2005). De la corriente principal de nuestra disciplina mejor ni hablar; ella no se ha dignado a concederle siquiera una mirada crítica. Puede que sean los tecnicismos o la seca jerga ingenieril lo que nos espanta. Pero en la medida en que aspire a alcanzar algún grado mínimo de coherencia y competitividad en el desarrollo de planes sostenibles y en razón del carácter virtualmente idéntico de los trances que afronta o las metas que se propone, la antropología aplicada (al menos) debería sentirse temática y metodológicamente más próxima a la PL de lo que nuestros profesionales aposentados en un confortable modo discursivo se han empeñado en situarse. A fin de cuentas, los problemas linealizables son mucho más frecuentes de lo que puede sospecharse y los procedimientos de linealización (correlativos a la capacidad artesanal de “ver” o “presentir” las perspectivas de programabilidad de un problema) son bien conocidos. Con expresar la estructura del objeto en términos de grafos o matrices y con tomar contacto con el álgebra lineal ya se ha recorrido una parte importante del camino en esa dirección (Karloff 1991: 8, 9, 10-11, 22; Luenberger y Ye 2008: 75, 145-182). Si el problema planteado parece enorme y complejo, más cierto será lo que afirmo; en tanto se hayan satisfecho ciertos requisitos de proporcionalidad, sumatividad y divisibilidad, es más probable que en ese escenario funcione de manera más productiva el artificio del modelado en PL que las conjeturas que podamos hacer nosotros a mano alzada (Hillier y Lieberman 2001: 36-43).

A partir de allí, no digo que haya de ser el antropólogo quien maneje las herramientas matemáticas de primera mano; a veces se requieren modelos masivos y familiaridad con ambientes o lenguajes de modelado específicos, como Excel<sup>TM</sup> Solver, MPL o LINGO. Lo que sí digo es que debería tener alguna idea sobre los procedimientos que necesitan tercerizarse y sobre los escenarios que harían aconsejable su implementación. Ante tanto alboroto mediático en torno de los abordajes transdisciplinarios, considero inadmisible la ausencia de todo rastro de ideas, algoritmos y medidas características de la PL en la literatura y la currícula de la disciplina.

A decir verdad, del otro lado de la divisoria también se está en falta: como su nombre lo indica y al igual que el álgebra homónima, la PL se encuentra sesgada hacia funciones objetivas y de constreñimiento que son todas lineales. Se sabe ahora que la no-linealidad es la regla y no la excepción y que la linealización nunca es fácil y no siempre es posible. A diferencia de lo que es el caso con el álgebra, la programación no lineal existe efectivamente, pero es un poco menos desarrollada, algo más hermética y mucho más difícil que su contrapartida; casi nada en ella remite a la teoría de grafos, al análisis de matrices o a los flujos por redes que los antropólogos podríamos usar como hitos de referencia para orientarnos en un espacio sin duda relevante pero todavía enigmático (Luenberger 1984; Hillier y Lieberman 2001: 654-725; Bazaraa, Sherali y Shetty 2006; Sun y Yuan 2006; Luenberger y Ye 2008).

La forja de algoritmos y estrategias no se ha detenido sin embargo, y el progreso que se ha hecho en el terreno empírico con la PL y sus derivaciones ha sido sustancial. El campo está allí, abierto al trabajo colectivo y en crecimiento; cualesquiera sean sus dificultades y sus lagunas, valdrá más la pena reconocer su existencia y ensayar nuevas formas de experimentación conceptual que seguir aleñando el mito de que las ciencias sociales en general y la antropología aplicada en particular no pueden con su objeto.

•••

Me ha parecido de interés ilustrar la expresividad de los instrumentos y criterios de medición que se han tratado hasta ahora (y algunos otros que se introducirán aquí) a través del caso de una red social que vinculaba, mediante relaciones de parentesco, las unidades domésticas de la comunidad Tehuelche de criadores de ovejas del Chalía, en el suroeste de la provincia de Chubut. El relevamiento de campaña fue realizado por el antropólogo Marcelo Muñiz (1998) para su tesis de licenciatura y el análisis primario fue llevado a cabo por Jorge Miceli y Sergio Guerrero (2007), dos de los miembros *senior* de Antropocaos, equipo de investigación de la Universidad de Buenos Aires al cual pertenezco.

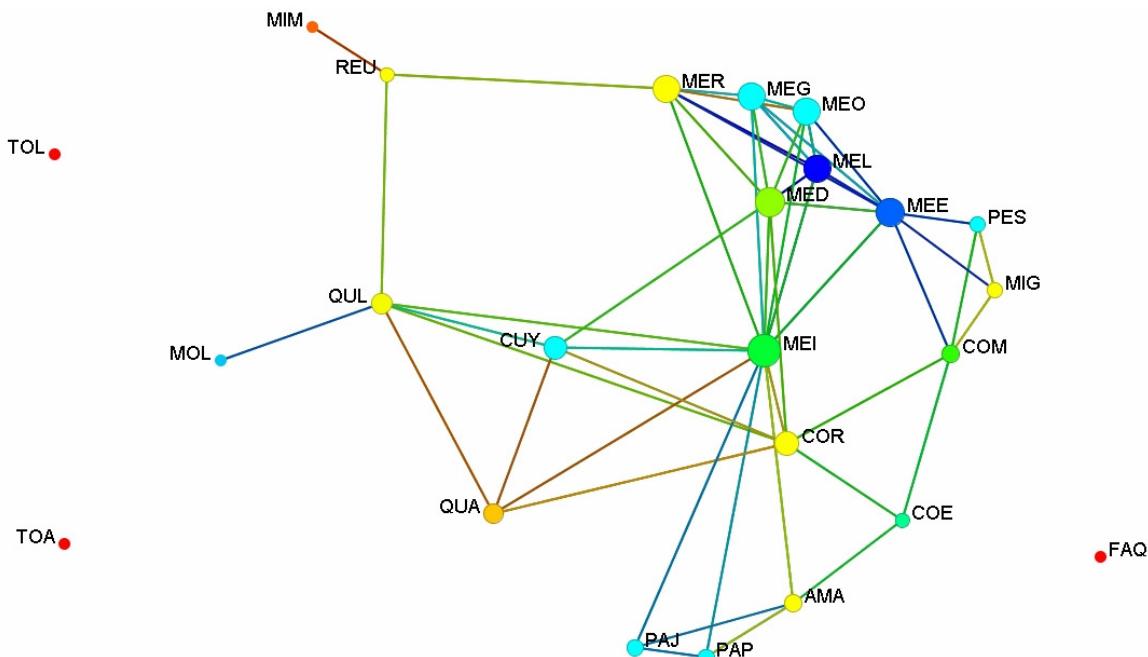


Figura 11.5 – Red de unidades domésticas del Chalía – Según Miceli y Guerrero (2007)  
Procesado por el autor en \*ORA Visualizer

La red analizada en esos trabajos consiste en 24 nodos; Miceli y Guerrero han encontrado que, a diferencia de los conjuntos de datos parentales que suelen venir con los programas más comunes de ARS, la distribución de grado de esta red obedece a una ley de potencia. La distribución sugiere que en la evolución de la red ha prevalecido una vinculación preferencial, tal que los individuos tendieron a sumarse a las unidades domésticas que mostraban mayor número de lazos formales o informales con el resto (Miceli y Guerrero

2007: 189-190). Partiendo de esta constatación elaboré un análisis cualitativo y cuantitativo complementario, que es el que sigue.

La figura 11.5 muestra el grafo correspondiente a la red; los nodos están dimensionados proporcionalmente y coloreados (decreciendo del verde al rojo) conforme al valor del eigenvector; para MEI, el nodo central, ese valor es 1, mientras que para MOL es 0,0553; para FAQ, TOA y TOL ese valor es naturalmente cero.<sup>62</sup> Por si resta alguna duda respecto del sentido de la centralidad de eigenvector, digamos que ella mide el grado en que alguien está conectado a otros que también lo están. Una entidad que tenga un número altísimo de conexiones pero con entidades que a su vez están aisladas, obtendrá una cifra muy baja (Bonacich 1987). Como se deduce de su diámetro y color, MEI es el objeto más importante no en todos pero sí en muchos respectos; participa de nada menos que 62 tríadas, un número que se diría desmedido para que lo acopie un solo vértice, siendo que en el grafo hay sólo 106 aristas en total. Con un valor más bajo de centralidad, a pesar de sus diferencias en otros órdenes MEG, MEL y MEO son los más similares cognitivamente respecto del conjunto [*cognitive similarity*=0,2134], mientras FAQ, TOA y TOL son los más parecidos entre sí [*cognitive resemblance*=0,8080]; ambos guarismos se computan por díadas y son normalizados. Similitud cognitiva denota en este contexto una percepción semejante del entorno.

QUL y REU también difieren algo en su relevancia y posicionamiento, pero en contraste con el resto ambos son los únicos *boundary spanners* de la red; estos *spanners* son también llamados puntos de articulación o guardianes de puertas [*gatekeepers*]; típicamente poseen un número bajo de vínculos pero son críticos para la integridad del conjunto; el promedio de *boundary spanning* de esta red es muy bajo (0,0833 contra 1 de máximo) lo cual implica que se pueden remover cualquiera de 22 de los 24 nodos vinculados sin que se generen redes separadas. Ambos exhiben también exclusividad completa, es decir conexiones estructuralmente únicas con otras entidades (Ashworth y Carley 2003). REU es concretamente el *boundary spanner* potencial (0,2078 contra 0,0417 promedio); los nodos que califican como tales son característicamente altos en centralidad de *betweenness* pero bajos en centralidad total de grado, por lo que se sabe que están en situación de actuar como vínculos entre grupos de entidades (Cormen y otros 2001). También MIM y MOL son excepcionales por su alto valor de constreñimiento (Burt 1992: 55), el máximo posible a decir verdad; son entidades imposibilitadas de actuar debido a sus ligaduras con otras entidades; participan de la red, ciertamente, pero a título más precario que el resto de los miembros.

Siete de los nodos son *interlockers* y los diecisiete restantes son entidades radiales; esto significa que ambas clases de vértices participan de un número alto y bajo de tríadas respectivamente. La proporción entre ambas variedades constituye una pauta para la comparación de redes que se utiliza crecientemente, sobre todo en ambientes corporativos, a fin

<sup>62</sup> No interesa qué significan aquí los nomencladores ni de qué naturaleza empírica sean los nodos a los que corresponden. Mantener un cierto nivel de abstracción impide que se menoscabe el carácter general de la analítica, adhiriéndola a las peculiaridades de un objeto eventual.

de caracterizar las distintas arquitecturas organizacionales (Carley 2002). De todos los nodos existentes, MIM y MEI comparten el hecho de rayar más alto en la complementariedad de su conocimiento (respecto de la red al menos); la medida computa los *bits* de conocimiento que una de las dos entidades posee y la otra no; el *expertise* cognitivo relativo permite normalizar la medición para adaptarla a la comparación de redes muy diversas (*Ibidem*).

El cuanto al conjunto de la red, el coeficiente de *clustering* (Watts-Strogatz) es de 0,5438, indicando que de ningún modo podría tratarse de un grafo aleatorio; hay buena circulación de información en la red a niveles locales y la estructura es más bien descentralizada. Hay una probabilidad ligeramente más alta de la media de que los nodos vinculados a un tercero estén vinculados entre sí; en redes aleatorias ese coeficiente estaría en el orden de 0,005 o menos.

Entre los indicadores de centralidad, el índice de *betweenness* es de 0,2521 y el de cercanía [*closeness*] de 0,0981. A pesar de ser una red pequeña, el bajo índice de cercanía involucra que no hay individuos o emplazamientos que puedan monitorear mucho mejor que el resto el flujo de información o lo que sea que circule por la red; como diría Foucault, la red no es panóptica: no hay un punto desde el cual se tenga visión de todo lo que pasa en ella. El alcance de control (medido como el promedio de aristas de salida por nodo excluyendo los que tienen grado cero) es 5,4076. La distancia promedio (2,0524) establece que es un mundo relativamente pequeño en el que es poco probable que algún vértice se encuentre a más que un par de grados de separación de cualquier otro.

Aunque no hemos revisado lo más sustancioso (las tríadas, los cliques, las relaciones entre subconjuntos, los isomorfismos, la ejecución de simulaciones) detengo aquí el análisis, arbitrariamente, porque no alcanzarían las páginas de esta tesis para dar una idea de lo que resta. El paso que sigue consistiría en servirse de los mismos datos para obtener el inventario de motivos e isomorfismos, la clasificación ordenada de los motivos principales y la enumeración completa de los subgrafos mediante otros programas, tales como mDraw, Cfinder o Mfinder. Hay unas matemáticas complicadas detrás de estas posibilidades, pero sus dificultades ya están resueltas por alguien que lo pensó primero, lo programó y lo dejó implementado en el interior de lo que es, a todos los efectos, una caja negra. Todo lo que debí hacer fue cargar en una pieza de software una matriz de *spreadsheet* de 24x24 con ceros y unos en diversas coordenadas y presionar un botón virtual. Excluyendo las medidas a nivel de nodos y sus cruzamientos recíprocos (que suman algunos de miles de guarismos y que se multiplican conforme al diámetro del grafo) cualquier programa analítico actual arroja docenas de medidas normalizadas; mediando un poco de experiencia, ellas pueden resultar no sólo relevantes para comprender la lógica estructural del objeto sino fundamentales a la hora de la taxonomía y la comparación.

Pese a la profusión de lo que pasaría por ser jerga, para cada medida significante hay un repositorio de docenas de discusiones científicas que desentrañan su significado. Ni siquiera puede decirse que esta práctica, desde el punto de vista del usuario, sea cabalmente un enfoque cuantitativo; ni modo: los resultados que se obtienen no son funciones a descifrar que remiten a los arcanos de las aritméticas, sino simples cifras predigeridas (usual-

mente valores de números reales entre cero y uno) que devuelven un valor posicional, hermenéuticamente comprensible, respecto de un vector de cualidades relacionales. No hay mucha ciencia: 0 no es nada, 0,1 es poco, 0,9 es mucho, 1 es lo máximo y 0,5 está en el medio; aun cuando la estructura de la red sea de altísima complejidad, la inmensa mayoría de los valores de posición, dimensión fractal incluida, se puede comprender como si fueran lineales.

De cara a una red social, en pocas palabras, los elementos de juicio que estamos analizando son expresivos de la naturaleza del conjunto social analizado, de las estructuras de sus relaciones, de sus formas de organización, de la posición comparativa de una red en relación a otras y del rol de cada entidad en ellas (Estrada 2009: 80-81). Compárese todo esto con el método impresionista de grilla y grupo de Mary Douglas (1978), elaborado en solitario, y se comprenderá la dimensión abismal de lo que hemos aprendido desde entonces.

## 12 – Las redes complejas del lenguaje y el texto

El lenguaje humano es muy importante para el estudio general de la teoría de redes debido a su gran disponibilidad, la precisión de los datos y el detallado conocimiento que tenemos de sus reglas organizacionales.

Masucci y Rodgers (2006)

Argumentaba Saussure en la primera década del siglo XX:

[E]n un estado de lengua todo se basa en relaciones; ¿y cómo funcionan esas relaciones?

Las relaciones y las diferencias entre términos se despliegan en dos esferas distintas, cada una generadora de cierto orden de valores; la oposición entre esos dos órdenes nos hace comprender mejor la naturaleza de cada uno. Ellos corresponden a dos formas de nuestra actividad mental, ambos indispensables a la vida de la lengua.

De un lado, en el discurso, las palabras contraen entre sí, en virtud de su encadenamiento, relaciones fundadas en el carácter lineal de la lengua, que excluye la posibilidad de pronunciar dos elementos a la vez. [...] Los elementos se alinean uno tras otro en la cadena del habla. Estas combinaciones que se apoyan en la extensión se pueden llamar *sintagmas*. [...] Colocado en un sintagma, un término sólo adquiere su valor porque se opone al que le precede o al que le sigue o a ambos.

Por otra parte, fuera del discurso, las palabras que ofrecen algo de común se asocian en la memoria, y así se forman grupos en el seno de los cuales reinan relaciones muy diversas. [...] Las llamaremos *relaciones asociativas*.

La conexión sintagmática es *in praesentia*; se apoya en dos o más términos igualmente presentes en una serie efectiva. Por el contrario, la conexión asociativa une términos *in absentia* en una serie mnemónica virtual (Saussure 1983 [1916], cap. 5 §1, pág. 197-198).

No es casual que Ferdinand de Saussure [1857-1913], el padre de la lingüística científica, sea considerado el fundador del estructuralismo tanto debido al nivel de abstracción en que situó su objeto como por sus énfasis relacionales. No se ha reparado suficientemente, sin embargo, en el hecho de que la categorización de Saussure remite de inmediato a una concepción reticular. Más todavía: al lado de las dos redes implícitas en las uniones, series, conexiones, alineamientos, grupos y cadenas referidos en la cita se extiende una visión global de la lengua como “un sistema en donde todos los términos son solidarios y donde el valor de cada uno no resulta más que de la presencia simultánea de los otros” (Cap. 4 §2, 1983: 188). El texto de Saussure no alberga entonces sólo un concepto de red simple, estático e invariante que actúa como el mapa del sistema o que denota uno entre otros de sus atributos, sino algo mucho más complejo que eso: la intuición de un juego procesual entre un número indefinido (pero seguramente elevado) de diversas redes concurrentes del lenguaje, las cuales establecen la posibilidad de conocer la lengua, el habla,

el texto o el discurso en múltiples planos, resoluciones, enfoques y escalas, yendo mucho más allá de lo inmediatamente observable.

Por más que las teorías lingüísticas contemporáneas son órdenes de magnitud más ricas que en los tiempos de Saussure, hoy, en la era de la Red de Redes, aquella visión relacional por autonomía ha ganado una nueva importancia estratégica, económica y política. Aunque casi nadie menciona a Saussure a estos respectos, la centralidad de los términos en las redes del lenguaje, la distancia semántica entre ellos, sus grados de separación y analogía y las pragmáticas que involucran son hoy factores a través de los cuales se está penetrando desde variados ángulos no sólo en la comprensión de las configuraciones formales de la lengua sino también en aspectos fundamentales del uso de la palabra hablada o escrita en la sociedad contemporánea.

Los “variados ángulos” a los que me refiero no son sólo una figura del decir. Pese a que en la mayor parte de los centros académicos de la lingüística y la lingüística antropológica apenas se haya registrado la existencia de la especialidad, en este momento se está estudiando reticularmente el lenguaje desde un número inusitado de perspectivas, incluyendo el estudio de la difusión de cambios lingüísticos a través de variadas topologías de red (Nettle 1999); la estructura y función de las redes léxicas en el plano cognitivo, ya sea mediante estrategias clásicas (Colins y Quillian 1969) o en base a redes complejas (Sigman y Cecchi 2002; Vitevitch 2006); las redes de similitud fonológica (Kapatsinski 2006), semántica (Moter y otros 2002; Steyvers y Tenenbaum 2005) u ortográfica (Choudhury y otros 2007); la formación de estructuras en redes semióticas (Mehler 2009); las redes de similitud distribucional que llevaron a algunos a pensar tras la aplicación del análisis espectral de grafos que “la sintaxis es de Marte pero la semántica es de Venus” (Biemann, Choudhury y Mukherjee 2009); las redes de co-ocurrencia o de co-locación, con sus estructuras de mundos pequeños (Ferrer i Cancho y Solé 2001); las redes de dependencia sintáctica más allá de las obvias nociones de vecindario (Ferrer i Cancho y Solé 2004; McDonald y otros 2005); las redes neuronales no supervisadas de inducción grammatical (Solan y otros 2005); las estructuras reticulares de auto-organización y comunidad de los sistemas de vocales (Schwartz y otros 1997; de Boer 2000), consonantes (Mukherjee y otros 2009), sílabas (Soares, Corso y Lucena 2005) y hasta números (Radev 2004); la inducción de categorías sintácticas y semánticas mediante grafos pesados con vectores contextuales y algoritmos de *clustering* (Finch y Chater 1992; Clark 2000; Widdows y Dorow 2002; Freitag 2004); la desambiguación del sentido de las palabras por encadenamiento léxico o por medición de las longitudes de *path* de las redes léxicas (Galley MacKeown 2003; Mihalcea 2005); el resumen automático de textos por medio del cálculo de la centralidad (Erkan y Radev 2004) o del seguimiento de caminos aleatorios en el interior de grafos de similitud (Otterbacher, Erkan y Radev 2008); la clasificación de rasgos de sentimiento y subjetividad en función de los cortes mínimos o del aprendizaje semi-asistido basado en grafos (Pang y Lee 2004; Goldberg y Zhu 2006); la resolución de co-referencias complejas con procedimientos de podado (Nicolae y Nicolae 2006); la detección de novedades articulando grafos altamente conectados con otras representaciones (Gamon 2006); la identificación de múltiples facetas temáticas con grafos

bipartitos y algoritmos voraces (Muthukrishnan, Gerrish y Radev 2008); el análisis de las citas académicas, la influencia científica y los proyectos colaborativos combinando estadísticas de red, factores de impacto y cálculo de prestigio con índice-*h* (Radev y otros 2009); la (micro)sociolingüística del cambio en el lenguaje (Milroy 1980; Marshall 2004); los *pathways* y redes que van revelando los análisis neurocientíficos basados en barridos de PET y fMRI de alta resolución (Catani, Jones y ffytche 2004; Green 2008; Agosta y otros 2009; Vannest y otros 2009; Ghosh y otros 2010); las técnicas de minería de Web basadas en grafos al servicio de estrategias de vigilancia política, mercadeo y contrainsurgencia (Schenker y otros 2005) y la desambiguación de frases proposicionales por inducción basada en caminos al azar (Toutanova, Manning y Ng 2004).<sup>63</sup> Hay muchas más referencias a técnicas de redes aplicadas al lenguaje y a estudios de casos en Mihalcea y Radev (2006), Biemann y otros (2007), Radev y Mihalcea (2008), Choudhuri y Mukherjee (2009) y Ting, Wu y Ho (2010).

Alcanza con observar las fechas de nuestras referencias para comprobar que en lo que va del siglo esta temática estalló y se ha vuelto imparable; en estudios de mercado y en campañas comerciales o políticas de todo tipo (por medio de la indexación, calificación y minería de datos de la Web) estas técnicas de grafos, combinadas con tácticas de adquisición de conocimiento y toma de decisiones, son hoy la piedra de toque para actuar con algún viso de eficacia sobre la red más grande y compleja que jamás ha existido y sobre las redes sociales virtuales que en ella se albergan. Lo que está en juego no es sólo una curiosidad intelectual sino un conocimiento que puede derivar (y que de hecho ya ha derivado) en un recurso de negocios, en una herramienta de control y censura o en un arma de lucha. Si me lo preguntan, yo diría que carece de sentido que los antropólogos (en especial los que se precian de dominar los arcanos del ARS, de la comunicación real o virtual y de la etnografía multisituada) sigan ignorando sus fundamentos teóricos, los efectos colaterales de sus propiedades y sus alcances en la práctica. Algo de todo esto, en consecuencia, comienza a investigarse justamente ahora.

•••

Lo primero a interrogar concierne a los aspectos estadísticos del lenguaje. De más está decir que en la última década la visión que se tiene de ellos ha cambiado, o más precisamente, ha vuelto a cambiar. En su formulación originaria el aspecto que nos interesa prioritariamente no guarda relación alguna con la idea de red, pero sí con el concepto de distribución de frecuencia: tal como hemos entrevisto, los fenómenos complejos (éste es el punto) exhiben distribuciones estadísticas peculiares, sean esos fenómenos susceptibles de pensarse como redes o no. En la prehistoria de todos los esfuerzos recientes por establecer la presencia de distribuciones [de ley] de potencia en el lenguaje se encuentra, sin duda, una de las leyes en apariencia más férreas de todas las ciencias humanas, la llamada

---

<sup>63</sup> Sobre conjuntos de corte mínimos, *paths*, procedimientos de podado, algoritmos voraces y otras operaciones algorítmicas sobre grafos véanse Christofides (1975); Evans y Minieka (1992); Golumbic (2004); Wu y Chao (2004); Golumbic y Hartman (2005); Osipenko (2007); Jungnickel (2008); Bang-Jensen y Gutin (2009); Paul y Habib (2010).

ley de [George Kingsley] Zipf [1902-1950], más tarde rebautizada como Pareto-Zipf o Zipf-Mandelbrot. La ley establece que mientras sólo unas pocas palabras se utilizan con mucha frecuencia en cualquier lengua o texto, muchas o la mayoría de ellas se utilizan muy rara vez:

$$P_n \sim 1 / n^a$$

donde  $P$  es la frecuencia de una palabra calificada en  $n^{\text{avo}}$  orden en un corpus de lenguaje natural y el exponente  $a$  es cercano a 1. Esto significa que el segundo ítem ocurre aproximadamente con la mitad de frecuencia que el primero, el tercero 1/3 tan frecuentemente y así el resto. Esto es exactamente lo mismo que lo que se ha llamado distribución  $1/f$ . Dicho de otra manera (a fin de clarificar el sentido de la LP a lo largo de todo este estudio) la frecuencia de una palabra es inversamente proporcional a su rango en la tabla de frecuencia.

Otra notación muy usada para expresar la misma idea es la siguiente:

$$Q(r) \approx Fr^{-1/a}$$

donde  $Q$  es la función de distribución de la probabilidad,  $r$  es el número de orden de la palabra,  $F$  es una constante que Zipf estimó en 1/10, y  $1/a$  es el factor crítico de la LP. Cuando mayor es el valor de  $a$  más rico el vocabulario; cuanto más rico, la curva que representa la frecuencia de cada palabra conforme a su número de rango desciende menos abruptamente, lo que implica que las palabras raras aparecen más a menudo. Zipf afirmó que  $a$  es igual a 1 (Zipf 1932; Mandelbrot y Hudson 2006: 303). En el estudio de grandes repositorios de lenguaje natural se encontró más tarde que los valores oscilan ligeramente entre 0,7 y 1,2 (Zanette y Montemurro 2005; Biemann y Quasthoff 2009). Nadie en la época de Zipf pensaba siquiera en exponentes fraccionales o en coeficientes que no fueran fracciones de números enteros; pero fuera de ese detalle su aproximación es endiabladamente buena.

En el texto original Zipf no utiliza desde ya el concepto de distribución de LP, sino que sugiere una distribución Riemanniana:

$$\Phi(r) = [\zeta(s)]^{-1} r^{-s}$$

donde  $s > 1$ ,  $r = 1, 2, 3, \dots$  (véase figura 12.1; obsérvese la “cola pesada” hacia el final de la curva, ya que ella acarrearía objeciones emanadas de su reminiscencia con distribuciones exponenciales, en particular log-normales [Perline 2005]).

No cabe ofenderse por la pretensión de que el principio de Zipf se autotitule “ley”; hasta hace unos años ése era un nombre usual para las probabilidades de distribución. Otra de las leyes de Zipf, menos conocida, es la Ley del Significado, una relación de ley de potencia entre el número de sentidos de una palabra,  $s$ , y su rango,  $r$ , en una lista clasificada por frecuencia. Esta ley se expresa como  $s \approx r^{-k}$ , siendo el exponente  $k$  un valor empíricamente estimado en 0,466. En varias ocasiones Zipf señaló también que las formas léxicas más usadas tienden a ser más breves; casi todas las palabras de mayor frecuencia, en casi todas las lenguas y los textos examinados, son en efecto más cortas. Cuando aquí digo en

casi todas las lenguas o textos, la aserción es primordialmente una afirmación de universalidad que clarifica con dramatismo la idea de independencia de escala: por encima de cierto umbral razonable y dejando de lado unos pocos idiomas (como el chino) prevalece la misma distribución, importando poco lo extenso que sea el texto, la lengua o el estilo en que esté escrito o lo exhaustiva que sea la muestra.<sup>64</sup>

Leyendo cuidadosamente los trabajos de Zipf se descubre que él no fue el inventor de la distribución que lleva su nombre, sino que ella fue señalada por primera vez por el taquígrafo Jean-Baptiste Estoup [1868-1950] en 1912 (o tal vez ya en 1907) y que Zipf no hizo sino confirmarla y suministrarle una explicación que hoy en día podemos o no aceptar (Zipf 1949: 56 n. 4; Petruszewycz 1973). Yo, en particular, no me expido ni a favor ni en contra del principio del menor esfuerzo; hoy casi nadie acepta esta racionalización. Pero que no existan explicaciones que subsuman los hechos observables bajo una teoría robusta no tiene nada que ver con la blandura de una ciencia ni con el atraso endémico de las disciplinas humanas: la misma distribución se presenta en las más avanzadas de las ciencias naturales, sin que en ninguna de ellas haya coagulado una prueba formal con carácter axiomático de la que pueda derivarse una explicación decente del estado de las cosas.

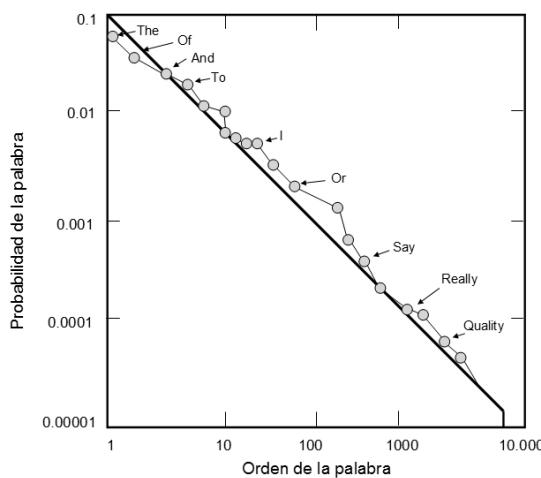


Figura 12.1 – Ley de Zipf – Basado en Schroeder (1990: 36)

La ley de Zipf, aunque impresionante, fácil de replicar y de hecho replicada infinidad de veces en la literatura de las ciencias complejas, debe tomarse con un grano de sal. Aun cuando esa clase de distribuciones habría llevado agua a su molino, en el ambiente de las ciencias complejas se asegura que Mandelbrot (1960) demostró que un mono escribiendo palabras al azar (o un mecanismo aleatorio de generación de palabras) resultan en una distribución igual o muy parecida. Parecería ser que la ley sólo refleja un típico artefacto estadístico. El mismo Benoît Mandelbrot [1924-2010], quien fomentó una propensión aleatoria, pintaba a Zipf como un chiflado autor de un libro espantoso, un enciclopedista “que no era matemático” obsesionado por una *idée fixe*, la de encontrar la ley de potencia

<sup>64</sup> Las leyes de Zipf pueden comprobarse con relativa facilidad utilizando repositorios en línea; para francés las frecuencias de las palabras se encuentran en [http://www.lexique.org/listes/liste\\_mots.txt](http://www.lexique.org/listes/liste_mots.txt); para inglés véase <http://www.jane16.com/zipf.txt> (visitados en abril de 2009).

en todos los campos de la conducta, la organización y la anatomía humanas, incluyendo el tamaño de los genitales (Mandelbrot y Hudson 2006: 164).

Sin que me logre commover en absoluto la línea crítica *ad hominem* elaborada por Mandelbrot a propósito de la ley de Zipf (y sin descartar empero la posibilidad de que la curva encontrada sea en efecto un artefacto estadístico) la mayor parte de las objeciones críticas formuladas hasta hoy en contra de la ley, estimo, ha de rechazarse. Más allá que sean o no dignas de impugnarse las explicaciones extravagantes basadas en el principio de la pereza humana, la singularidad del superlativo, la acción mínima de Maupertuis u otras hipótesis parecidas a las que era tan afecto George Zipf, no he hallado en el repositorio crítico una sola objeción a sus ponderaciones estadísticas que esté aceptablemente fundamentada, que haya soportado una prueba empírica y que no sea fruto del deseo del crítico de encontrar a toda costa su distribución estadística favorita, usualmente exponencial, lognormal, normal o de Poisson.

Por otro lado, ni las unidades de escritura producidas por un mono o por un generador aleatorio cuentan como palabras, ni existe la menor posibilidad de que esas secuencias estocásticas posean una distribución de ley de potencia, en la que debe haber un inmenso número de ocurrencias de secuencias de letras idénticas; la contraprueta de la afirmación de los epígonos de Mandelbrot se puede realizar (como yo lo he probado públicamente) en contados minutos programando desde cero: con un generador de hileras alfábéticas al azar y una planilla de Excel (o utilizando AutoMap), me apresuro en aclarar, sin que haga falta mortificar primates.

La impugnación del argumento aleatorista involucra aritmética elemental. Sin duda las combinaciones de una, dos o tres letras aleatorias tendrán una frecuencia de aparición relativamente alta, pero diferirán de las distribuciones reales porque todas las combinaciones serán igualmente probables. Las combinaciones posibles de (digamos) cuatro, cinco o seis letras son 456.976, 11.881.376 y 244.140.625 respectivamente; existiendo unos pocos miles de palabras en un texto cualquiera (menos de 160.000 en esta tesis), la posibilidad de que se encuentren palabras recurrentes con frecuencias parecidas a lo que es el caso en las lenguas naturales es, evidentemente, muy baja.

Aunque haya algo de demasiado bueno para ser verdad en los razonamientos de Zipf, la mayoría de las objeciones estadísticas que se han elevado son impropias. El prestigioso George Yule (1944), por ejemplo, en su bien conocido libro sobre frecuencia de palabras, rechaza la sugerencia de Zipf respecto del ajuste con una distribución de Riemann porque la concordancia con los datos reales no le pareció satisfactoria, pues para  $1 < s \leq 2$  la media de la distribución no existe (o no tiene sentido). Tras rechazar el binomial negativo por creerlo poco representativo de la distribución observable de las palabras, Yule conjeta que la distribución que mejor concordaría con el lenguaje real sería un modelo de Poisson compuesto; su famosa “característica *K*”, que mediría la riqueza de vocabulario, se funda en el supuesto de que la aparición de una palabra dada está basada en el azar. En ningún lugar de su tratado, sin embargo, Yule prueba el ajuste ni de esa ni de otra distribución contra algún repositorio concreto. Tal como hemos visto en el capítulo 10, por otra parte, la media no tiene mayor sentido en distribuciones que se apartan de los modelos de

Gauss, Poisson o Bernoulli; no son los hechos los que están en falta, sino –a no dudarlo– estos latosos modelos estadísticos.

Otros autores, como Herbert Simon (1955), trataron de justificar la distribución de Yule derivándola de un modelo estocástico, lo cual es un procedimiento claramente circular; I. J. Good (1969), por su parte, introdujo para mejor ajuste con una distribución de Poisson modificada un “factor de convergencia” o constante de normalización a fin de forzar la existencia de una media finita. Pero hasta donde conozco, ni Simon, ni Yule, ni Good, ni Herdan, ni Li, ni Sichel ni ningún otro autor del bando impugnador trabajó con datos reales o dejó de manipular ya sea los modelos estadísticos, las cifras tabuladas o las categorías lingüísticas a tratar. Llegaron a esgrimir pretextos tales como que “donde los cálculos de palabras se ejecutan sobre todos los tipos, incluyendo nombres, verbos, adjetivos, adverbios, pronombres, preposiciones y conjunciones, no debe sorprender que se encuentren anomalías que son inherentes a la superposición de poblaciones estadísticas enteramente distintas”, sintiéndose libres para seleccionar la *suite* de formas léxicas más adecuadas al propósito (Sichel 1975: 546). Igual que las figuras fractales que se desviaban de la norma geométrica fueron llamadas alguna vez “curvas monstruosas”, las “anomalías” que Sichel menciona son, por supuesto, las distribuciones que coinciden con la predicción de Zipf. En una postura semejante, Pollatschek y Raday (1981) han llegado a expresar que es mejor excluir determinadas palabras, como los artículos definidos e indefinidos en el inglés, debido a que ellas son tan predominantes que su inclusión podría generar curvas con largas colas que distorsionarían la estimación (cf. Holmes 1985).

Los críticos de Zipf ni siquiera reparan en que las clases de palabras difieren de una lengua a otra, en que las curvas cuya aproximación cabe comparar deben ser graficadas de la misma manera y que es en esas curvas con largas colas en caída (que se aproximarían a líneas rectas en gráficos log/log hasta el umbral de corte) donde reside la clave de la cuestión. Cuando siento que a veces es difícil entender a los estadísticos de la facción aleatoria, no es a la opacidad de sus operaciones matemáticas a lo que me refiero.

Como quiera que sea, la resistencia de los aleatoristas a los nuevos avances se está tornando residual y el prestigio de la ley de Zipf entre los cultores de las redes complejas se mantiene incólume (Axtell 2001; Ferrer i Cancho, Riordan y Bollobás 2005; Masucci y Rodgers 2006; Newman 2006; Ninio 2006; Nicolis y Nicolis 2007; Zanette y Montemurro 2007; Biemann y Quasthoff 2009; Malevergne, Pisarenko y Sornette 2009; Saichev, Malevergne y Sornette 2010).

A pesar de la contundencia que exhibe la ley de Zipf (malgrado sus innúmeros conatos de impugnación) la distribución de LP tiene mucho más sentido cuando se examinan estructuras del lenguaje más allá de la palabra. El ejemplo más dramático que permite visualizar y comprender esta distribución probablemente sea el de los nuevos estudios en lingüística estadística. A partir de comienzos del siglo actual estas exploraciones constituyen uno de los puntales que han revivido, incorporando modelos de redes decididamente innovadores, el campo de unas teorías de sistemas complejos que estaban dando ya algunas señales de languidez y de aposentamiento en un estado de meseta en prácticamente todas las áreas a excepción de las metaheurísticas.

El caso que propongo considerar seguidamente proviene de un *paper* de Ricard Solé, Vernat Corominas Murtra, Sergi Valverde y Luc Steels (2005), especialistas de la Universitat Pompeu Fabra, el SFI, Sony de París y la Vrije Universiteit de Bruselas, respectivamente. Tomando como punto de partida una muestra de texto, que en esta ocasión es el comienzo de *A room of one's own* de Virginia Woolf (A), los autores definen diferentes tipos de relaciones entre palabras (B), que en la figura 12.2 señalan relaciones de precedencia (flechas en azul) y relaciones sintácticas (flechas en negro). Los vínculos de la red ilustrada en (C) denotan la red de co-ocurrencia, o sea el universo potencial de frases que se pueden construir con el léxico que constituye el corpus. Un ejemplo de tales caminos es la frase indicada en rojo, “I will try to explain”. Los nodos están coloreados proporcionalmente a su grado, con colores más claros para las palabras mejor conectadas.

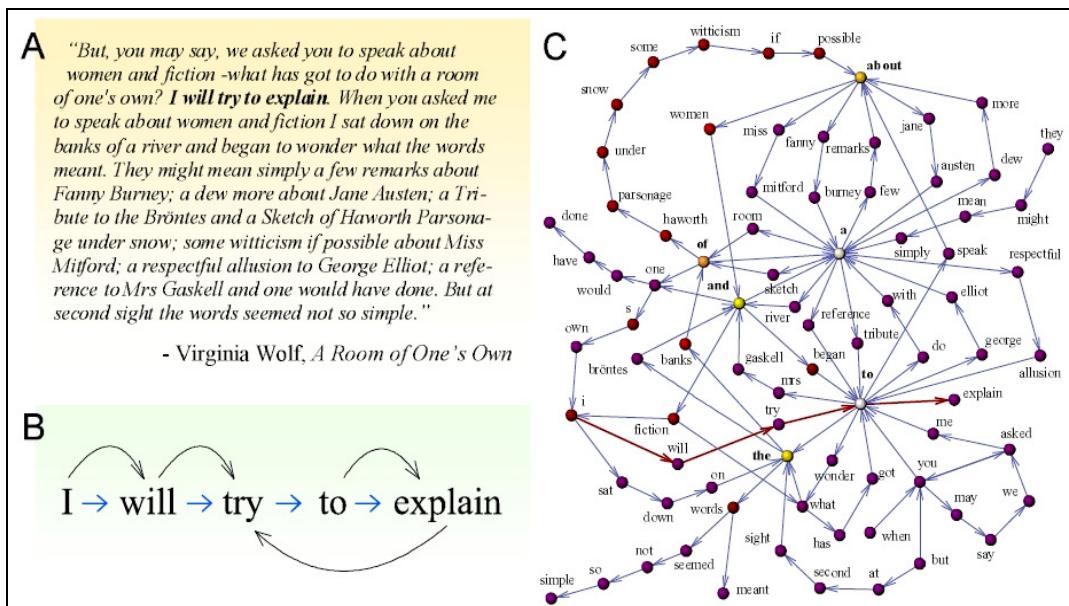


Figura 12.2 – Distribución independiente de escala en texto (1) – Basado en Solé y otros (2005)

La red representada en (D) en la figura 12.3 es la red sintáctica, cuyo marco descriptivo concierne a las relaciones sintácticas de acuerdo con la gramática de dependencia de Igor Mel'čuk (1985; 2003), quien ya había desarrollado, prematuramente, un modelo reticular en los años ochenta; en este procedimiento se establece como imperativo que los arcos del digrafo comiencen en complementos y finalicen en el núcleo de la frase, el cual, en frases bien formadas, ha de ser el verbo. La frase del ejemplo anterior aparece allí disecada en dos caminos diferentes que convergen en “try”. Tanto (C) como (D) muestran con claridad una estructura de mundo pequeño y una LP, la cual puede apreciarse todavía más rotundamente en el grafo (E), que ilustra la red de co-ocurrencia de un fragmento de *Moby Dick*.

Otros miembros del mismo equipo de investigación, Bernat Corominas-Murtra, Sergi Valverde y Ricard Solé (2007), han publicado otros descubrimientos notables referidos a las transiciones abruptas que se manifiestan en la adquisición del lenguaje desde la etapa de balbuceo hasta el dominio de una forma de expresión similar a la de los adultos. Como se muestra en la figura 12.4, después de un período susceptible de modelarse con grafos

de dependencia muy simples de dos o tres elementos, a los 25 meses se pasa a una etapa que puede representarse con grafos en árbol, en la cual elementos semánticamente degenerados como “there” o “it” actúan como *hubs*. En esta etapa todavía faltan muchas palabras esenciales en la sintaxis adulta (a, b). Finalmente, en la transición abrupta definitiva (c) los *hubs* pasan de ser elementos degenerados a ser elementos funcionales, como “a” o “the”, y la red se torna más densa, más rica, con estructura de pequeños mundos y resueltamente independiente de escala.

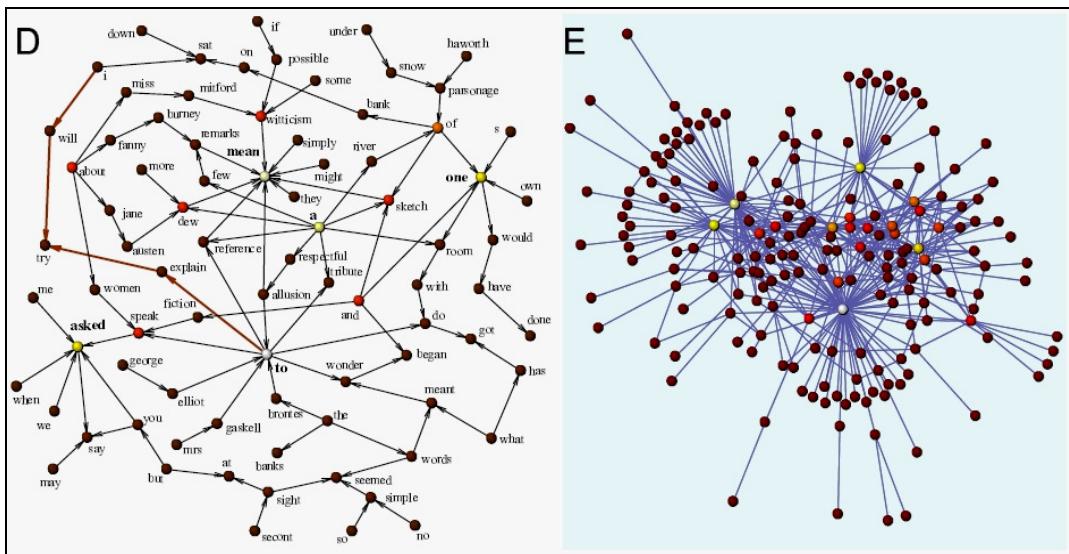


Figura 12.3 – Distribución independiente de escala en texto (2) – Idem

La diferencia fundamental entre las redes complejas y las tradicionales radica en que aquéllas están vinculadas a una dinámica de sistemas, mientras que éstas tienden a los modelos estáticos. Hasta la fecha el modelo preferencial de dinámica en estudios de la naturaleza IE de las distribuciones del lenguaje sigue siendo el de Sergey Dorogovtsev y José Fernando Ferreyra Mendes (2001), llamado modelo DM entre los expertos. En DM se trata al lenguaje a la manera usual de una red que se auto-organiza en la que los nodos son palabras y las aristas vínculos. Aunque esta palabra ha sido revestida de una connotación fantasmal, la auto-organización es un hecho indudable: pese a los conatos localizados e inconexos de la Real Academia, no hay un sujeto o una corporación que dictaminen cómo ha de organizarse el lenguaje. Con esta premisa, la analítica revela que en el lenguaje existe no una gran red indiferenciada sino dos redes articuladas según relaciones distintivas de LP, derivadas de otras tantas dinámicas evolucionarias.

El primer conjunto de relaciones corresponde a lo que podría llamarse el núcleo léxico, que es más bien pequeño y que se encuentra densamente conectado. La distribución de grado de las palabras en este núcleo difiere crucialmente de la distribución de grado del resto del lenguaje; su tamaño permanece constante aún cuando el lenguaje en su conjunto evolucione. La característica básica de la red del lenguaje, concluyen Dorogovtsev y Mendes, que es su distribución de grado, no es consecuencia de las reglas del lenguaje, sino que deriva de la dinámica evolucionaria general de los sistemas complejos. Ateniéndose a esta explicación o a otras parecidas, la existencia de vocabularios nucleares dentro

de las redes léxicas es hoy aceptada por varios investigadores de la misma escuela (Ferrer i Cancho y Solé 2001; Ninio 2006). Creo percibir una analogía entre esta idea y la hipótesis del vocabulario básico (o léxico no-cultural) de Morris Swadesh (1955), el creador de la desacreditada glotocronología; también este *kernel* era cronológicamente anterior y mucho menos propenso al cambio que el resto del vocabulario. Así y todo, el gesto más audaz del modelo DM se funda en trascender la especificidad del objeto (aunque ese objeto sea nada menos que el lenguaje) y en buscar en los principios epistemológicos generales de la dinámica, la complejidad y la evolución.

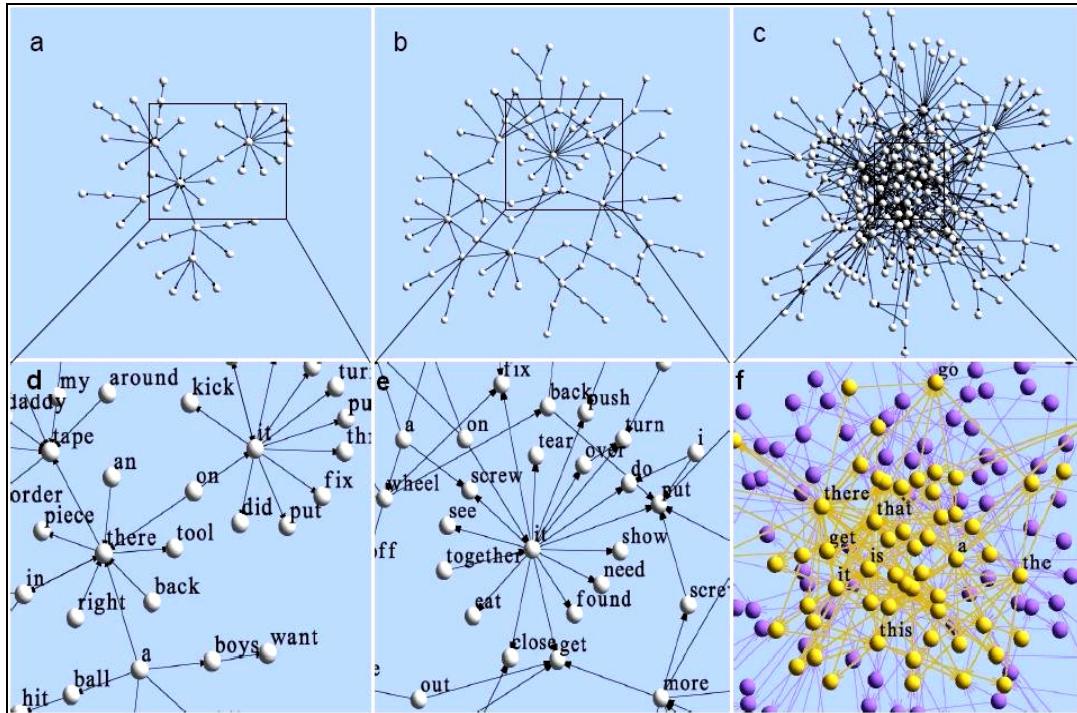


Figura 12.4 – Transición de árboles a red IE – Basado en Corominas-Murtra y otros (2007)

Los estudios reticulares del lenguaje, que no existían siquiera a fines del siglo pasado, dieron otro paso adelante con las investigaciones de Adolfo Masucci y Geoff Rodgers (2006), quienes refinaron los modelos barceloneses descubriendo diversas distribuciones independientes de escala en el lenguaje escrito, como si existieran diversas clases funcionales de vértices. Al igual que todos los autores en este registro, Masucci y Rodgers registraron con claridad el hecho de que la conexión entre la Ley de Zipf y las redes IE es directa. Más concretamente, siendo  $r$  el rango de una palabra, si se define su grado  $k$  como el número de otras palabras con las cuales se halla conectada sintagmáticamente, y  $P(k)$  como la distribución de grado de la palabra, tendremos que:

$$r(k) \propto \int_k^{\infty} P(k') dk'$$

En otros términos, en una red lingüística el grado de una palabra es equivalente a su frecuencia. Partiendo de este principio, los autores optimizaron el modelo dinámico DM para adaptarlo a la Ley de Zipf, considerada como la principal arquitectura jerárquica de la red.

Una elaboración de este problema en una escala más amplia pero de rumbos parecidos se encuentra en el libro seminal *Language Networks* de Richard Hudson (2006). El modelo de Hudson se desarrolló como continuación de la gramática sistémica de M. A. K. Halliday y la discontinuada Daughter-Dependency Grammar que el propio Hudson propuso en los años setenta.<sup>65</sup> Pese a que esta última fue recibida con entusiasmo, Hudson sintió apropiado explorar otras relaciones lingüísticas, de lo que resultó su Gramática de la Palabra [*Word Grammar*, en adelante GP] en la década siguiente.

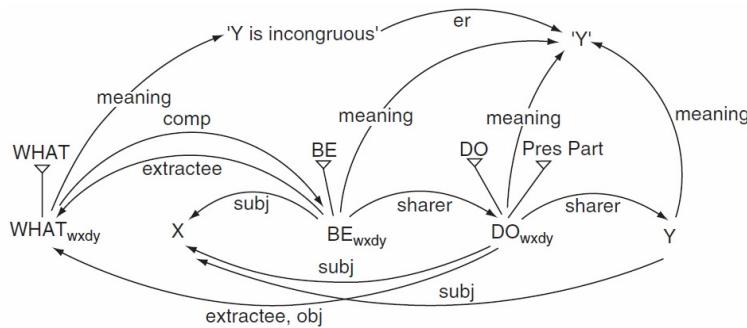


Figura 12.5 – Vinculación reticular entre semántica y sintaxis en la GP de Hudson (2006: 157)

En la GP los conceptos se consideran como prototipos semánticos y no como categorías susceptibles de definirse en base a condiciones necesarias y suficientes; una vez más, el modelo luce epistemológicamente sutil en su abordaje de la significación aunque su desarrollo formal es más escueto de lo que uno desearía (cf. Reynoso 1998: 50-58). En cuanto a la perspectiva reticular, los hallazgos de Hudson sugieren que las redes no son sólo un formalismo de representación conveniente, sino que la mente utiliza redes todo el tiempo [*all the way down*].

Asociados a estas estrategias se encuentran lenguajes y programas para modelado de redes complejas específicamente diseñados para redes de lenguaje, como Babbage, NetForge y el discontinuado WGNet<sup>++</sup>,<sup>66</sup> sostenidos por una comunidad de lingüistas y desarrolladores. La GP presenta al lenguaje como una red de conocimiento, vinculando conceptos sobre palabras (significados, significantes, clases de palabras, inflexiones, formas, sintaxis, semántica, pragmática) [fig. 12.5]. Si el lenguaje es una red, alega Hudson, es entonces posible determinar de qué clase de red se trata. Por el momento, parecería ser nada menos que una red IE y con propiedades de mundos pequeños, aunque una vez más Hudson (2006: 8, 128) dedica mucho menos empeño al asunto de lo que su importancia le haría acreedor.

Con el tiempo la GP fue derivando hacia la Nueva Gramática de Palabra. Para el lingüista contemporáneo, tanto como para el estudioso de las redes, es interesante observar la forma en que Hudson contrasta la estructura de dependencias de la estructura de frases.

La mayoría de los teóricos ha seguido la tradición americana de análisis de estructura de frase que comenzó con el Análisis de Constituyentes Inmediatos de los bloomfieldianos

<sup>65</sup> Véase también <http://www.phon.ucl.ac.uk/home/dick/wg.htm>. Visitado en abril de 2009.

<sup>66</sup> Véase <http://polymathix.com/babbage> – Visitado en abril de 2009.

[...] y que fue formalmente definido por Chomsky (2002 [1957]). Esto proporciona un análisis parte-todo en el cual las oraciones se dividen en frases sucesivamente más pequeñas hasta que las partes devienen átomos sintácticos, morfemas en algunas teorías y palabras en otras. En contraste, la tradición de la dependencia es mucho más antigua, con raíces en la gramática de Pāṇini (Bharati, Chaitanya y Sangal 1995) y en la antigua gramática del griego, el latín (Covington 1984; Percival 1990) y el árabe (Owens 1988). En esta tradición, la principal unidad de sintaxis es la palabra, y todas las relaciones gramaticales relacionan las palabras entre sí (Hudson 2006: 117).

En estudios cuyos resultados convergen con los anteriores, L. Antqueira y otros investigadores de la Universidad de São Paulo han aplicado conceptos de redes complejas para obtener métricas que luego fueron correlacionadas con puntajes de calidad de escritura asignados por jueces humanos. Los textos trabajados se mapearon como redes IE según modelos de adyacencia de palabras, calculándose seguidamente los rasgos reticulares usuales, tales como grado de entrada/salida, coeficiente de *clustering* y caminos más cortos. Se derivó otra métrica a partir de la dinámica del crecimiento de la red basada en la variación del número de componentes conectados. Se correlacionaron entonces las mediciones de las redes con los puntajes asignados por los jueces con arreglo a tres criterios de calidad (coherencia y cohesión, adherencia a convenciones de escritura y adecuación entre el tema y su desarrollo); se encontró que la calidad según los tres criterios decrecía en relación directa con los grados de salida [*outdegrees*], el coeficiente de *clustering* y la desviación respecto de la dinámica del crecimiento de la red.

Esta última magnitud es la menos conocida en la literatura y merece una descripción en detalle. Después de agregar a la red cada asociación de palabras se calcula el número de componentes (o *clusters*) conectados, lo cual define un rasgo topológico que es función del número de asociaciones y, en consecuencia, de la evolución en la construcción del texto. La medida se bautizó como desviación de la dinámica de componentes (*DDC*) y su cálculo se define así: siendo  $f_a(x)$  la función que asocia el número de componentes con el número  $x$  de asociaciones entre palabras ya insertadas en la red,  $f_s(x)$  la línea recta de referencia,  $L$  el total de asociaciones en el texto y  $N$  el total de vértices, la desviación de la dinámica de la red se calcula como:

$$DDC = \frac{\sum_{x=1}^L |f_a(x) - f_s(x)|}{N}$$

Una desviación alta (cercana a 1) indica que los conceptos clave se introducen en una fase temprana de la construcción del texto y que a partir de allí el autor repite constantemente sus argumentos, elaborando un texto sin progresión y de baja calidad. Entre los criterios empleados, la cohesión y la coherencia mostraron la correlación más alta, sugiriendo que los cuantificadores reticulares posiblemente capturen la forma en que el texto se desarrolla en términos de los conceptos representados por los nodos (Antqueira, Nunes, Oliveira y da F. Costa 2006).

Estas elaboraciones me traen a la mente el tratamiento informacional de la lengua que se desarrollara alguna vez en la Escuela Semiótica de Tartu en Estonia, un tema recurrente en mis clases de Semiótica de los años 80, una época en la cual la disciplina prometía

mucho más de lo que con el tiempo llegó efectivamente a entregar. Escribían, en efecto, Jurij Lotman y Boris Uspenkij:

Recordemos el conocido principio de A. N. Kolmogorov que define la cantidad de información de cada lengua  $H$  con la siguiente fórmula:

$$H = h_1 + h_2$$

donde  $h_1$  es la variable que permite transmitir el conjunto de una información semántica cualquiera, y  $h_2$  es la variable que expresa la flexibilidad de la lengua y permite transmitir un mismo contenido de varias formas diferentes, es decir, representa la entropía propiamente lingüística. A. N. Kolmogorov observaba que es justamente  $h_2$ , es decir la sinonimia en sentido amplio, la fuente de la información poética. Cuando  $h_2=0$  no puede haber poesía (Lotman y Uspenkij 1979 [1973]: 132)

A despecho de su aparente científicidad, la expresión de Kolmogorov se percibe difícil de operacionalizar en razón de las dificultades que han de encontrarse (conforme a la previsión de Nelson Goodman) cuando se trate de juzgar si dos o más expresiones distintas poseen “un mismo contenido”. En contraste con este método, el procedimiento reticular se ciñe a propiedades de lo elocución que son más puramente objetivas.

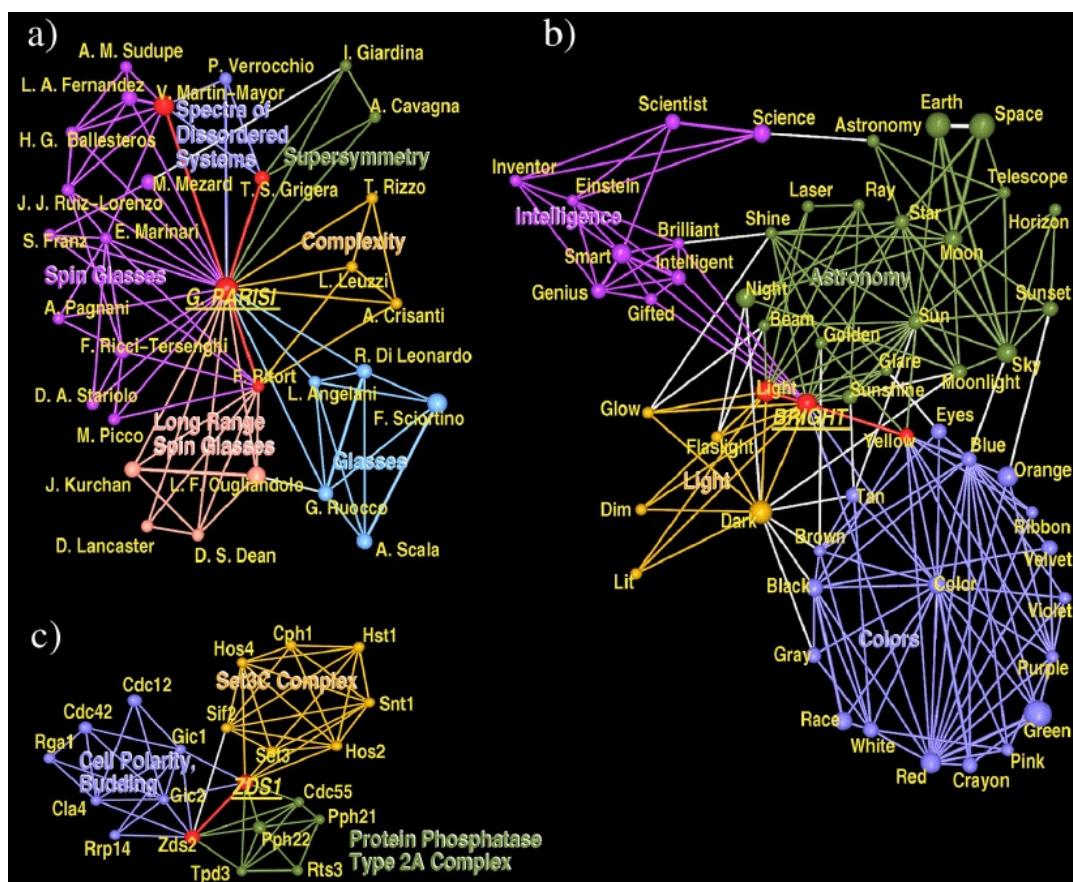


Figura 12.6 – Comunidades – Basado en Palla y otros (2005)

Un estudio realizado en el corazón institucional de las redes IE, empero, vinculó las palabras con sus significados, estipulando que dos palabras se considerarían conectadas entre sí cuando existiera una relación de sinonimia en el Diccionario Merriam-Webster. Los

resultados indicaron la existencia de un conglomerado gigantesco de 22.311 palabras del total de 23.279, con una longitud de paso promedio de 4,5 y un alto coeficiente de *clustering*,  $C=0,7$ , comparado con  $C_{\text{rand}}=0,0006$  para una red aleatoria equivalente. La distribución de grado, además, seguía claramente una pendiente de LP (Albert y Barabási 2002: 53). Otro estudio más amplio comprobó que una red semántica de 182.853 nodos y 317.658 vínculos mostraba una distribución IE con un exponente de grado  $\gamma=3,25$  y una estructuración reticular de naturaleza jerárquica (Ravasz y Barabási 2002).

Como una manifestación particularmente expresiva que elude el esbozo de las analogías aparentes (aludido una vez más por el principio de Goodman [cf. pág. 15]), en este renglón me parece oportuno contraponer los resultados de un refinamiento en la escala de tratamiento como los que se acaban de ver con los que se manifiestan cuando la escala es más abarcativa, incluyendo otros elementos aparte del lenguaje. Dando un paso más en el análisis de la distribución de palabras, Tamás Vicsek proyectó la idea al estudio de comunidades, verbales inclusive. Encontró así que la estructura compleja de comunidades parcialmente superpuestas es la misma en diversas clases de redes (de autores, de grupos, de proteínas) y tiene una distribución específica (figura 12.6; véase Palla, Derényi, Farkas y Vicsek 2005).

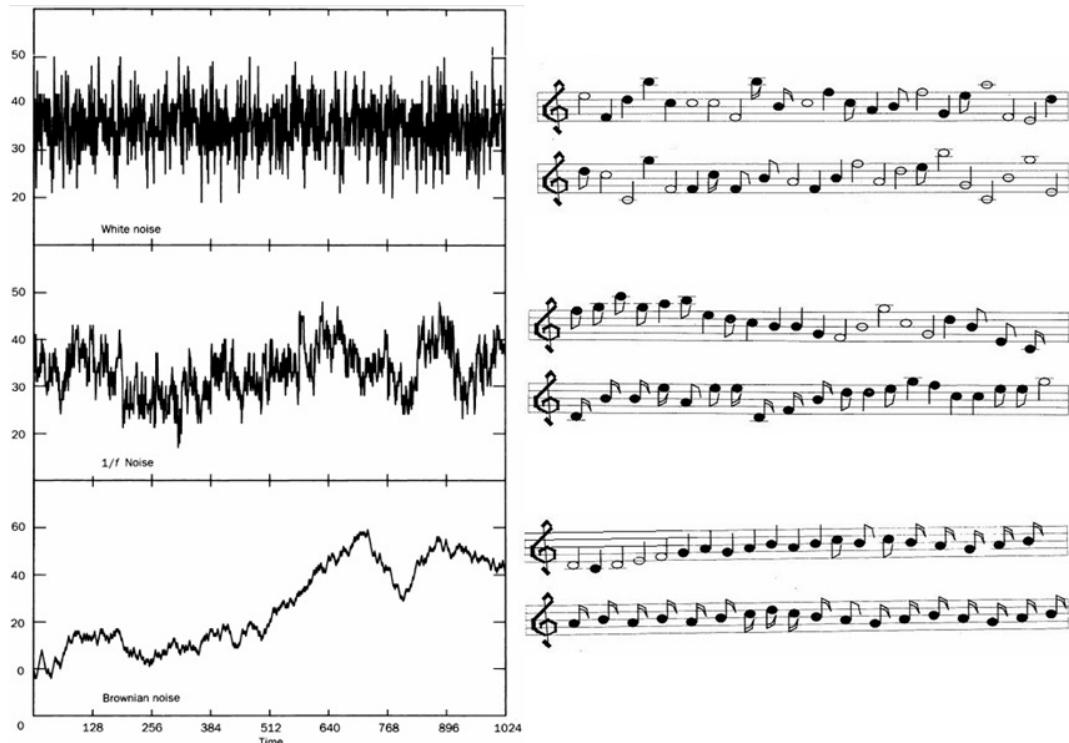


Figura 12.7 – Ley de Zipf en música – Secuencias musicales aleatorias, fractales y estocásticas.  
Basado en Gardner (1978)

También el grupo israelí del Instituto Weizmann que ha tomado la iniciativa en el estudio de motivos de redes y métodos de descubrimiento de subgrafos ha aplicado sus herramientas indistintamente a cuestiones de biología, al comportamiento reproductivo de la *Escherichia coli* y a las relaciones de adyacencia entre palabras en un corpus lingüístico,

tomando como punto de partida una definición de rol que remite a la antropología de Siegfried Nadel y los trabajos de la escuela de Pompeu Fabra (cf. Milo y otros 2004). Se analizará con mayor detenimiento el caso en el capítulo correspondiente a las clases de universalidad (pág. 199 y ss.), dado que primero se requiere interrogar los conceptos de sub-grafo e isomorfismo para que el tratamiento del objeto adquiera plenitud de sentido.

Una aplicación de análisis espectral y análisis de frecuencia muy renombrada en los ambientes de la complejidad concierne al uso de frecuencias  $1/f$  para la composición musical. Dicha frecuencia no es otra cosa que un aspecto de la Ley de Zipf: recordemos que la frecuencia de una palabra rankeada en  $n^{\text{avo}}$  lugar es  $1/n^a$ , donde  $a$  es un valor próximo a 1. El trabajo clásico en este campo es el de Richard Voss y John Clarke (1975), luego popularizado en un artículo de Martin Gardner (1978) en la sección de Juegos Matemáticos de *Scientific American*. Los primeros autores trabajaron con análisis separados ya sea de altura y de volumen sonoro, distinguiendo entre secuencias puramente aleatorias (ruido blanco, alta entropía, distribución  $1/f^0$ ), secuencias estocásticas (baja entropía, monotonía, ruido browniano o marrón,  $1/f^2$ ) y secuencias admisibles como música (ruido rosa, *flicker noise*, ruido de Barkhausen,  $1/f$ ,  $1/\tau$ ). La figura 12.7 muestra las secuencias temporales correspondientes y la musicalización en notas elaborada por Gardner mediante un juego de ruleta; aunque la presencia de esa distribución en los fractales era conocida, Gardner fue el primero en establecer la relación entre el ruido rosa y la fractalidad (cf. Dodge y Bahn 1986).

El campo está expedito para que alguien intente una relación entre las diversas músicas y las distribuciones reticulares. Ya se han entrevisto en esta tesis algunas puestas en relación de la música con la teoría de grafos (pág. 69); pero mientras que en el campo del lenguaje se ha trabajado bastante y ya forma parte del folklore intelectual pensar que los estilos musicales son de algún modo “lenguajes”, todavía se percibe un área de vacancia en materia de la relación entre la música y las redes complejas.<sup>67</sup>

**Consecuencia n° 9:** En suma, los especialistas en redes sociales, circuitos de intercambio, estadística sociocultural o epidemiología de las representaciones harán bien en pensar de nuevo sus modelos tomando en cuenta lo que ahora se sabe y los avances que han habido en un número crecido de disciplinas. Lo que aquí se nos presenta no se agota en una numerología impracticable ni en un trasplante conceptual forzado que va desde una ciencia dura hacia una ciencia blanda. Más bien sería al contrario, Pareto, Zipf y redes sociales mediante. Las principales distribuciones que aquí se encuentran, en efecto, surgieron en las ciencias humanas antes que en las matemáticas abstractas.

Lo que sí se manifiesta en estos casos es un conjunto de indicadores que con los debidos recaudos podrían utilizarse como orientadores heurísticos en diversos campos, incluyendo la fenomenología enigmática de las redes sociales virtuales (Facebook, Twitter y demás) y de sus potenciales culturales y económicos, de los que se habla mucho pero se sabe tan poco. La conclusión que surge de lo aprendido parecería ser que, en lo sucesivo, cualquier

---

<sup>67</sup> Véase una síntesis del estado del problema en <http://carlosreynoso.com.ar/musica-y-complejidad-curso-de-contexto-2010/>.

juicio formal sobre colectivos sociales, prácticas de comunicación y procesos de cambio debe determinar primero caso por caso la naturaleza de las distribuciones de grados y motivos presentes en las estructuras de las diversas redes que están bajo análisis, para luego encaminar lo que resta de la búsqueda (que en rigor allí recién se inicia) conforme a las propiedades distributivas o estructurales que se saben concomitantes a cada una de ellas.

El paso siguiente tal vez sea la inducción de los procesos que llevan (probabilística o determinísticamente, según cuadre) a que el fenómeno ostente esas características en lugar de otras: determinar a qué lenguaje pertenece la expresión. Después de todo, cada tipo de distribución es sintomático de ciertas clases de procesos, comportamientos, correlaciones y causas que recién se están comenzando a comprender mejor. Algunas distribuciones podrían ser próximas a otras que quizá sugieran hipótesis alternativas; de otras se sabe que serían altamente improbables o jamás podrían ocurrir en ciertos escenarios.

Por eso es que carece de sentido exponer, como suele hacerse en los *papers* de ARS, meramente los resultados cuantitativos o los trazados gráficos de las redes que se hallaron en la pesquisa, imprimir todas las tabulaciones posibles y dejar las cosas ahí. No son datos ni datos sobre los datos lo que se está necesitando. Ningún antropólogo debería dar cuenta de una distribución encontrada en sus datos sin posicionarla en el marco significativo de las distribuciones posibles y de su significado y en el contexto dinámico que describe (tanto en el plano formal abstracto como en el devenir de las singularidades de su historia concreta) cómo es que esas configuraciones han llegado a ser lo que son. Sólo así es posible calibrar, por otra parte, en qué medida el estudiioso y la teoría que despliega dominan el campo de posibilidades articulatorias del fenómeno que están tratando y se encuentran en condiciones de resolver, en el sentido que proponía Hopcroft (cf. pág. 13), una parte sustancial de los problemas que ese fenómeno plantea.

Predigo, en este sentido, que si la teorías de redes IE y las teorías relacionadas continúan su proceso de expansión se hará necesario que alguien escriba alguna vez un buen manual de distribuciones características en la vida sociocultural, bien razonado y convenientemente pedagógico, sin dar nada por sentado, sin alardes de incomprensibilidad, análogo al manual matemático de distribuciones de Evans, Hastings y Peacock (1993) o al precioso compendio de Kalimuthu Krishnamoorthy (2006). Ya hay antecedentes de esta iniciativa en al menos una ciencia semiblanda: en economía y ciencias actuariales existen al menos dos volúmenes en esa tesitura, el de Christian Kleiber y Samuel Kotz (2003) y el de Svetlozar Rachev (2003). También *Financial modeling under non-gaussian distributions* de Eric Jondeau, Ser-Huang Poon y Michael Rockinger (2007) apunta en esa dirección.

Una parte esencial del diagnóstico pasa entonces por establecer un cruzamiento entre la estructura del objeto y alguna de las distribuciones conocidas. Estadísticamente hablando las distribuciones posibles son numerosas: entre las que se me ocurren ahora (con alguna que otra homonimia o nombre colectivo) están la de Benini, Benktander, Bernoulli, beta, binomial, binomial negativa, de Bose-Einstein, Bradford, Bull, Burr, Cantor, Cauchy, Champernowne, Chernoff, chi cuadrado, de Davis, Dirichlet, doble gamma, doble Weibull, de Erlang, exponencial, geométrica, de Gauss, Gompertz, gamma, hiperexponencial, hipergeométrica, de Kumaraswamy, Laplace, Lévy, logarítmica, logística, lognormal, de

Moyal, multinormal, de Nakagami, Pareto, Poisson, Pólya, Rademacher, Rayleigh, Rice, secante hiperbólica, de Wigner o semicircular, Skellam, de Student, triangular, uniforme, de von Misses, Wald, Wallenius, Weibull, zeta, los tres tipos de valor extremo (Gumbel, Fréchet, Weibull) y por supuesto la distribución de Zipf, Zipf/Mandelbrot o LP (Kagan, Linnik y Rao 1973; Patel y Read 1982; Evans, Hastings y Peacock 1993; Kotz y Nadarajah 2000; Walck 2000; Balakrishnan y Nevzorov 2003; Zelterman 2004; Johnson, Kemp y Kotz 2005; Consul y Famoye 2006; Newman 2006).

No es necesario edificar ningún aparato distorsivo de cuantificación para que ellas se manifiesten: aunque nadie introduzca ningún número y aunque lo hayamos ignorado siempre, la más simple de las redes alberga más relaciones topológicas, geométricas, algebraicas, cualitativas y cuantitativas que las que hayamos podido imaginar.<sup>68</sup> Véase por ejemplo la visión que nos entrega el procesamiento de los datos del caso del Chalía (pág. 171). De ningún modo en todas las instancias pero sí en unas cuantas de ellas puede que las cantidades, los atractores, los sesgos, las formas alcancen a trasuntar información; e información *es*, como decía Gregory Bateson (1980: 62), una diferencia que hace una diferencia.

Es que en las distribuciones no hay sólo medidas sino fundamentalmente pautas. Cada una de ellas tiene su historia, diagnosis, idiosincrasia, significado y etiología. Una distribución es, además, un artefacto narrativo con una fuerte connotación espacial y visual, uno de esos *habitus* estructurantes de los cuales nos habla (empleando otras palabras) la nueva ciencia de la cognición matemática, desde Marcus Giaquinto (2009) en más. Encontrar cuál es la distribución que aplica con mayor probabilidad a un caso concreto involucra no sólo fundar un conocimiento del objeto que se nutre de un amplio campo transdisciplinario, sino habilitar de una vez por todas las posibilidades de su comparación sistemática y de una intervención coherente en las prácticas complejas que lo conforman.

Saber cuál entre todas las distribuciones converge mejor con los datos es tarea necesaria pero inextricable, pues tampoco ostenta cada una su nombre en la frente; a veces obtenemos respuestas antagónicas atinentes a su identidad formulando preguntas apenas dispersas. Igual que sucede con los venenos en el peritaje forense, el análisis sólo proporciona respuestas a las preguntas que efectivamente se hagan. Cada variante de distribución debe perseguirse con una probabilidad de aproximación incierta mediante pruebas estadísticas en extremo disímiles y (en lo que a la LP ataÑe) todavía mal conocidas. Ya no se aplican tanto las pruebas de Shapiro-Wilk, Jarque-Bera, Cramér-von Mises, chi cuadrado o Kolmogorov-Smirnoff, sino que más bien cuadra pensar en variaciones de los *tests* de Kui-

---

<sup>68</sup> Esto implica, por añadidura, que en la ciencia de las redes no se sostiene la distinción entre estrategias cuantitativas y cualitativas: toda red posee simultáneamente cualidades bien definidas (expresables en términos topológicos, algebraicos, lógicos, algorítmicos, estéticos o discursivos) al lado de una infinidad de aspectos susceptibles de cuantificación. Si bien estas pautas no cubren todo lo que es posible pensar sobre nuestro objeto, no es menester imaginar conceptos totalmente ajenos a nuestra mirada antropológica para dar con ellas; alcanza con modelar (por ejemplo) en términos de redes para que ellas se manifiesten allí constitutivamente.

per, Lilliefors o Anderson-Darling (Jongeau, Poon y Rockinger 2007: 16-21; Saichev, Malevergne y Sornette 2010: 4).

Para colmo, los programas de análisis de redes todavía no ofrecen una prestación que reconozca las distribuciones que en ellos mismos se desenvuelven ni es probable que lo hagan en el futuro próximo.<sup>69</sup> La identificación e interpretación de las distribuciones tienen no poco de arte o de hermenéutica: a veces ellas difieren entre sí en grado pequeño, y el grano grueso del *assessment* en ciencias humanas (o la impropiedad del diseño algorítmico) casi siempre arroja dudas de monta sobre la distribución que se tiene entre manos. Y como se ha probado hasta el hartazgo en tiempos recientes, son muy pocos los científicos que dominan los oscuros mecanismos del aparato probatorio y menos todavía los que llegan a comprender qué es con exactitud (valga la expresión) lo que las pruebas de significancia logran probar (Falk y Greenbaum 1995; Haller y Krauss 2002).

No sólo en nuestras disciplinas prevalece la incertidumbre, sin embargo: ya hemos visto que a propósito del lenguaje ni siquiera protagonistas de peso completo como Anatol Rapoport, Herbert Simon o Benoît Mandelbrot acertaban a visualizar las pautas no aleatorias que hoy se saben prevalentes. Tal parece que según sean las formas, las escalas, las exclusiones, la sensitividad de las medidas y los umbrales de corte con que se arrojen los datos en un gráfico cada quien verá, como en una prueba de Rorschach, imágenes inconciliables con las que percibe el científico de la puerta de al lado. Pero de todos modos las diferentes distribuciones son indicadores significativos, fuentes potenciales de comprensión, de aproximación de posturas y de consenso, elementos de juicio que ya no es más sensato seguir ignorando.

Cuando los libros a cuya escritura invito sean escritos, contribuirán a aclarar qué clase de distribución (y por qué) es susceptible de esperarse en qué escenarios, qué connota cada patrón que se vislumbra con alguna probabilidad en el mar de los números, qué interpretaciones se tornan inadmisibles y qué clases de universalidad o de especificidad pueden estar detrás de cada perfil estadístico. Ayudarán también a pensar las estructuras de manera creativa, a fundar nuestras consultorías de gestión práctica en una base un poco menos precaria y a exorcizar unos cuantos fantasmas del pensamiento complejo demasiado buenos para ser verdad.<sup>70</sup> Y pondrán sobre todo un modesto límite, como reclamaba René Thom, a la arbitrariedad de la descripción.

<sup>69</sup> Sin duda porque hasta hace una década se creía (y hay quien sigue creyéndolo) que todas las distribuciones son aproximadamente aleatorias, que en todas partes prevalece un mundo gris de ruido blanco, que nada puede saberse con certidumbre y que ningún resultado de investigación debe desviarse más de lo prudencial de lo que todos conocemos desde siempre.

<sup>70</sup> Numerologías inspiradas en la constante de Feigenbaum, duplicaciones de período en los datos del desarrollo tecnológico, distribuciones frutos del mal cálculo en criticalidad auto-organizada, el efímero concepto del filo del caos, el uso fetichista de la idea de emergencia, la causalidad circular, la diagnosis rudimentaria del principio de *fractals everywhere* (Reynoso 1986b; 2009).

### 13 – Clases de universalidad: Claves de la transdisciplina

Acicateados por el rápido crecimiento en la disponibilidad de computadoras baratas pero poderosas y conjuntos de datos electrónicos en gran escala, los investigadores de las ciencias matemáticas, biológicas y sociales han hecho un progreso sustancial en un número de problemas antes intratables, reformulando viejas ideas, introduciendo nuevas técnicas y poniendo al descubierto conexiones entre los que parecerían ser problemas muy diferentes. El resultado se ha llamado “la nueva ciencia de las redes” (Barabási 2002, Buchanan 2002, Watts 2004a), un rótulo que puede chocar a muchos sociólogos por engañoso, dada la familiaridad de los analistas de redes sociales con muchas de sus ideas centrales. Sin embargo, el nombre captura el sentido de excitación que rodea lo que es incuestionablemente un campo en veloz desarrollo –nuevos *papers* aparecen casi a diario– y también el grado de síntesis sin precedentes que esta excitación ha generado a través de diversas disciplinas en las que surgen problemas ligados a redes.

Duncan Watts (2004b: 1043)

Se requiere un ejercicio de paciencia ahora, porque habrá que incursionar en una física al principio distante; pero en la página siguiente y no más lejos que eso se verá de qué manera casi teatral la teoría de redes sociales consuma una poderosa integración disciplinar sin asomos de reduccionismo. En efecto, uno de los aspectos más interesantes de la teoría de redes IE es su vínculo con un conjunto de teorías físicas de los años setenta que a fines del siglo XX comenzarán a proporcionar fundamentos e intuiciones al conjunto de las ciencias complejas, realimentándose con las aplicaciones y las elaboraciones conceptuales que vendrían de las ciencias humanas en general y de las ciencias sociales en particular. Las teorías complejas en juego se refieren generalmente a las transiciones de fase de segundo orden, que son las que suceden de modo continuo.

La clasificación de las transiciones de fase en un grupo de primer orden y otro de segundo orden se remonta a Paul Ehrenfest [1880-1933]. En esta formulación la diferencia entre ambas clases se basa en su grado de analiticidad; en física contemporánea y más particularmente en termodinámica, la distinción radica en que en las transiciones de primer orden el estado del sistema no es uniforme sino que impera un régimen de “fase mezclada”, como cuando se hierve un cuenco de agua. El agua no pasa de estado líquido a gaseoso de manera uniforme, sino que durante la transición se forma una mezcla turbulenta de agua líquida y burbujas de vapor de agua. Estos sistemas de fase mezclada son difíciles de estudiar porque sus dinámicas son violentas y difíciles de controlar. Muchas transiciones importantes caen en esta categoría, pero desde el punto de vista sociocultural (aun cuando el ejemplo clásico de esta variante sea la transición ferromagnética) las transiciones más

relevantes tal vez sean las de segundo orden, que son las que se manifiestan de manera súbita.

A menudo (aunque no siempre) las transiciones de fase tienen lugar entre fases que poseen distinta estructuración en sus simetrías. Consideremos por ejemplo la transición entre un fluido (es decir, un gas o un líquido) y un sólido cristalino como el hielo. Un fluido está compuesto por átomos o moléculas dispuestos de una manera desordenada pero homogénea; se dice entonces que exhibe simetría translacional continua, ya que cada punto dentro del fluido posee las mismas propiedades que cualquier otro punto. Un sólido cristalino, en cambio, está hecho de átomos o moléculas dispuestos en un enrejado regular ordenado pero no homogéneo. Cada punto del sólido no es similar a otros puntos, a menos que ambos se encuentren desplazados en igual medida respecto de alguna coordenada específica en el enrejado tridimensional. Cuando la transición ocurre desde una fase más simétrica a otra que lo es menos (como en la transición de un fluido a un sólido) se habla de ruptura de simetría.

Cuando se quiebra la simetría deben introducirse una o más variables adicionales para describir el estado de un sistema; en la transición ferromagnética, una de ellas sería la magnetización de la red. Dichas variables son ejemplos de lo que se denominan parámetros de orden, los que son también medidas del orden de un sistema; arbitrariamente se asignan un valor de cero para el desorden total y uno para el orden absoluto; en la transición de sólido a líquido o de líquido a gaseoso lo que hace las veces de parámetro de orden acostumbra ser la densidad promedio. Puede haber varios parámetros de orden posible; su elección está a menudo dictada por su utilidad (Herbut 2007: 2).

En 1965, el físico Leo Kadanoff había determinado que en la vecindad de los puntos críticos, donde ocurren transiciones del desorden al orden o viceversa, sistemas físicos muy diversos se comportan conforme a leyes de potencia. La invariancia de ese comportamiento refleja el principio de universalidad, el cual rige con independencia de la naturaleza del sistema; la palabra para designar este principio surgió en conversaciones sobre teoría de campo que Kadanoff sostuvo en un bar de Moscú con Sasha Polyakov y Sasha Migdal. La idea fundamental de Kadanoff consiste en el principio de que en las vecindades del punto crítico es necesario dejar de considerar los elementos por separado si es que se quiere comprender el comportamiento del conjunto; hay que considerar a aquéllos más bien como una comunidad de elementos que actúan al unísono. Los elementos deben ser reemplazados por cajas de elementos tal que dentro de cada caja todos se comportan como si fueran uno solo (cf. Barabási 2003: 75). Esto nos conduce a otra signatura de la complejidad (la sincronización), un tema en torno del cual se ha establecido una de esas “nuevas ciencias” que surgen cada cuatro o cinco años pero cuyo tratamiento hay que posponer por el momento (Pikovsky y otros 2002; Strogatz 2003; Manrubia y otros 2004; Radons y otros 2005; Wu 2007; Boccaletti 2008; Balanov y otros 2009)

La idea de mayor fuerza en esta teoría es que en las cercanías de los puntos críticos sólo existen unas pocas soluciones diferentes a cada problema; muchos problemas en apariencia distintos admiten una misma solución, lo que equivale a decir que pertenecen a la misma clase de universalidad: cambiar el objeto empírico del modelo no cambia los aspectos

esenciales de las respuestas. Lo que nos impacta más de lleno de todo esto es que en los fenómenos críticos las clases se definen a nivel macroscópico, describiendo el tipo de información que el sistema debe transferir sobre distancias largas (en relación con el tamaño de las unidades); en lugar de tratar el sistema en términos de sus unidades mínimas, reductivamente, lo que se hace es determinar una escala más molecular o (parafraseando a Geertz) una descripción más gruesa. Tanto la teoría como los experimentos han demostrado que este *scaling* es una de las claves de la universalidad y de los fenómenos colectivos tanto en las ciencias formales como en las humanas (Kadanoff 1999: 159-160).

En dinámica no lineal, termodinámica y mecánica estadística se dice que los sistemas cuyas transiciones de fase poseen el mismo conjunto de exponentes críticos pertenecen a una misma clase de universalidad. En teoría de redes complejas es posible vincular entonces cosas tan diversas como las relaciones personales, la Internet, los ferromagnets, las citas bibliográficas, la propagación de enfermedades y la percolación (Watts 2004: 65; Miceli 2007). En los estudios de auto-organización se reconocen pertenecientes a la misma clase fenómenos emergentes tales como la formación de patrones ondulados en dunas de arena, las manchas en pelajes o conchas de moluscos, la sincronización de cardúmenes y bandadas, las soluciones autocatalíticas o los nidos de termitas (Camazine y otros 2002). Que objetos de ámbitos tan diversos (al nivel de abstracción y a la escala adecuada) pertenezcan todos a unas pocas clases de universalidad es, a mi juicio, lo que hace que la transdisciplina resulte viable.

Sentando las bases de esta posibilidad, el físico Kenneth Wilson de la Universidad de Cornell propuso en 1971 una poderosa teoría unificadora de las transiciones de fase, conocida como teoría del grupo de renormalización, cuyo punto de partida es, una vez más, la invariancia de escala y la universalidad. Esta teoría afirma que las propiedades termodinámicas de un sistema en las cercanías de una transición de fase dependen de un número muy pequeño de factores (tales como dimensionalidad, simetría, presencia o ausencia de interacciones globales) y es insensible a las características microscópicas del sistema; a la escala adecuada, es suficiente entonces considerar unos pocos grados de libertad en lugar de los  $10^{23}$  que se estima constituyen a los sistemas macroscópicos reales más típicos (Herbut 2007: 1).

Esto merece ser dicho en otros términos, vinculándolo con lo que habíamos visto antes. Un escenario común a las ciencias sociales y a las ciencias duras es que ambas lidian con objetos que exhiben muchos grados de libertad, que interactúan entre sí de maneras complicadas y en forma no lineal, de acuerdo con leyes o principios que se comprenden poblemente o no se conocen en absoluto. Pero de algún modo es posible hacer progresos en la comprensión de esos sistemas aislando unas pocas variables relevantes que caracterizan la conducta de esos sistemas a una escala particular de tiempo o espacio y postular relaciones muy simples entre ellas. Esto puede servir para unificar conjuntos de datos numéricos y experimentales tomados bajo condiciones muy diferentes, y en eso radica el sentido de la universalidad. Cuando hay una sola variable independiente, las relaciones toman a menudo la forma de una ley de potencia, con exponentes que en general no son números racionales simples (Cardy 1996: xiii).

Wilson recibió un Premio Nobel por ese logro e inspiró a Mitchell Feigenbaum en su búsqueda de la constante universal que lleva su nombre, la cual también describe regularidades independientes de objeto allí donde no se sospechaba que existiera ningún orden. Todo lo que tenía que ver con bifurcaciones y auto-organización quedó incorporado de este modo (en detrimento de la teoría de catástrofes, cabría acotar) bajo un marco amplio, conexo y elegante, aunque sólo algunos años más tarde estas ideas convergieron con la complejidad, los fractales y el caos y algo más tarde todavía con la teoría dinámica de las redes (Kadanoff 1983: 47; Fáth y Sarvary 2005). Barabási lo expresa de este modo:

La universalidad se convirtió en el principio orientador para comprender muchos fenómenos dispersos. Nos enseñó que las leyes de la física que gobiernan los sistemas complejos y la transición del desorden al orden son simples, reproducibles y ubicas. Sabemos ahora que los mismos mecanismos universales que generan la forma de los copos de nieve también gobiernan la forma de las neuronas en la retina. Las leyes de potencia y la universalidad emergen en los sistemas económicos, describiendo la forma en que surgen las compañías y cómo fluctúan los precios del algodón. Explican cómo se agrupan en bandadas y cardúmenes los pájaros y los peces, y cómo difieren los terremotos en su magnitud. Son el principio orientador detrás de dos de los descubrimientos más intrigantes de la segunda mitad del siglo veinte: el caos y los fractales (Barabási 2003: 255).

Aquí cabe citar largamente un razonamiento aclaratorio, sin una palabra de más, ofrecido por el creador de la geometría fractal:

Un rasgo extraordinario de la ciencia es que fenómenos de lo más diversos y sin ninguna relación aparente pueden describirse mediante herramientas matemáticas idénticas. La misma ecuación cuadrática que aplicaban los antiguos para trazar los ángulos rectos de sus templos sirve hoy a los banqueros para calcular el rendimiento de un nuevo bono a dos años hasta su vencimiento. Las mismas técnicas de cálculo concebidas por Newton y Leibniz hace tres siglos para estudiar las órbitas de Marte y Mercurio sirven hoy a los ingenieros civiles para calcular las tensiones que soportará un nuevo puente, o el volumen de agua que pasa por debajo. Esto no significa que el puente, el río y los planetas funcionen de la misma manera, ni que un arqueólogo que trabaja en la Acrópolis deba poner precio a un título de Accenture. Igualmente, el viento y los mercados son cosas bien distintas [...]. Pero la variedad de fenómenos naturales es ilimitada, mientras que, aunque pueda parecer todo lo contrario, el número de conceptos y recursos matemáticos realmente distintos a nuestra disposición es sumamente reducido. [...] La ciencia es así. Cuando exploramos el vasto dominio del comportamiento natural y humano, encontramos que nuestros mejores útiles de medición y cálculo se basan en ideas sumamente básicas. [...] Así pues, no debería causar gran sorpresa que, con nuestro reducido número de herramientas matemáticas efectivas, podamos encontrar analogías entre un túnel de viento y la pantalla de Reuters (Mandelbrot y Hudson 2006: 131-132).

Una de las mejores caracterizaciones de los principios de universalidad en las ciencias complejas es la de Robert Rosen. La ciencia del caos –dice– nos proporciona comprensión sobre la naturaleza en general, independientemente del fenómeno o proceso que estemos observando. Nos permite, por ejemplo, estudiar la turbulencia como una cosa en sí misma, independiente de los fluidos turbulentos específicos. Un observador ortodoxo estudiaría, pongamos por caso, sólo el agua turbulenta, el aire o el aceite turbulento, y en tales casos *turbulento* sería sólo un adjetivo; un caólogo, en cambio, diría más bien que

*turbulencia* es el nombre de la cosa, y que el fluido particular es el adjetivo modificador circunstancial (Rosen 2000b: 149, 193). Esto es lo que los transgresores Jack Cohen e Ian Stewart (1994: 442) conciben como “complicidad” (= complejidad + simplicidad) entre inteligencia y exteligencia: la ocurrencia del mismo rasgo emergente en sistemas de distinta materialidad. Lo que Gregory Bateson llamaba la pauta que conecta es sin duda algo muy parecido a esto.

Aunque en las manos equivocadas esta clase de razonamientos corre el riesgo de tornarse excesivamente fisicista, el científico social puede encontrar inspiración en algunas de sus aplicaciones; el mejor ejemplo quizá sea el de los fenómenos dinámicos en redes complejas, en especial los que tienen que ver con procesos de emergencia. Los trabajos fundamentales en esta área sumamente formalizada y modélica son los de Newmann y Watts (1999a; 1999b). Muchos de los estudios subsiguientes en esa misma línea involucran percolación, tema que se tratará en detalle en el capítulo siguiente.

El primero que conozco que aplica consistentemente la teoría moderna de transiciones de fase al análisis de opinión es el de Janus Hołyst, Krzysztof Kacperski y Frank Schweitzer (2000). Basándose en la teoría del impacto social que es de uso usual en la sociología y la sociofísica contemporánea, los autores estudian transiciones de fase en formación de opiniones. Para ellos abordan dos modelos: (1) el primero se basa en un sistema de autómatas celulares (Reynoso 2006a: 195-220) que mapea sobre un grupo finito con un líder fuerte; en este sistema obviamente idealizado la gente puede cambiar su opinión pero no su emplazamiento; (2) el segundo consiste en personas que son tratadas como partículas brownianas activas, interactuando a través de un campo de comunicación. En el primer modelo son posibles tres fases estables: un conglomerado alrededor de un líder y un estado de unificación social. La transición a éste ocurre debido ya sea a la gran fuerza del líder o a un alto nivel de ruido social. En el segundo modelo se encontraron tres fases estables, que corresponden ya sea a una fase “paramagnética” (para ruido alto y difusión vigorosa), una “ferromagnética” (para poco ruido y difusión débil) y una fase con “dominios” espacialmente separados (para condiciones intermedias).

En años más recientes es particularmente destacable el análisis de la formación de opiniones en una población humana tratada como red IE por A. Grabowski y R. A. Kosiński (2005). En el estudio los individuos (los nodos de la red) se caracterizan conforme a su autoridad, la cual ejerce influencia sobre las relaciones interpersonales en la población. Luego toman en cuenta estructuras jerárquicas de dos niveles de relaciones interpersonales y la localización espacial de los individuos. Se investiga el efecto de los medios de comunicación de masas, modelados como estímulos externos que actúan sobre la red social en términos de formación de opiniones. Se encontró que el proceso de evolución de opiniones de los individuos ocurren fenómenos críticos. El primero de ellos se observa en la llamada temperatura crítica del sistema  $T_c$  y se relaciona con la situación en la comunidad, la que puede establecerse mediante cuantificadores tales como estatus económico, desempleo o criminalidad. Como resulta de las múltiples computaciones ensayadas, se determinó que en ciertas circunstancias específicas los medios de comunicación masivos efectivamente pueden provocar un re-armado de las opiniones en la población.

Cuando se pasa del plano procesual al estructural se comprueba que, a diferencia de los grafos abstractos, las redes empíricamente dadas poseen estructuras internas diferenciales, motivos, conglomerados, comunidades, tríadas, cliques, etc que son o bien formalmente imposibles o bien estadísticamente improbables en configuraciones aleatorias u holográficas. La figura 13.1, por ejemplo, muestra las trece clases de subgrafos dirigidos posibles entre tres agentes o vértices conexos, un elemento de juicio esencial en el estudio de las tríadas en psicología y sociología de grupos desde Georg Simmel y de los *pathways* en la bio-informática contemporánea (Caplow 1974; Holland y Leinhardt 1970; 1976; Davis y Leinhardt 1972; Wasserman y Faust 1994: 556-602).

Aquí conviene dedicar un párrafo a una importante precisión nomenclatoria. Las antiguas 16 clases de isomorfismos y la nomenclatura M-A-N derivada de Holland y Leinhardt (1970), utilizada por Wasserman y Faust (1994: 564-568), se encuentran casi en desuso en la bibliografía de biología sistemática, la cual es hoy por hoy el área más avanzada en el estudio de motivos reticulares. El antiguo esquema o censo de rotulación de las clases utilizaba tres o cuatro caracteres: (1) El primero indicaba el número de diádas mutuas en la tríada; (2) el segundo, el número de diádas asimétricas; (3) el tercero, el número de diádas nulas; (4) el último, si estaba presente, se usaba para hacer una distinción adicional. Los tipos que surgen de esta nomenclatura no pueden ser otros que 003, 012, 102, 021D, 021U, 021C, 111D, 111U, 030T, 030C, 201, 120D, 120U, 120C, 210 y 300. Los isomorfismos son ahora 13 y ya no 16, porque no se cuenta ni el grafo vacío (003), ni los dos grafos que poseen vínculos entre sólo dos elementos (012 y 102). Los grupos dedicados hoy a esta clase de estudios utilizan generalmente el diccionario de motivos de Uri Alon, que puede consultarse en línea.<sup>71</sup> En ese diccionario las nomenclaturas de la serie de la figura serían id6, id12, id14, id36, id38, id46, id74, id78, id98, id102, id108, id110 e id238. Programas como FANMOD y mDraw usan también esa notación.

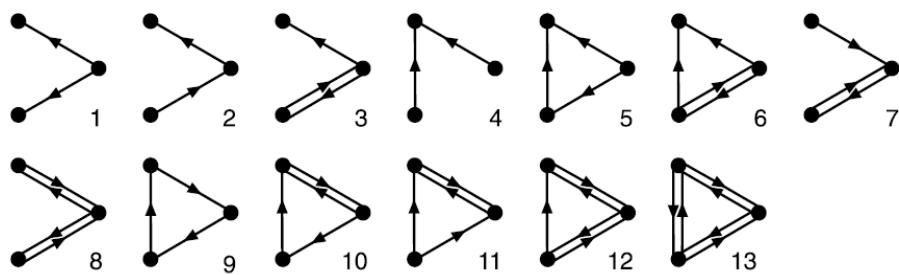


Figura 13.1 – Isomorfismos de subgrafos de tríadas – Diseño del autor

Cualquiera sea la clave nomenclatoria, estos motivos (patrones de conectividad cuya distribución y abundancia es distinta en diferentes clases de redes y que ocurren con frecuencias que no son las que cabría esperar por mero azar) se han descubierto importantes teórica y experimentalmente para determinar los procesos de formación y cambio de una red. En materia de redes biológicas se ha sugerido que los motivos son elementos de

<sup>71</sup> <http://www.weizmann.ac.il/mcb/UriAlon/NetworkMotifsSW/mfinder/motifDictionary.pdf>

circuitería recurrentes que corresponden a otras tantas clases de sistemas de procesamiento de información.

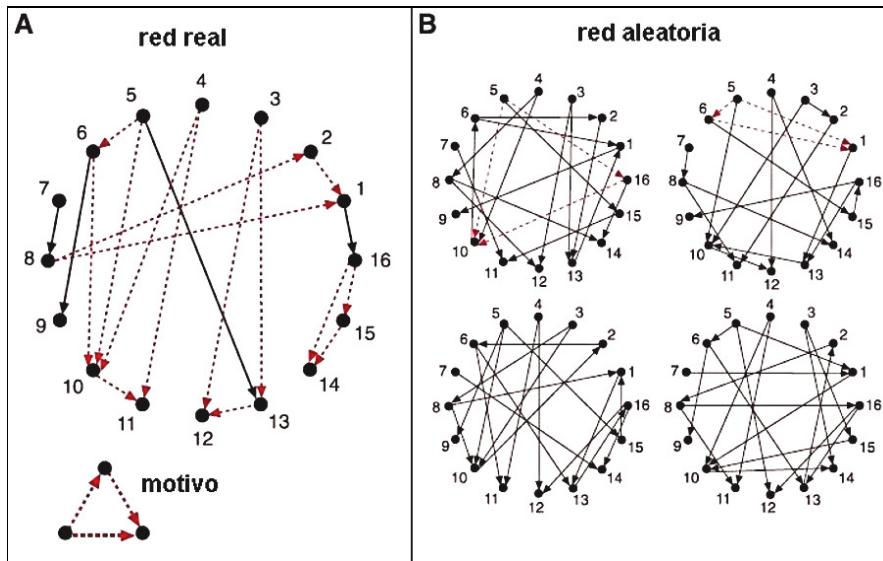


Figura 13.2 – Motivos en redes reales y en redes aleatorias  
Basado en Milo y otros (2002: 825)

Estas piezas simples [*building blocks*] que componen las redes complejas fueron reinventadas por un grupo de biólogos israelíes del Instituto de Ciencias Weizmann (Milo y otros 2002). Gran parte de la biología de sistemas que estalló a comienzos de este siglo se fundamenta en estas exploraciones; ellas han entrado a saco en propiedades reticulares que en ciencias sociales eran bien conocidas hace algunos años pero luego fueron olvidadas. En general se afirma que los motivos de redes poseen funciones bien diferenciadas conforme a su topología (Milo y otros 2004; Alon 2006); debido a que las demostraciones experimentales estuvieron lejos de ser definitorias (Ingram, Stumpf y Starck 2006) esa afirmación debe ser tomada con prudencia, pero su valor heurístico sigue siendo destacable. Llamo la atención sobre el hecho de que Milo y otros (2002) han descubierto que, desde el punto de vista de la topología interna de sus motivos, existen tres clases de redes: (a) las que procesan información (redes de genes, la red neuronal de *C. elegans*, los circuitos lógicos), (b) las que procesan energía (redes alimentarias) y (c) las que encarnan comunidades materiales de conocimiento (la World Wide Web). Está por verse si las redes sociales caen en una de esas tres clases o si constituyen una o más clases adicionales.

De todas maneras, los especialistas en la cuestión, ya sea que estudien moléculas, relaciones con gente conocida que está en prisión o palabras en el diccionario (o como también es habitual, las pautas que conectan todas esas cosas), saben que existen posibilidades estructurales à la Euler que definen que los isomorfismos teóricamente posibles son 13 para tres nodos, 199 para cuatro, 9364 para cinco y así sucesivamente. La pregunta a formular es si en todos los fenómenos aparecen indistintamente todos los isomorfismos distribuidos más o menos al azar, o si más bien hay algunos que son más peculiares de algunos fenómenos que de otros. Qué isomorfismos se dan en la práctica, cuáles no apare-

cen y cuáles son las razones para ese constreñimiento son asuntos de importancia científica mayor.<sup>72</sup>

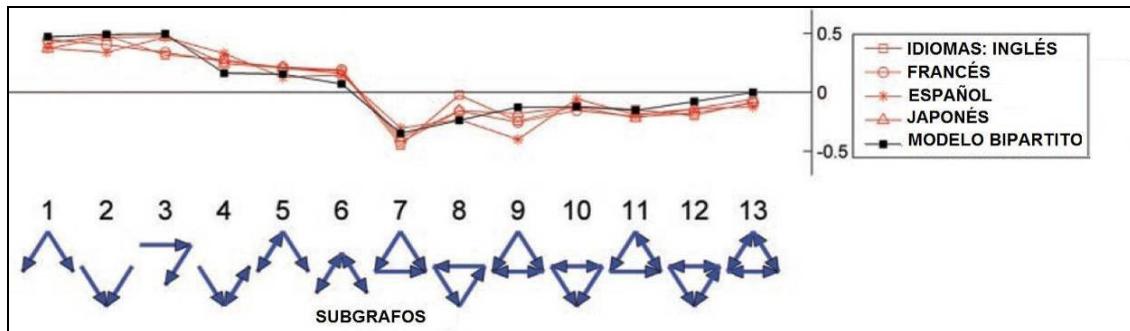


Figura 13.3 - Motivos lingüísticos – Basado en Milo y otros (2004: 1539)

Completando el razonamiento, la figura 13.2 muestra el contraste entre los motivos que se encuentran en redes reales y los que aparecen en redes aleatorias. Aunque en ambas clases de grafo de las que se muestran en la figura el número de aristas entrantes y salientes de cada vértice es el mismo, en la red real el motivo del bucle de realimentación hacia adelante (tipo 5, llamado *feedforward loop* o FFL, id38 en el Diccionario de Uri Alon, ó 030T en la nomenclatura M-A-N) aparece cinco veces, mientras que en los ejemplares aleatorios no aparece nunca o se muestra una vez sola. A diferencia de lo que podría ser el caso de los grafos arbolidados, asimismo, ninguna parte del grafo es un equivalente holonómico del grafo completo o posee alguna clase significativa de correspondencia estructural.

Dado que (como se ha visto en el capítulo precedente) los textos se pueden representar como redes, los mismos estudiosos del Instituto Weizmann analizaron las redes de adyacencia de palabras; en éstas cada nodo representa una palabra y una conexión directa se dice que ocurre cuando una palabra sigue directamente a otra en un texto. Los perfiles de significancia de las tríadas presentes en repositorios en diferentes lenguas y de distintos tamaños resultaron similares (figura 13.3). En todos los idiomas con los que se experimentó (inglés, francés, español y japonés) las tríadas 7 a 13 de la nomenclatura usada en el experimento aparecen poco representadas. Esto se debe a que en la mayor parte de las lenguas una palabra de una categoría tiende a preceder palabras de categorías diferentes.

Otro sentido en el que las redes reales traicionan las pautas de anidamiento propias de los hologramas y de algunos fractales estocásticos radica en el hecho de que las redes no son fuertemente recursivas y el anidamiento de “partes” dentro de los “todos” es de un orden de magnitud muy bajo: no encontraremos indefinidamente redes dentro de redes aumentando la escala pues más temprano que tarde encontraremos un corte, técnicamente correspondiente a la “cola” en caída de las curvas de distribución. En ninguno de los ca-

<sup>72</sup> Nótese, entre paréntesis, que en este contexto se usa el concepto de isomorfismo en un sentido distinto al que se utiliza en teoría básica de grafos, donde se dice que dos grafos son isomorfos si tienen el mismo número de vértices y aristas (cf. Aldous y Wilson 2000: 42).

sos tratados productivamente en la literatura el anidamiento de redes empíricas supera el número de Miller, esto es, el límite mágico de  $7\pm 2$  (Miller 1956).

En los últimos años se ha ido constituyendo en torno de los modelos y las aplicaciones que hemos entrevisto un nuevo campo, una ciencia rara, que algunos han llamado sociofísica y otros sociodinámica. Aunque sus nombres son sugerentes de un superado reduccionismo ontológico que parecería buscar la “causa” de los fenómenos sociales y culturales en las profundidades de la escala atómica, lo que justifica en rigor la existencia de este empeño es de orden claramente epistemológico: todos aquellos objetos (*a*) conformados por un gran número de elementos (*b*) con muchos grados de libertad, (*c*) sujetos a interacciones locales fuertes y (*d*) que a nivel global manifiestan fenómenos de emergencia y/o de auto-organización, pueden ser abordados *en algún respecto* mediante unas pocas clases de planteamientos formalmente parecidas, si es que no idénticas, a despecho de las enormes diferencias que pudieran existir entre las variables que describen el estado de los elementos individuales. Algo parecido a esto es lo que el antropólogo Gregory Bateson (1985) descubrió cuando se dio cuenta que los conceptos ciberneticos de retroalimentación [*feedback*] positiva y negativa le permitían describir y comprender mejor las no-linealidades de la dinámica social que sus tortuosas categorías de cismogénesis opositiva y complementaria.

Igual que la geografía humana o cultural, la antropología a veces se pone latosa con su exaltación de la diferencia y sus prédicas a favor de la des-naturalización de su objeto de estudio, en nombre de lo que ese objeto inherente o presuntamente *es*; desde ya, muchas veces estos reclamos se justifican por razones tanto científicas como políticas. Pero desde cierto punto de vista (y a eso voy cuando digo *en algún respecto*) no es relevante –decía Bateson– que el objeto de estudio sean nutrias, países en carreras de armamentos, aborígenes Iatmul de Nueva Guinea o esquizoides californianos; tampoco importa demasiado la exactitud y univocidad de los conceptos, la cuantificabilidad de las variables y parámetros del sistema o el conocimiento de ecuaciones que lo describen o de las leyes que lo rigen; lo que importa en el fondo es el carácter relacional del problema.

Es por ello que ciertos campos de investigación de la sociedad y la cultura urbana contemporánea (la formación de redes sociales virtuales, la difusión de innovaciones, el movimiento pedestre, el tráfico, los flujos migratorios, la dinámica de las multitudes, las crisis financieras, las cascadas informacionales y sobre todo la formación de opiniones en un ambiente urbano a través de relaciones cara a cara y comunicación oral) han llevado adelante con éxito perceptible esta clase de investigaciones.

La aplicación de autómatas celulares, modelos de Ising y otras herramientas de la física (computacional o estadística) posee una larga tradición. Por supuesto, a los humanos pensantes no les entusiasma ser tratados como un momento magnético aleatoriamente commutable, debido a que ellos forman sus opiniones mediante complejos procesos cognitivos. Pero para observar propiedades generales de la psicología de masas, dichas aproximaciones simples pueden ser suficientemente realistas (Stauffer 2003: 1).

Así como en otras regiones del campo reticular se han encontrado analogías entre las distribuciones características de sistemas de muy diferente naturaleza, en lo que concierne

a las comunidades que integran el tejido de una red se han elaborado matemáticas tan finas que ello ha posibilitado el acercamiento entre (por ejemplo) el estudio de las estructuras comunitarias en redes sociales y ciertos modelos concretos de la alta física que estaban necesitados de clarificación conceptual por vía de una referencia a lo concreto. En esta tesisura, Girvan y Newman (2004) han propuesto una medida de modularidad de una estructura comunitaria formada por un número  $q$  de grupos:

$$Q = \sum_{s=1}^q e_{ss} - a_s^2, \text{ con } a_s = \sum_{s=1}^q e_{rs}$$

donde  $e_{rs}$  es la fracción de todas las aristas que conectan los nodos en los grupos  $r$  y  $s$  y por ende  $e_{ss}$  es la fracción de aristas que conectan a los nodos del grupo  $s$  internamente. A partir de esto, se encuentra que  $a_s$  representa la fracción de todas las aristas que poseen por lo menos un extremo en el grupo  $s$  y  $a_s^2$  se interpreta como la fracción de vínculos que caería entre los nodos del grupo  $s$  dada una distribución aleatoria de vínculos. Es evidente que  $-1 < Q < 1$  (Reichardt 2009: 21). Los especialistas han llamado la atención sobre la similitud entre esta medida y el coeficiente de *assortativity* que hemos descripto en su oportunidad (véase pág. 147) y que define vínculos selectivos entre nodos que son afines en algún respecto. Las matemáticas subsiguientes son un tanto especializadas para referirlas aquí; se ha demostrado, por ejemplo, que la configuración de los índices de grupo que maximizan la modularidad puede interpretarse como la estructura comunitaria por autonomía. Formalmente, ella es equivalente a la negativa de la hamiltoniana de un *spin glass* de Potts con acoplamientos cada par de nodos. Los acoplamientos se dice que son ferromagnéticos a lo largo de los vínculos del grafo y fuertemente anti-ferromagnéticos entre los nodos que no están vinculados. Cuanto más baja la energía de este *spin glass*, “mejor” (o sea, más modular) es la estructura comunitaria.

El formuleo matemático y la terminología de laboratorio, en última instancia, importan poco: como sea, nunca se tendrá que desarrollar esto manualmente. Lo que sí importa es que la modularidad muestra una equivalencia formal profunda con un modelo de *spin glass*, lo cual nos permite derivar numerosos elementos de juicio sobre el comportamiento de la función de calidad. En particular, el isomorfismo nos abre la puerta de toda la maquinaria de la mecánica estadística a fin de derivar valores de expectativa para la modularidad de las distintas clases de redes aleatorias, las cuales son a su vez indispensables para la evaluación de la significancia estadística de los hallazgos brindados por el procedimiento de bloques modelado de esta manera.

También en los campos de formación de opiniones y resolución de conflictos ha surgido en lo que va del siglo un rico repertorio de modelos sociofísicos, entre los cuales se destacan el Bounded Confidence Model (BCM), el modelo de Sznajd y la simplificación de Ochrombel, el modelo de voto, la regla de la mayoría [*majority rule*], el modelo de Axelrod y diversas variantes del modelo de Ising, la teoría del campo medio y hasta la teoría de Landau (Bahr y Passerini 1998a; 1998b; Kacperski y Hołyst 1999; Weidlich 2000; Stauffer 2003; Fortunato 2005; Estrada 2009; Dehmer y Emmert-Streib 2009). Gran parte de esta sociofísica se ha elaborado en ambientes de modelado basado en agentes o en autómatas celulares, encontrando o reproduciendo conductas complejas de transición de

fase, histéresis, caos, multistabilidad, sub- o sobre-reacción dependiente de contexto y formación de mundos pequeños que también son perceptibles en la realidad.

No es posible examinar en el espacio restante éstas y otras contribuciones. Futuras revisiones del ensayo que se están leyendo incorporarán otros elementos de juicio difíciles de elaborar en este preciso momento, como éstos que siguen:

1. Las elaboraciones tempranas y tardías de Harrison White, quien ya en 1962 se arriesgaba a pensar que los acontecimientos individuales tales como la llegada y partida de personas hacia y desde grupos espontáneamente formados en una fiesta pueden pensarse más convenientemente como eventos aleatorios gobernados por leyes análogas a las que rigen los procesos de degradación radiactiva. Un par de años más tarde White también escribía que “[s]ería posible eventualmente encontrar paralelismos entre las estructuras de parentesco [...] y las modernas descripciones de la estructura atómica de cristales magnéticos y de las circuiterías de conmutación electrónica” (Freeman 2004: 124-125).
2. El compromiso inicial con Leo Kadanoff con el campo de los estudios urbanos desde la óptica de la dinámica forresteriana en la década de 1970, su posterior desengaño con los modelos sociológicos y la oportunidad perdida para la integración del campo en la teoría reticular de las transiciones de fase (Kadanoff 1999: 365-453);
3. El desarrollo del modelo de transiciones de fase en conexión con autómatas celulares y con el esquema de segregación de Schelling en una brillante disertación de Alexander Laurie (2003).
4. La aplicación del modelo de renormalización al análisis de conglomerado de series temporales en la distribución de tamaño de ciudades, redefiniendo de raíz y situando en un contexto dinámico la vieja teoría del rango-tamaño (Zipf 1949; Gar mestani, Allen y Bessey 2005; Strogatz 2009).
5. El vínculo entre estas dinámicas y los modelos cognitivos derivados de la sinergética de Hermann Haken, en particular el SIRN [*Synergetic Inter-Representational Networks*] (Portugali 2009).

Conjeturo que a medida que los modelos de transiciones de fase y clases de universalidad se vayan generalizando en la comunidad de las redes sociales (en estado puro o a caballo de la criticalidad auto-organizada, la teoría de la percolación, la dinámica de grafos, la geometría fractal, la dinámica no lineal) acabarán propagándose sin culpa hacia el estudio de la cuestión urbana. El modelo es suficientemente general y robusto para merecer un lugar en el mundo.

**Consecuencia n° 10:** Esta consecuencia involucra nada menos que una nueva definición de universalidad y un concepto razonablemente más articulado de transdisciplina de lo que hasta ahora ha sido la pauta en ciencias sociales. Según este espíritu, la transdisciplina deviene posible porque las estructuras de los problemas son pocas y son las mismas en todas partes, y no porque los especialistas se sienten a negociar y hablen en lenguajes

que los demás no entienden sobre cuestiones cuyo conocimiento no está equitativamente distribuido y a propósito de objetos que a los demás no interesan.

En este punto, conviene marcar la diferencia que a lo largo de este libro se ha puesto de manifiesto entre la correspondencia estructural de los fenómenos y procesos reticulares en diversos dominios y el supuesto de que esa correspondencia concierne a la ontología de los objetos reticulares o de las cosas sin más. Este isomorfismo inexplicado e inexplicable asoma con frecuencia en la cambiante Teoría-del-Actor-Red [ANT] de un Bruno Latour:

[C]uando los científicos sociales agregan el adjetivo “social” a algún fenómeno, ellos designan un estado de cosas estabilizado, un conjunto de lazos que, más tarde, puede movilizarse para dar cuenta de algún otro fenómeno. No hay nada erróneo en este uso de la palabra en tanto designe lo que ya está ensamblado en un conjunto, sin hacer presuposiciones superfluas sobre la naturaleza de lo que está ensamblado. Los problemas surgen, sin embargo, cuando lo “social” comienza a significar alguna clase de material, como si el adjetivo fuese más o menos comparable a otros términos tales como “de madera”, “metálico”, “biológico”, “económico”, “mental”, “organizacional” o “lingüístico”. En ese punto, el significado de la palabra se quiebra por cuanto ahora designa dos clases de cosas por completo diferentes: primero, un movimiento durante un proceso de ensamblaje; y segundo, un tipo específico de ingrediente que se supone difiere de otros materiales (Latour 2005: 2)

En gran medida concuerdo con Latour en el sentido de que las redes sociales (en tanto redes) no difieren *sustancialmente* de otras clases de redes. Pero la diferencia entre esta postura y la que aquí sustento finca en que para Latour los isomorfismos y las identidades de objeto se deben a una misteriosa propiedad ontológica, de carácter cósmico o al menos metafísico, que hace que todos los objetos y relaciones presentes en lo real sean de la misma naturaleza, antes que a las formas de abstracción practicadas en el plano de la epistemología con el fin de organizar el análisis primero y articular la acción sostenible después (cf. Harman 2009: 221 y ss.; Dehmer y Emmert-Streib 2009; Sierksma y Ghosh 2010).

Como quiera que sea, frente al *impasse* endémico de la inter- o multidisciplinariedad convencional, matemáticos abstractos y sociólogos de lo concreto pueden llegar a hablar ahora un mismo idioma por poco que ambos planteen sus problemas, por ejemplo, en términos de redes o de complejidad, o incluso sólo de conjuntos numerosos de elementos que cooperan entre sí. Esto no es una expresión de deseos; la prueba tangible de la fecundidad de esta aproximación es hoy en día abrumadora. Escribe, en efecto, Jörg Reichardt, quien no es un científico social sino un destacado físico teórico:

La investigación de datos provenientes de un amplio rango de fuentes que abarcan las ciencias de la vida, la ecología, las ciencias de la información y las ciencias sociales tanto como la economía, los estudiosos han demostrado que existe una íntima relación entre la topología de una red y la función de sus nodos [...]. Una idea central es que los nodos que posean un patrón de conectividad similar ejecutarán una función similar. Comprender la topología de una red será un primer paso en la comprensión de la función de los nodos individuales y eventualmente de la dinámica de cualquier red. [...] Podremos basar nuestro análisis en el trabajo hecho en las ciencias sociales. En el contexto de las redes sociales, la idea de que un patrón de conectividad se vincula con la función de un agente se conoce como la ejecución de un “rol” o la toma de una “posición”. [...] El estudio de las es-

tructuras de comunidades posee una larga tradición en el campo de la sociología, de modo que no es de sorprender que el ejemplo que encendiera el interés de los físicos en ese campo proviniera de esa disciplina (Reichardt 2009: 13).

Lo que hoy en día se está haciendo en estos términos no guarda proporción con la modesta comunicación interdisciplinaria entre antropólogos y matemáticos que alguna vez se hizo posible en torno de la “antropología matemática”, una pieza de época setentista hoy en día en retroceso si es que no disuelta: una actividad de nicho que produjo algunos *nerds* destacados en el ejercicio del simbolismo formal aplicado a la cosa étnica, pero que nunca pasó del estado de comunicación diádica a un intercambio más abierto, ni se propagó al resto de nuestra disciplina, ni llegó a comprometer sólidamente a ambas partes.

## 14 – Criticalidad auto-organizada, epidemiología y percolación

Una teoría general de los sistemas complejos debe ser necesariamente abstracta. Por ejemplo, una teoría de la vida, en principio, debe ser capaz de describir todos los escenarios posibles para la evolución. Debe ser capaz de describir la vida en Marte, si fuera a ocurrir. Este es un paso extremadamente precario. Todo modelo general que construyamos no puede tener ninguna referencia a especies concretas. [...] ¡Debemos aprender a liberarnos de ver las cosas como son! ¡Una visión científica radical, por cierto! Si al seguir los métodos científicos tradicionales nos concentrámos en una descripción adecuada de los detalles, perdemos perspectiva. Es probable que una teoría de la vida sea una teoría de un proceso, no una reseña detallada de detalles profundamente accidentales de ese proceso, tales como el surgimiento de los humanos.

Per Bak, *How nature works*, p. 10

Tras el nombre engorroso de criticalidad auto-organizada se esconde una idea de seductora simplicidad que ha dado lugar a una explosión de investigaciones en un número crecido de disciplinas en la última década. El fundador de la especialidad, el dinamarqués Per Bak [1948-2002], fue un personaje carismático que apostó a una intuición genial, a una denominación con las palabras justas, a un leve exceso de audacia y a un golpe de efecto; pero el éxito de la idea no se debió sólo a eso.



Figura 14.1 – Criticalidad con granos de arroz – Foto de Anna Levina,  
<http://idw-online.de/pages/de/news235364> - Visitado en diciembre de 2009

Tal como hemos visto en el capítulo precedente, en la física clásica un punto crítico es un punto en el cual un sistema cambia radicalmente su conducta y su estructura al pasar de

sólido a líquido, por ejemplo. En esos fenómenos críticos normales existe un parámetro de control que el experimentador puede variar para obtener ese cambio. En el caso del sólido que se derrite el parámetro de control es la temperatura. En los fenómenos críticos auto-organizados, en cambio, los sistemas alcanzan un punto crítico de acuerdo con su propia dinámica interna, independientemente del valor de cualquier variable de control. La idea crucial de Bak consistió en pensar que el arquetipo de un sistema crítico auto-organizado bien podría ser una simple pila de arena (o de arroz, figura 14.1). Arrojando un hilo de arena lentamente sobre una superficie se forma una pila. A medida que la pila crece ocurren avalanchas que transportan arena desde la cúspide hasta la base. En los modelos teóricos, al menos, la pendiente de la pila es independiente de la velocidad con que se arroja la arena. Ésta es la pendiente auto-organizada, la cual se llama así incluso en casos en los cuales la pila no tiene forma de cono o adopta una configuración irregular. En los sistemas de este tipo la caída de un grano de arena un poco más grande de lo común podría no tener consecuencias mayores, mientras que un evento menor (un grano de arena adicional) podría desatar una reacción en cadena y causar un deslizamiento de proporciones: el mejor ejemplo de una función no lineal.

Estas ideas fueron propuestas por Per Bak a principios de la década de 1990 y encontraron acogida permanente en las ciencias del caos, aunque el propio Bak no tenía a estas últimas en buena estima, mostrándose más bien partidario de las ciencias de la complejidad, los fractales y los sistemas complejos adaptativos (Bak 1994; 1996; Bak y Chen 1991; Jensen 1998). Su concepción posee la virtud invaluable de arrojar luz sobre el escurridizo concepto de auto-organización: la conducta de la pila de arena depende de la interacción entre los elementos y no de un control exterior. Dado que el estado de la pila determina cuánta más arena hace falta para alterarla, un grano de arena puede tener una influencia desmesurada o no tener ninguna; la magnitud de la influencia de un grano que cae está determinada por el estado actual, pero el estado siguiente está determinado por la caída del grano de arena. Las avalanchas involucran a los elementos interactuantes en la pila, según las relaciones de comunicación y vecindad que mantengan entre sí. Es en este vínculo y cercanía donde podemos entrever una primera analogía con el concepto de red.

El tamaño y frecuencia de avalanchas (como los de los terremotos y los motines) parece obedecer a una distribución [de ley] de potencia, semejante a la ley de Zipf o a la de Pareto: los eventos pequeños son los más frecuentes y los grandes los menos. Cuando se grafican esas distribuciones no resultan en el familiar histograma gaussiano campaniforme, sino en una línea que se diría recta y que desciende brusca y monótonamente desde los valores más altos a los más bajos. Como ya hemos visto hasta el hartazgo, la LP es una característica fractal (presente por ejemplo en el número de ríos que confluyen en una cuenca en relación con sus respectivas longitudes) que se encuentra en muchos ámbitos diferentes como la economía, la biología, la física y al parecer en un número creciente de aspectos de la cultura, que siguen siendo pocos pero significativos, sin que exista una teoría universalmente aceptada que explique su ocurrencia.

Más allá de la atmósfera ideal de los laboratorios, los investigadores de SOC se concentraron en sistemas naturales y sociales de los que se sabía que exhibían comportamientos

invariantes de escala. Aunque muchos de sus estudios fueron resistidos por los especialistas convencionales, a la larga la SOC se impuso como un fuerte candidato para la explicación de un gran número de fenómenos, incluyendo terremotos (ley de Gutenberg-Richter), secuelas sísmicas (ley de Omori), manchas solares, ondas de pánico y formación de paisajes (Tamás Vicsek), incendios forestales, epidemias, evolución biológica (sobre todo en relación con las teorías del equilibrio puntuado de Niles Eldredge y Stephen Jay Gould), guerras (ley de Richardson), fluctuaciones en mercados financieros y otros fenómenos de la naciente econofísica. Cuando surgió con fuerza el análisis de redes independientes de escala, se propuso también un número de modelos de SOC para generar y explicar dichas redes como fenómeno emergente (Paczuski 2005).

Hay una pequeña pero entusiasta comunidad de analistas de redes sociales que ha acogido con simpatía estas ideas de Per Bak; ellas, no obstante, han encontrado cierta resistencia debido a aspectos dudosos de su elaboración matemática original y a un número anómalo de experimentos que no pudieron replicarse o encontraron distribuciones distintas a las esperadas. La literatura sobre SOC en arqueología y en diversas ciencias sociales es ya de volumen considerable; dado que en su mayor parte no se refiere a modelos de red no habremos de tratarla aquí, pues ya lo hemos hecho en otras partes (cf. Reynoso 2006a: 290-303).

Entre los estudios que vinculan SOC con redes sociales y que sí son de relevancia destacan los de Gérard Weisbuch, Sorin Solomon y Dietrich Stauffer (2003), Arcangelis y Hermann (2002), Caruso, Latora, Rapisarda y Tadić (2004), Stollenberk y Jansen (2007) y Alexandre Steyer y Jean-Benoît Zimmermann (2000; 2005). Este último trabajo es de particular importancia porque sistematiza la literatura económica sobre difusión de innovaciones, aplicando el modelo de SOC con cierta elegancia. Los autores consideran que existen tres clases de trabajo sobre difusión en una clasificación que reproduczo agregando no pocos elementos de juicio:

- La primera categoría es la de los modelos pioneros de Frank Bass [1926-2006], Edwin Mansfield [1930-1997] y Everett Rogers [1931-2004]. Se los conoce como modelos logísticos y están gobernados por la lógica de la cinética química o más bien por metáforas tomadas de esa especialidad. En un mundo sin fricciones, agentes cuyo único rasgo es la receptividad individual tienen equiprobabilidad de encontrarse de a pares. Estos modelos describen una curva con forma de “S” e introducen conceptos tales como “innovadores”, “adoptadores tempranos” (Rogers), “secundarios”, “terciarios”, “cuaternarios”, “imitadores”, “mayoría tardía”, “rezagados”, etcétera. Esta es la clase de modelos que se aplicaba, considerablemente diluida, en el área de mercadotecnia en los años en que yo trabajaba en Microsoft.
- La segunda variedad es la de los modelos epidémicos. En ellos los agentes se localizan dentro de una estructura métrica que posee vecindades definidas espacialmente. La comunicación tiene lugar de un individuo a otro, de modo que este modelo es comparable a las redes de comunicación excepto por un factor individual de receptividad; los problemas de difusión se pueden comparar por ende con los modelos de percolación que se verán más adelante en este mismo apartado.

- La tercera categoría es la de las redes de influencia social en las cuales los agentes se sitúan en una estructura de red en la cual las influencias avanzan mediante una propagación de “avalanchas” contingentes a la topología de la red.

A través de un complejo razonamiento (que no es preciso describir aquí) los autores encuentran que el modelo de avalancha es el que mejor explica las instancias de difusión de innovaciones, el papel de los influyentes, de los innovadores y de los intermediarios de bajo nivel de centralidad, la influencia de la calidad de la comunicación, el papel de la experiencia de los individuos a lo largo del tiempo y la dinámica general de las reacciones en cadena.

El análisis de Xavier Guardiola y otros (2002) también desarrolla un esquema simple de difusión de innovaciones en una red social empleando una especie de modelo basado en agentes. En este modelo decidirse a innovar tiene un costo de *upgrade*; los agentes se caracterizan por una sola variable, que es su nivel tecnológico. No tan sorprendentemente, en el punto crítico las avalanchas de innovación muestran una conducta de LP; se manifiestan en ráfagas intermitentes separadas por largos períodos de quietud, una secuencia que tiene un aire de familia con la dinámica del equilibrio puntuado. El modelo de Guardiola no sigue en realidad el plan estricto de la criticalidad auto-organizada, debido a que en éste no se presenta un punto crítico discreto sino más bien una amplia región crítica en el espacio de parámetros. Salvaguardando la noción de avalancha propia del SOC, el modelado se desarrolla en base a una lógica termodinámica de transiciones de fase como las que hemos analizado en el capítulo anterior (pág. 193 y ss.).

Otros trabajos de esta misma escuela integran esta clase de razonamientos con teoría de juegos, modelos de agentes, economía de la cooperación y teoría de la decisión. El modelo es muy rico y sugestivo pero va bastante más allá del foco de la relación entre el ARS y la complejidad que estamos desarrollando. Por otra parte hoy prevalece una actitud prudente ante las vastas generalizaciones de los especialistas en SOC. Escribe Didier Sornette:

No hay consenso [sobre la SOC] debido a que la ausencia de una comprensión general impide la construcción de un marco de referencia unificado. Es opinión de este autor que la búsqueda de un grado de universalidad similar a la que se encuentra en las transiciones de fase termales críticas es ilusoria y que la riqueza de los sistemas alejados del equilibrio yace en la multiplicidad de mecanismos que generan comportamientos similares. Aun para el mismo modelo y dentro del mismo mecanismo, los autores a veces divergen con respecto a la identificación de la variable o el mecanismo relevante, lo cual refleja el hecho de que hay varias descripciones posibles de un sistema auto-organizado (Sornette 2006: 397).

La existencia de esas múltiples descripciones posibles es correlativa, a su vez, del hecho de que hoy se reconoce que los fenómenos críticos en el mundo de las redes ocurren en una amplia variedad de fenómenos: cambios estructurales en la red, emergencia de redes críticas independientes de escala, procesos de percolación, umbrales de contagio, transiciones de fase en modelos cooperativos, transiciones en pares co-evolutivos, transiciones entre regímenes procesuales, colapso de la red como tal, etcétera (Dorogovtsev, Goltsev y

Mendes 2008: 3). Uno de esos fenómenos, tal vez el que se ha estudiado con más rigor entre todos ellos, es el que toca examinar ahora.

•••

Con un historial científico menos dependiente del éxito de mercado de un libro *best seller* o de un incipiente culto a la personalidad, entre los especialistas en complejidad la teoría de la percolación tiene harto mejor imagen y fundamentación formal que la criticalidad auto-organizada y un atractivo que no le va en zaga. La idea de percolación surgió hace unos cincuenta años para estudiar algo tan aparentemente ligado a un fenómeno circunscripto como lo es el paso de un líquido a través de un medio poroso desordenado, o sea con canales bloqueados al azar. Visto en cierta forma, el estudio concierne a la estructura de componentes de sub-grafos aleatorios en un grafo, lo cual nos remite exactamente a la clase de problemas que estudiaban Erdős y Rényi. En la teoría de la percolación los componentes se llaman conglomerados [*clusters*]. Para obtener nuestro grafo al azar seleccionamos vértices o aristas con una probabilidad  $p$ . Usualmente, el grafo subyacente es un enrejado o un grafo similar a un enrejado que puede ser orientado o no.

Dos ingleses, un matemático y un ingeniero, estaban estudiando bajo qué circunstancias se obstruye el filtro para la entrada de aire en las máscaras de gas (Broadbent y Hammersley 1957). Con esas máscaras se puede respirar bien mientras las impurezas (polvo, esporas, insectos) no se acumulen tanto que obstruyan los conductos del filtro. Los investigadores hallaron que el proceso no es proporcional, ni monótono, ni gradual; en un momento se puede respirar más o menos bien, pero un rato más tarde se obstruye la entrada de aire por completo y se cierra de golpe. Por encima de un 40% de conductos obturados (o de una cifra en ese orden de magnitud), la corriente de aire se corta en seco.

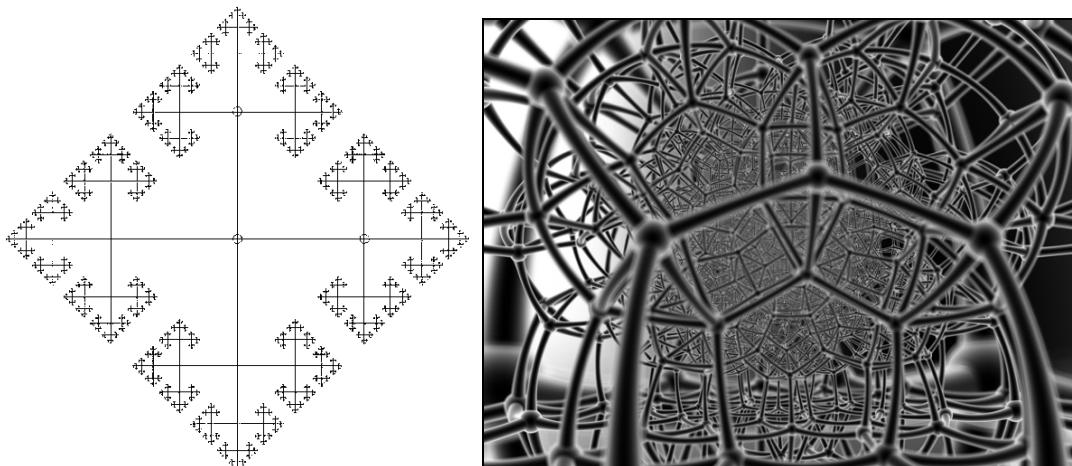


Figura 14.2 – Grafo de Cayley 2D y 3D  
 Izquierdo: Fractal de grafo de Cayley, diseñado por el autor con Visions of Chaos  
 Derecho: Grafo de Cayley diseñado por el autor con Jenn3D

Hay un antecedente de esas investigaciones que trae la problemática a un terreno más familiar y que tiene que ver con los estudios de Paul Flory [1910-1985] y Walter Hugo Stockmayer [1914-2004] sobre gelación durante la Segunda Guerra Mundial. Este proceso describe cómo se forman macromoléculas entre un número grande de pequeñas molé-

culas ramificadas a medida que se establecen vínculos químicos entre éstas. Cuando este proceso de polimerización cubre todo el sistema se habla de gelación.

No hay nada de esotérico ni de esquemático en todo esto: todos los que han calentado un huevo para hacer un huevo cocido han experimentado algo semejante. La albúmina puede estar en un estado líquido o bien presentarse como un gel (de allí lo de gelación); no hay estados intermedios. Puede que no esté toda cocida; pero la parte que lo está, lo está totalmente. Cocer un huevo puede pensarse como un proceso de percolación sobre un enrejado [*lattice*] de Bethe o un árbol de Cayley tridimensional extremadamente denso (véase figura 14.2; Stauffer y Aharony 1994: 4). Un enrejado de ese tipo es una estructura indefinidamente ramificada sin ningún bucle. Estas formas clásicas de la teoría de grupos son, como podrá imaginarse, susceptibles de representarse mediante gramáticas de grafos o directamente como fractales, ya sea de la especie grammatical de los sistemas-L o como sistemas de funciones iterativas (IFS) (Meier y Reiter 1996; Reynoso 2006a: 347-356). No hay nada retorcido tampoco en establecer una relación entre albúminas de huevo y grafos por un lado con relaciones sociales por el otro en tanto lo que se ponga en mira sea la dinámica de los procesos que les atañen antes que sus propiedades específicas. Si bien en no pocos cuarteles de las ciencias sociales se cree que hablar de procesos continuos es signo de mayor sutileza que pensar en saltos y cambios discretos, buena parte de las transiciones de fase de la vida real son de hecho discretas: cuando alguien se contagia, adopta una moda, se hace republicano, se convierte a otra religión, se embaraza, es depuesto o se muere, la naturaleza del cambio de estado suele ser discreta e instantánea, o al menos se lo puede considerar así a los fines analíticos.

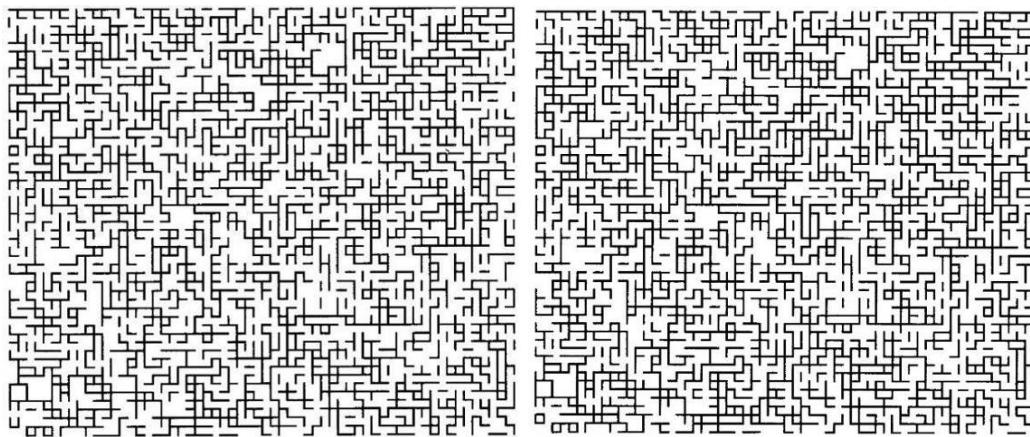


Figura 14.3 – Percolación de ligadura: siga un camino blanco, de arriba hacia abajo.  
Si la grilla percola, al menos una línea de pasillo llegará al fondo. Basado en Grimmet (1999: 4-5)

Hay otro antecedente mucho más temprano que demuestra, por si hiciera falta, el carácter contraintuitivo que tienen estos procesos de transición de fase. El geógrafo griego Estrabón cuenta que en su época la península ibérica estaba tan poblada de árboles que una ardilla podía pasar del cabo de Gata a Finisterre sin tocar el suelo, saltando de un árbol a otro. Durante siglos, los ecologistas pensaron que España debió haber sido un denso bosque; algunos creyeron que Estrabón exageraba, o que los salvajes túrdulos, carpetanos, bástulos u otros pueblos igualmente desaprensivos (de ningún modo los apolíneos celtas)

con el tiempo dieron cuenta de los árboles. Pero el error de toda esta hermenéutica consiste en creer que para que la ardilla pueda ir de un extremo al otro todo el país tendría que estar cubierto de vegetación. La teoría moderna de la percolación demuestra, por el contrario, que con algo un poco por encima pero muy cercano a la mitad del terreno forestado ya se podría hacer ese recorrido de esa manera (Segarra 2001: 236).

A diferencia de la teoría que examinamos antes, en la actualidad la forma normal de expresión de las teorías de la percolación (se refieran a líquidos, fuegos, enfermedades, rumores, modas, consignas, insurrecciones o lo que fuese) es la teoría de grafos, redes inclusive (Bollobás y Riordan 2006). Hay leves diferencias terminológicas por cierto. Los vértices y los arcos se llaman sitios [*sites*] y enlaces o ligaduras [*bonds*]; cuando se obtiene un grafo seleccionando nodos se habla de percolación de sitio; cuando se seleccionan los arcos, percolación de enlace. Ambos modelos son discretos a menos que se especifique lo contrario. Se ha desarrollado una opción de percolación continua que se está comenzando a comprender mejor y que Allen Hunt presenta como una tercera vía (Meester y Roy 1996; Hunt 2005: 1). Hay especialistas en percolación de uno u otro tipo, pues sus campos son diversos y su relación es compleja; algunos de ellos abrazan su modalidad de percolación favorita de maneras casi apasionadas, o admiten no tener competencia en una variante que vista desde fuera parece casi igual.

Pero las dos formas características de percolación difieren bastante a la hora, por ejemplo, de las predicciones sobre la difusión de una epidemia. Es evidente que si se lo piensa un poco todo modelo de enlace se puede reformular como un modelo de sitio sobre una grilla o enrejado diferente; pero lo inverso no es verdad: los modelos de sitio son entonces más generales. La figura 14.3 muestra dos procesos de percolación de enlace para  $p = 0,49$  y  $p = 0,51$ ; en el segundo caso a la derecha hay percolación vertical; en el primero no. Como es propio de la percolación de enlace, los bloqueos están asociados con discontinuidad de los pasillos. Si presuponemos aleatoriedad en la construcción de los enrejados, está claro que todo el aparato conceptual de la percolación mapea sobre la teoría de grafos aleatorios. Esto se hace transparente en esta cita, donde  $p$  denota simplemente probabilidad:

En la percolación de ligadura, los vínculos se retienen con probabilidad  $p$  y se borran con probabilidad  $1 - p$ . En percolación de sitio, la aleatorización se aplica a los nodos en vez de a los vínculos. La percolación es fácil de estudiar en grafos aleatorios, dado que el resultado de retener una fracción  $p$  de los vínculos o sitios es otro grafo aleatorio. Utilizando la heurística de los procesos de ramificación, la percolación ocurre (habrá un componente gigante) sólo si la media del proceso de ramificación asociado es  $> 1$ . Esta observación es bien conocida en la literatura de epidemiología, donde se expresa como “la epidemia se propagará si el número de infecciones secundarias causada por un individuo infectado es  $> 1$ ” (Durrett 2007: 15).

La elección entre un modelo y otro de percolación no es trivial, como no lo es la eventual analogía que puede establecerse con uno u otro modelo de epidemiología o de difusión de innovaciones. Como escribe Watts,

Uno tiene que pensar cuidadosamente qué versión (percolación de sitio o de ligadura) captura mejor la naturaleza de la enfermedad [o proceso] en cuestión. En el caso de un virus como el Ebola, por ejemplo, se puede presumir que todo el mundo es susceptible y po-

ner el foco en la medida en que cada quien puede infectar a otros. Por ende, la formulación relevante para una percolación vinculada con el Ebola sería un modelo de percolación de ligadura. Los virus de computadora como el Melissa, sin embargo, pasaron generalmente entre una computadora susceptible y otra (todas las ligaduras están efectivamente abiertas) pero no todas las computadoras son susceptibles. De modo tal que un modelo de percolación para un virus de computadora probablemente deberá ser de la variedad de percolación de sitio (Watts 2004: 187-188).

Volviendo a la percolación de sitio, el caso es que el umbral de percolación exacto de una grilla cuadrangular es todavía una incógnita, dado que el campo resultó ser bastante más difícil de lo esperado, con varios resultados profundos efectivamente probados pero muchos más en estado conjetural. Simulaciones masivas de tipo Montecarlo que se hicieron en todos estos años ubican esa cifra en torno de  $p_c \approx 0,5927621$ ; a medida que las computadoras se hacen más poderosas se van añadiendo más decimales a ese guarismo, pero los primeros dígitos ya no varían. Para la percolación de enlace, en cambio, el umbral se sitúa exactamente en  $p_c = 0,5$ ; parece simple, pero llevó décadas establecer teórica y computacionalmente ese valor (Schroeder 1990: 30-32; Bollobás y Riordan 2006: ix). Las cifras oscilan sensiblemente de acuerdo con la geometría y dimensionalidad de las celdas (entre 0,5 y 0,8, digamos), pero siempre es más baja en la percolación de ligadura. Es dudoso que un modelo cuantificable de percolación de grillas se pueda extrapolar con un grado operativo de precisión a modelos de las ciencias sociales sin la mediación de un modelo formal de grafos o redes, pero al menos la idea sirve como referencia para imaginar límites y escalas posibles, y para determinar qué formalismos concretos hay que poner en línea para obtener ciertos fines.

Inseparable de los estudios de difusión de novedades y epidemiología es la clasificación de los así llamados modelos de compartimiento. En todos ellos las características de una gran población se reducen a unas pocas variables que son relevantes al proceso; comúnmente se divide entonces la población entre los que son susceptibles al contagio o la adopción de la novedad, los que están infectados por ella y los que lo estuvieron y ahora están inmunes. De esas categorías se derivan distintas clases de procesos conocidos como los modelos SIR (Susceptible → Infectado → Recuperado), SEIR (Susceptible → Ex puesto → Infectado → Recuperado), MSIR (Maternalmente inmunizado → Susceptible → Infectado → Recuperado), SIS (Susceptible ↔ Recuperado), etcétera. Al lado de éstos se han desarrollado hoy en día diversos modelos de complejidad que atañen no sólo a la epidemiología como asunto específico, sino a los procesos de difusión en general (Watts 2004a; Dodds y Watts 2005; Blasius, Kurths y Stone 2007: 159-214; Watts y Dodds 2007; Brauer, van den Driessche y Wu 2008; Sun y otros 2009).

Al menos una soberbia pieza de software de dominio público (STEM, The Spatio-Temporal Epidemiological Modeler) está disponible desde hace años para el tratamiento sistemático de estas dinámicas.<sup>73</sup> La computación de la dinámica epidemiológica de STEM se

---

<sup>73</sup> Véase <http://www.eclipse.org/stem/> - Visitado en abril de 2010. Véase un excelente artículo sobre los “modelos de compartimiento” en [http://en.wikipedia.org/wiki/Compartmental\\_models\\_in\\_epidemiology](http://en.wikipedia.org/wiki/Compartmental_models_in_epidemiology). Visitado en noviembre de 2010.

basa en modelos SI(S), SIR(S) o SEIR(S) pre-codificados con variaciones determinísticas o estocásticas. En la actualidad STEM incluye varios modelos de ecuaciones diferenciales ordinarias, así como interfaces de visualización con GoogleEarth™ o GoogleMaps™. La programación de interfaces con software de análisis de redes y visualización de grafos y modelado basado en agentes es técnicamente posible pero todavía no se ha materializado.

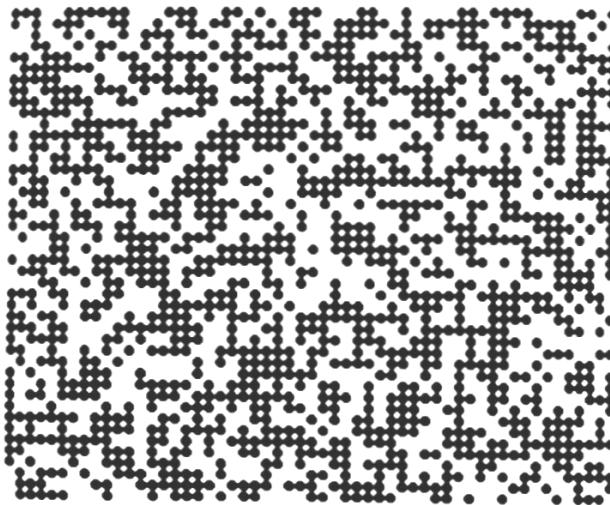


Figura 14.4 – Grilla de percolación de sitios en valor de umbral (Schroeder 1990: 32)

Los modelos que hemos visto y otros más han sido investigados de cara a las redes sociales por Jorge Miceli (2007) del Grupo Antropocaos de la Universidad de Buenos Aires; su adopción en antropología, sin embargo, sigue siendo extremadamente marginal. En la monumental enciclopedia de antropología médica de Ember y Ember (2004), por ejemplo, o en la masiva bibliografía que en ella se despliega, ni siquiera se mencionan los modelos epidemiológicos básicos y apenas si conceden a las redes sociales algunas frases de ocasión dichas al pasar. Sin duda hay algo más que un puñado de científicos sociales trabajando en términos conjuntos de redes, complejidad y medicina en contextos multidisciplinarios; suenan los nombres de Martina Morris (1993), Jacco Wallinga y otros (1999), Merrill Singer y otros (2000) y Alden Klovdahl y otros (2001); la ausencia de participación antropológica significativa en ese campo y con esas técnicas formales exactas, sin embargo, es al mismo tiempo palpable y difícil de justificar (ver además MacQueen 1994; Trostle y Sommerfeld 1996; Hatty y Hatty 1999; Taïeb y otros 2005; Trostle 2005). Aunque su espíritu de autocelebración y su moralismo se tornan a veces un tanto latosos, no niego a la antropología médica o epidemiológica su relevancia y sus logros pasados;<sup>74</sup>

---

<sup>74</sup> Cualquiera sean los prejuicios ancestrales de la antropología en contra del modelo médico hegemónico, no es posible impugnar a la ligera la eficacia del modelado reticular y complejo en el campo de la epidemiología; él ha sido instrumental en la predicción y el control de los brotes de SARS, para comprender el proceso de dispersión del HIV en África y en la investigación de infecciones hospitalarias resistentes a los antibióticos, entre otros muchísimos campos (Deutsch y otros 2008: esp. capítulo §25 y pp. 60, 192; Magel y Ruan 2008: v; Chowell y otros 2009: 343-360). Desde ya, existen innumerables métodos de modelado matemático en medicina y epidemiología que no son ni reticulares ni de percolación: análisis de sensitividad, estrategias bayesianas, regresión lineal y no lineal, regresión logística, análisis de conglomerado, análisis factorial, modelado de ecuaciones estructurales, ecuaciones de diferencia y métodos estocásticos en general

pero no es ése el campo al que acudiría en este preciso momento si lo que se requiere es consultoría de alto rigor y técnicas robustas de intervención en escenarios complejos.

Además del vínculo oportuno entre la teoría de la percolación y los modelos inmunológicos, existe un tejido de relaciones muy finas y expresivas entre una grilla que se encuentra en el régimen propio del umbral de percolación y la geometría fractal. Dado que el comportamiento cualitativo no depende del número de sitios sino de su probabilidad, la literatura habla con frecuencia de grillas infinitas, que es como decir de tamaño indefinido o sin efectos de borde. Cerca del umbral de percolación ( $p_c \approx 0,5927621$ ) los sitios ocupados de la grilla infinita forman conglomerados de sitios conectados de todos los tamaños. De hecho, su distribución se atiene a una ley de potencia simple: el número  $n(s)$  de *clusters* que poseen  $s$  sitios ocupados es proporcional a  $s^{-\tau}$ , con  $\tau = 187/91 = 2,054945$  para la grilla cuadrangular. La ley de potencia  $n(s) \sim s^{-\tau}$  significa que la relación del número de *clusters* de dos tamaños diferentes es independiente del tamaño de los *clusters*; solamente depende de la relación entre las respectivas dimensiones.

La figura 14.4 muestra *clusters* de muchos tamaños, que van de pares de sitios ( $s = 2$ ) a un *cluster* abarcativo [*spanning*] que conecta la parte superior a la inferior. Una grilla más grande, 20 veces mayor que la de la figura, mostraría exactamente la misma distribución de *clusters*, sólo que en esta ocasión éstos serán 20 veces más grandes. Esto significa que los *clusters* de percolación son autosimilares o independientes de escala, y que su tamaño relativo va desde la distancia de sitios contiguos a la totalidad de la matriz. Debajo del umbral de percolación, sin embargo, la longitud mayor para la autosimilitud no estará dada por la longitud de la grilla sino por la longitud de correlación  $\zeta$ , definida como la longitud sobre la cual la probabilidad de que dos sitios pertenezcan al mismo conglomerado ha decaído a  $1/e \approx 0,368$ . Para distancias menores que  $\zeta$ , los sitios ocupados forman un fractal; por encima de  $\zeta$  prevalece la geometría euclíadiana común, con un número ocupado de sitios  $M(R) \sim R^d$ , donde  $d$  es la dimensión euclíadiana o *embedding dimension*. En el umbral de percolación,  $\zeta$  diverge hacia el infinito y la probabilidad de que dos sitios (incluso dos sitios ubicados a una distancia arbitrariamente grande uno del otro) pertenezcan al mismo *cluster* se aparta enormemente de cero (Schroeder 1990: 31-32).

La longitud de correlación (en adelante LC) se equipara a lo que en los modelos de contagio es la distancia que puede recorrer una enfermedad antes de consumirse ella misma (Watts 2004a: 186); en los modelos geográficos, mientras tanto, la LC se puede interpretar como la distancia interválica [*lag*] más allá de la cual no se percibe correlación entre puntos adyacentes (Deems, Falsnach y Elder 2006). Cuando en un sistema percolante aparece súbitamente el conglomerado característico del punto de transición, se dice que ese sistema se encuentra en estado crítico: cualquier perturbación o enfermedad, por pequeña y débil que sea, se propagará globalmente, pues a los efectos prácticos la LC deviene infinita.

---

(Rao, Miller y Rao 2008). Los modelos de complejidad, sin embargo, mucho más amigables para el antropólogo que estos otros, han logrado hacerse un nicho perdurable en el repertorio competitivo de las técnicas consolidadas.

La LC se vincula a su vez con una idea que muchos manuales presentan de manera más complicada de lo que se necesita. Esta es la idea de renormalización. Desde el punto de vista matemático el concepto encubre un procedimiento bastante complejo, pero en el espacio real éste se corresponde con una aplicación física relativamente simple. Ella podría describirse como una especie de engrosamiento de la resolución [*coarse-graining*] que acompaña al retroceso del observador hacia una perspectiva más lejana en relación con el objeto: la adopción de una mirada más distante, diríamos con Claude Lévi-Strauss (1984). Si un sistema posee invariancia de escala verdadera (es decir, si se encuentra exactamente en el umbral de percolación), será imposible detectar un cambio a medida que la escala de observación se incrementa. Un sistema con una LC infinita parecerá igual a todas las longitudes de escala. Pero si el sistema se encuentra meramente cerca del umbral de percolación, por el contrario, y si la LC es finita, retirarse a una mayor distancia hará parecer que la LC es más pequeña. Eventualmente la distancia del observador será mayor que la LC. Esta disminución (relativa) de la LC significa que las nuevas escalas de longitud del sistema deben parecer como si estuvieran más allá del umbral de percolación (Hunt 2005: 7).

Dejando de lado lo fea e impenetrable que a la sensibilidad estética del lector humanista pueda parecer el detalle descriptivo de estas circunstancias, el hecho concreto es que en este terreno resulta evidente que una ciencia fría y abstracta ha reflexionado sobre los efectos de la distancia de observación en relación con el estado dinámico de un sistema con harto mayor refinamiento que una disciplina (la antropología, cuál si no) que no estima problemático pasar del conocimiento local al conocimiento global. Nuestra disciplina, en efecto, ha simplificado hasta lo indecible las problemáticas de la escala, como si ésta acabara en una decisión elemental de mirar hacia lo micro o hacia lo macro antes que en una relación complejísima a través de una veintena de órdenes de magnitud estructuralmente heterogéneos, regidos por reglas diversas y articulados según conceptos incommensurables. Conviene que aquí cite otro trabajo mío sobre el particular, porque aun cuando en él esté hablando de otro factor complejo (la dimensión fractal) el argumento toca los mismos resortes esenciales:

Para utilizar una metáfora deleuziana con la que a veces discrepo, compárense por ejemplo los modelos de espacios lisos de los antropólogos Clifford Geertz (1983; 1999; 2000: 133-142), Ronald Robertson (1995), Knut Nustad (2003: 123) y José Antonio Fernández de Rota (2009: 33-34) con los espacios estriados de Sheppard y McMaster (2004), Noel Castree (2005: 204-206) o Clark y Gelfand (2006) a propósito de las relaciones entre lo local y lo global. El impedimento que se presenta en los primeros no radica en que en ellos no se cuantifique o en que se lo haga implícita o deficientemente, sino en que a los efectos de comprender esas relaciones sus premisas cualitativas (lejos de propiciar una “descripción densa” rebosante de detalle) demuestran ser sorprendentemente esquemáticas. Mientras los estudiosos de la geografía humana y el modelado ambiental son sensibles a los efectos de emergencia, a las complicaciones de la no-linealidad, a la discontinuidad ontológica de los niveles y las jerarquías, a la especificidad de las técnicas de observación e intervención en cada nivel y a los peligros del reduccionismo y el individualismo metodológico, los antropólogos de perfil interpretativo lo resuelven todo argumentando que “nuestro conocimiento siempre empieza por lo local” y que aunque “la idea tra-

dicional de desplazarse a un lugar apartado y estudiar las características culturales de una población resulta discutible” y la idea fundante de “la existencia de un grupo social ligado a un territorio” haya devenido “inverosímil”, de un modo u otro los estilos metodológicos habituales “siguen teniendo plena vigencia” (Fernández de Rota 2009: 32, 33). En la misma tesitura y obviando cuanto se ha logrado aprender sobre la emergencia y sobre la complejidad misma, el sociólogo escocés Roland Robertson (1995: 34) protesta contra las concepciones “dualistas” que definen lo global “como si tuviera propiedades sistémicas por encima y más allá de los atributos” de las unidades locales. Es perceptible en este punto que estas perspectivas de la geografía y de otras ciencias sociales difieren hasta la raíz; pero lo más extraño es que lo hacen en un sentido inesperado.

Es notable, en efecto, que hayan sido las ciencias reputadas como más abstractas las que ahondaran más en el hecho de que una totalidad ha de ser distinta de la suma de las partes y al menos tan accidentada, multiforme y desigual como lo son éstas: “ni las nubes son esferas, ni las montañas cónicas...” escribía Benoît Mandelbrot (2003: 15) en uno de los argumentos con que iba componiendo su concepción de la (auto)similitud, de las paradojas de la escala, de las dimensionalidades vacilantes y de otras relaciones complejas entre las diversas partes y los diversos todos susceptibles de postularse; Clifford Geertz (2000: 137), por el contrario, sostenía con la mayor desenvoltura que su estrategia permitía comprender la conducta de 65 millones de javaneses a lo largo de siglos a partir de observaciones locales de unos pocos días en la aldea de Gresik y sin que mediara ningún ajuste de perspectiva. Es llamativo, en otras palabras, que las geometrías de la naturaleza sostengan hoy una imagen más vital y articulada sobre aquellas relaciones que las propias ciencias de la cultura, dominadas por una topología implícita a la que nunca se pudo insuflar una dinámica genuina, por una sensible falta de sentido de las proporciones y por una concepción homogeneizadora de las jerarquías, en la que lo más local nunca está afectado por arbitrariedades de recorte, dilemas de muestreo, influencias externas o efectos de límite y lo más abarcativo se imagina como si consistiera simplemente en más de lo mismo (Reynoso 2010: 288-289).

Aunque al final del día no existe ninguna clase de afinidad ontológica real entre líquidos que gotean y sociedades o perspectivas que cambian, la teoría de la percolación ha llegado a formularse en un plano tan abstracto que el dominio empírico en que ella se originara es por completo irrelevante. En este sentido, me arriesgaría a decir que los conceptos de funciones de umbral, renormalización, *rescaling* y otros análogos que se encuentran en ella ostentan más isomorfismo que analogía con las ideas de producción de la escala, *scalar fixes*, *scale jumping* e incluso nuevamente *rescaling* que atravesaran la geografía crítica de los años ochenta en su ruptura con la geografía euclíadiana de los espacios neutros, atemporales y carentes de estado. Más allá de la engañosa especificidad de su objeto reconocido (fluidos penetrando un medio poroso) no es de extrañar que con el correr de los años la teoría de la percolación haya llegado a constituir una especialidad en sí misma con objetos dispersos en múltiples disciplinas, con la física o la epidemiología circunstancialmente en primer lugar. Sus problemas inherentes, que parecieran de formulación sencilla, no admiten en general soluciones analíticas simples. Como dice Geoffrey Grimmett (1999: viii), la disciplina constituida en torno de los fenómenos de percolación, cuyo crecimiento se mide a escala de horas, tiene fama de ser tan dura como importante.

Si el lector se sigue preguntando a qué viene todo el ruido en torno de los modelos de percolación en redes sociales, una sugerencia posible, congruente con las especificaciones

epistemológicas que orientan este trabajo (p. 12), es que se plantea el problema al revés, preguntando en qué campo del conocimiento se sabe mejor cómo hacer para que una red se fragmente, o para evitar que un factor externo o un valor de variable interno logre fragmentarla, o para que pierda o preserve su conectividad global o regional, o para inhibir, canalizar u optimizar los flujos de información, materia, energía, drogas, infecciones, personas o dinero que ocurren en ella. Expresada de otra forma, la pregunta crítica sería cuáles son los factores claves que logran integrar o des-integrar el flujo de una red: ni duda cabe que es un problema sociológico, cultural, económico, político o policial de la más alta prioridad.

A este respecto los teóricos de redes han propuesto diversas estrategias, tales como la eliminación de nodos o nexos al azar (*random removal* o RR), la remoción de los vértices de alto grado (HDR) y la remoción de alta centralidad de *betweenness* (HBR). La eliminación de un número mínimo de nodos es esencial en sociología y antropología aplicada, así como en epidemiología, donde es prioritario determinar cuál es el número de nodos que se necesita inmunizar para detener una epidemia (o lo que fuere que pueda propagarse) (Chen, Paul y otros 2006). Aunque cueste creerlo, muchos de los estudios tradicionales de estas cuestiones fundamentalmente aplicativas se basaban en redes ideales de tipo ER o en pequeños mundos teóricos que no tienen claros correlatos materiales.

Pero hace poco esto ha comenzado a cambiar: un grupo multinacional de peso pesado en el estudio de las redes, compuesto por Yiping Chen, Gerald Paul, Reuven Cohen, Shlomo Havlin, Stephen Borgatti, Fredrik Liljeros y Eugene Stanley ha propuesto una batería de métodos de percolación para comprender, medir y eventualmente incidir en la vulnerabilidad de las redes de la vida real (Chen, Paul y otros 2007). Trabajando con una red IE de hogares suecos de 310.136 nodos y 906.260 vínculos que constituía una red con  $\lambda = 2,6$  y corte exponencial, las conclusiones de los autores orillan lo incomprensible para el lego (ni hablar de que lo podrían entender las organizaciones militares) pero es indudable que han logrado capturar con algún respaldo experimental por lo menos un indicio de una posible clave. Siendo  $F$  la medida de fragmentación (la razón entre el número de pares de nodos que no están conectados en la red fragmentada y el número total de pares en la red original) y  $C$  la conectividad (ambos entre 0 y 1),  $P_\infty$  el conglomerado gigante,  $p_c$  el umbral de percolación de la transición de fase,  $m$  el número de nodos removidos,  $q \equiv m/N$  la razón de nodos removidos y  $p \equiv 1 - q$  la concentración de nodos existentes, se ha llegado a estas conclusiones:

[H]emos estudiado la medida para la fragmentación  $F \equiv 1 - C$  propuesta en ciencias sociales y la hemos relacionado con el tradicional  $P_\infty$  utilizado en teoría de la percolación.

Para  $p$  por encima de la criticalidad,  $C$  y  $P_\infty$  están altamente correlacionados y  $C \approx P_\infty^2$ .

Cerca de la criticalidad, para  $p \geq p_c$  y por debajo de  $p_c$ , las variaciones entre  $C$  y  $P_\infty$  emergen debido a la presencia de pequeños conglomerados. Para los sistemas cercanos a (o por debajo de) la criticalidad,  $F$  proporciona mayor precisión para la fragmentación del sistema total en comparación con  $P_\infty$ . Hemos estudiado la distribución de probabilidad  $p(C)$  para un  $P_\infty$  dado y encontramos que  $p(C)$  a un valor de  $p = p_c$  obedece a la relación de escala  $p(C) = N^{2/3} g(CN^{2/3})$  tanto para la estrategia RR sobre una red ER, como para la estrategia HDR en redes independientes de escala (Chen, Paul y otros 2007: 17).

Traducida a lenguaje natural, la buena noticia es que se están comenzando a captar dependencias entre distintas variables que permiten al especialista una todavía modesta posibilidad de comprensión. La saturada taquigrafía simbólica oscurece un poco el hecho de que si bien los hallazgos son tentativos el planteo luce robusto. La mala noticia es que habrá que redefinir no pocos términos de la concepción humanística de las redes en ciencias sociales hasta que el estudioso promedio esté en condiciones de comprender de qué se está hablando y cuánto vale, de cara a la práctica, lo que se ha logrado esclarecer.

La importancia práctica de estas cuestiones es ostensible. Pongamos por caso una situación tal como la que se ha dado visiblemente en las recientes epidemias de gripe aviar o de H1N1. La simple verdad es que para que una inmunización resulte eficiente, debe superar el umbral de percolación. Dado que en una población de mediano porte inmunizar al azar puede ser ineficiente, se requiere un método que optimice los resultados con menor inversión de tiempo y recursos. Sabiendo que las redes reales poseen distribuciones regidas por la ley de potencia, el método más sencillo consiste en inmunizar a los nodos con más alto grado. La eficiencia de este método está garantizada, pero el mismo exige un conocimiento prácticamente exhaustivo de la estructura de la red.

Otra buena noticia es que en teoría de redes se ha desarrollado no sólo un método que permite una inmunización efectiva con conocimiento parcial (Dezsö y Barabási 2002), sino un procedimiento igualmente eficaz que no exige conocimiento estructural alguno (Cohen, Havlin y ben-Abraham 2003). En este método, llamado de “inmunización de conocidos”, se pide a una fracción de individuos elegidos al azar que señalen a uno de sus contactos, también escogido al azar. Se inmuniza entonces a este contacto. Aunque este proceso es en apariencia aleatorio, es altamente probable que se inmunice a un nodo que posee un alto grado, resultando al cabo tan efectivo como el método de inmunización dirigida (Cohen y Havlin 2009: 6499).

Otra aplicación interesante de la teoría de la percolación concierne a la posibilidad de cuantificar el proceso de colapso o fragmentación de una red. Bajo ciertas circunstancias, puede suceder que una red de amigos o conocidos se fragmente en varios componentes. En tal caso es conveniente contar con una herramienta de cuantificación que sea sensible a diferentes clases de particiones en fragmentos y al mismo tiempo normalizada para distintos tamaños de red. Tal medida ha sido desarrollada por Borgatti (2006), partiendo de la base de que la fragmentación producida por la eliminación de un vínculo (separación de un conocido) y por la eliminación de un nodo (un individuo que abandona la red social) guardan relación con la percolación de vínculo y la percolación de sitio respectivamente. Ahora bien, una de las principales limitaciones de la descripción percolante es el foco que la teoría ha tenido en procesos aleatorios y en el límite de procesos de tamaño igual al de la totalidad del sistema (el famoso “límite termodinámico”). Es por ello que la medida propuesta por Borgatti debió incorporar otros elementos de juicio. La medida que él define,  $F$ , es el número de pares de nodos alcanzable desde cada otro nodo, dividido por el número total de pares de la red. Dado que los nodos que se pueden alcanzar desde otros pertenecen al mismo componente, eso equivale a esta definición:

$$F = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n s_i(s_i-1)}{N(N-1)} \equiv 1 - C$$

donde  $s_i$  es el tamaño del  $i^{\text{avo}}$  componente y  $n$  es el número de componentes del grafo. Matemáticamente simple, la expresión puede lucir un poco abstrusa, pero hasta tanto pensemos algo mejor quedará como un aporte de interés para los estudios comparativos.

En definitiva, lo importante es que las teorías de la percolación y de la criticalidad auto-organizada, cualquiera haya sido su fortuna en la antropología en general y en el ARS en particular, parecen bastante distintas pero están claramente interrelacionadas. Las principales nociones son las mismas en ambos campos: fractalidad, umbral crítico, transiciones de fase, invariancia de escala, exponente crítico, auto-organización y auto-similitud, sólo para empezar (Stauffer 2009). Todas ellas han sido estudiadas productivamente en relación con redes sociales, con el espacio construido y con otros fenómenos reticulares que aquí estamos examinando. Tarde o temprano el analista de redes se encontrará con alguna de esas categorías en el camino, y es mejor que vaya tomando nota de lo que le espera.

**Consecuencia nº 11:** En diversos regímenes teóricos las epidemias, igual que las redes, han ofrecido aquí y allá metáforas para imaginar procesos comunicativos en general y sociales en particular. La antropología lidia desde hace un tiempo con la paradoja de que su mejor modelo epidemiológico, o al menos el más conocido, el de Dan Sperber (1994; 1996; 2000; Sperber y Wilson 1986), desenvuelve un modelo de replicación evolutiva que no es el habitual en las ciencias de la complejidad, en las cuales prevalecen los algoritmos evolutivos, la memética o la teoría evolucionaria a secas. Sperber promueve también un modelo epidemiológico que no guarda relación con las teorías de la percolación o con el análisis de redes sociales y un modelo cognitivo enclaustrado en ideas de los años sesenta que no incorpora prácticamente nada de la ciencia cognitiva o la neurociencia cognitiva social contemporánea, para no decir nada de las teorías de la complejidad.

La hipótesis sperberiana estaría entrañando que la epidemiología profesional interdisciplinaria tiene poco que ofrecer y que por ello es preciso urdir una estrategia separada para la antropología; pero la prueba contrastiva que establezca la superioridad conceptual del propio modelo no se realiza nunca. El modelo sperberiano ni siquiera ha sido descripto, a decir verdad; menos todavía lo ha sido el otro contra el cual se erige. Aunque la observación que sigue puede resultar engañosa, no puede menos que señalarse que a pesar de los obstáculos idiomáticos y estilísticos, en la última década menos antropólogos utilizaron productivamente ese modelo antropológico privado que el de la percolación (Galam 2002; Prossinger 2005; Lambiotte y Ausloos 2006; Gabrielli y Caldarelli 2007).

Lo fastidioso del hecho no se restringe a la improductividad de las ideas de un autor en particular, cuyo estilo parece caracterizarse por ensamblar de manera sistemática, a lo largo de décadas, preguntas sagaces con respuestas decepcionantes. Propuestas idiosincrásicas como la de Sperber encarnan más bien un antipatrón consagrado a revivir los fueros de modos personalizados de producción teórica que no están a la altura de lo que hoy se requiere y que promueven marcos descriptivos que por estipulación de diseño no permiten ningún grado de intervención, afanándose por reinventar la rueda metodológica en

cada ocasión que se desenvuelve teoría, sin mirar lo que se está trabajando en otros campos del conocimiento.

Aunque aquí y allá se registra un puñado de intentos preliminares, tampoco la comunidad de ARS ha formalizado su relación con dos campos importantes de las teorías complejas, como lo son los que se revisaron en este capítulo. Tanto en la antropología como en el análisis discursivo de redes, no sólo las matemáticas, sino incluso los elementos conceptuales que hoy conforman la propia *lingua franca* del campo transdisciplinario han sido objeto de un extrañamiento más profundo que lo que fuera jamás el caso con las formas culturales más distantes. En contraste con este diagnóstico, al lector le habrá resultado evidente que existe una correspondencia no trivial entre los asuntos recién tratados y los desarrollados en el resto del libro; el surgimiento de un conglomerado infinito pasando el umbral de percolación, por ejemplo, es lo mismo que la aparición de un componente gigante en un grafo aleatorio ER. La robustez ante fallas al azar de una red equivale a la comunicabilidad dentro de un componente gigante y al proceso de percolación de sitio. La geometría de todos estos procesos es fractal, lo que es significativo si necesitamos considerar el objeto a otra escala. Y la distinción entre percolación de sitio y de ligadura es idéntica a la que existe entre re-escritura de nodo y re-escritura de línea en las gramáticas de los sistemas-L (Reynoso 2010: 159-206).

No sin renuencia hay dejar en el tintero un tópico cuya relación con nuestras temáticas es muy estrecha pero cuyo tratamiento requeriría un espacio excesivo. Me refiero a las teorías, métodos y técnicas que han surgido en los últimos quince años en materia de modelado matemático de optimización de redes de transporte, irrigación, sistemas de información geográficos y sobre todo flujos en redes espaciales. Se encontrará material de interés en la bibliografía que se está produciendo en ese campo, el cual está viviendo hoy una franca transición en la que los procedimientos estadísticos y numéricos convencionales más ligados a objeto se combinan con los modelos complejos, reticulares y de percolación más generales (van Deursen 1995; Bell 1998; Abed 2005; Rana y Sharma 2006: 139-154; Blanchard y Volchenkov 2008; Bernot, Caselles y Morel 2009; Reggiani y Nijkamp 2009; Páez y otros 2010: 32).

A esta altura del ensayo está claro que un dilema que a primera vista está adherido por completo a las lógicas situacionales de un asunto peculiar puede iluminarse a partir de la experiencia reunida en torno a interrogantes que surgieron en dominios completamente distintos. Por las configuraciones de sus modelos más que por las propiedades de sus objetos, la investigación en esos otros dominios puede que ayude a esclarecer cuestiones de innovación, difusión y cambio sobre las que la antropología hace rato ha perdido la iniciativa, los métodos y los conceptos. Es verdad que resultaría forzado investigar mediante formalismos de redes tópicos que requieren una aproximación de orden narrativo o estético; pero en los escenarios que claman por una visión relacional como la que las redes y la complejidad ofrecen, tal vez sean las concepciones tradicionales de la antropología las que deberían mirar en torno y dar un paso al costado, dejando espacio para que las formas transdisciplinarias de exploración se apliquen a los problemas que nuestras estrategias han alborotado, eludido o dejado sin resolver.

## 15 – Algoritmos evolucionarios: Gestión sostenible de problemas intratables

[N]o se descubre que hay más orden en el mundo que el que aparece a primera vista hasta que se lo busca.

Chr. von Sigwart según P. Haggett (1965: 2)

¿Qué truco mágico nos hace inteligentes? El truco es que no hay truco. La inteligencia crece a partir de nuestra vasta diversidad y no de algún principio perfecto y singular.

Marvin Minsky (1988: 308)

Habiendo ya tratado raudamente cuestiones relativas a la intratabilidad, la sustentabilidad y la complejidad, y habiendo tanteado también el terreno incierto que media entre los modelos y las metáforas, es momento de hacer referencia a otras herramientas que están comenzando a utilizarse en ciertas fases particularmente delicadas del análisis y gestión de redes en general y de redes socioculturales en particular.

Como ya se habrá podido inferir de lo que se ha visto, realizar ciertas operaciones analíticas, definir rutas de flujo o dibujar grafos correspondientes a redes de moderada complejidad no es una tarea intelectual o computacionalmente simple. En muchos casos encontrar una solución óptima o al menos razonablemente buena es una tarea impracticable y lo seguirá siendo siempre aun si el cerebro se las ingenia o si la tecnología informática prosigue con su ritmo de crecimiento exponencial. Las prestaciones gráficas de nivel intermedio (la de programas en la clase de Pajek o Network Workbench) resuelven esa clase de dificultades ciñéndose a casos especiales de representación tales como grafos planares, concentrándose en aspectos particulares de configuraciones bien conocidas como árboles o dibujos de grillas rectilíneas, neutralizando la tercera dimensión, muestreando o tratando conjuntos de datos de envergadura más modesta. No es inusual, entonces, que en esos programas algunas consultas cuantitativas sobre diversos valores relacionales entreguen respuestas distintas cada vez que se las formula.

Aun así las prestaciones analíticas suelen experimentar explosiones combinatorias a poco de empezar. En el problema del vendedor viajero para diez ciudades, por ejemplo, las rutas posibles son  $\frac{1}{2} (9!) = \frac{1}{2} (9 * 8 * 7 * 6 * 5 * 4 * 3 * 2 * 1) = 181.440$ ; una computadora que realice mil cálculos por segundo encontrará todas las rutas en tres minutos o algo más por el método de exhaución. Pero si las ciudades son veinte el número de caminos posibles es alrededor de  $6,08 \times 10^{16}$  o sea 60.800.000.000.000.000. La misma máquina tardaría entonces unos dos millones de años en consumar la operación. Aunque la tecnología permita aceleraciones de varios órdenes de magnitud el problema sería inviable mediante un método exhaustivo caso por caso, propio de la clase de modelos que más arriba se han definido como mecánicos (p. 12, tipo I). La cosa tampoco se resuelve si se emplea un méto-

do aleatorio o estocástico propio de los modelos estadísticos (idem, tipo II); la probabilidad de encontrar una solución con sucesivas elecciones independientes y por completo a ciegas es extremadamente baja, dado que el espacio de búsqueda está cuatrillones o quintillones de veces por encima de la combinatoria de posibilidades de una lotería.

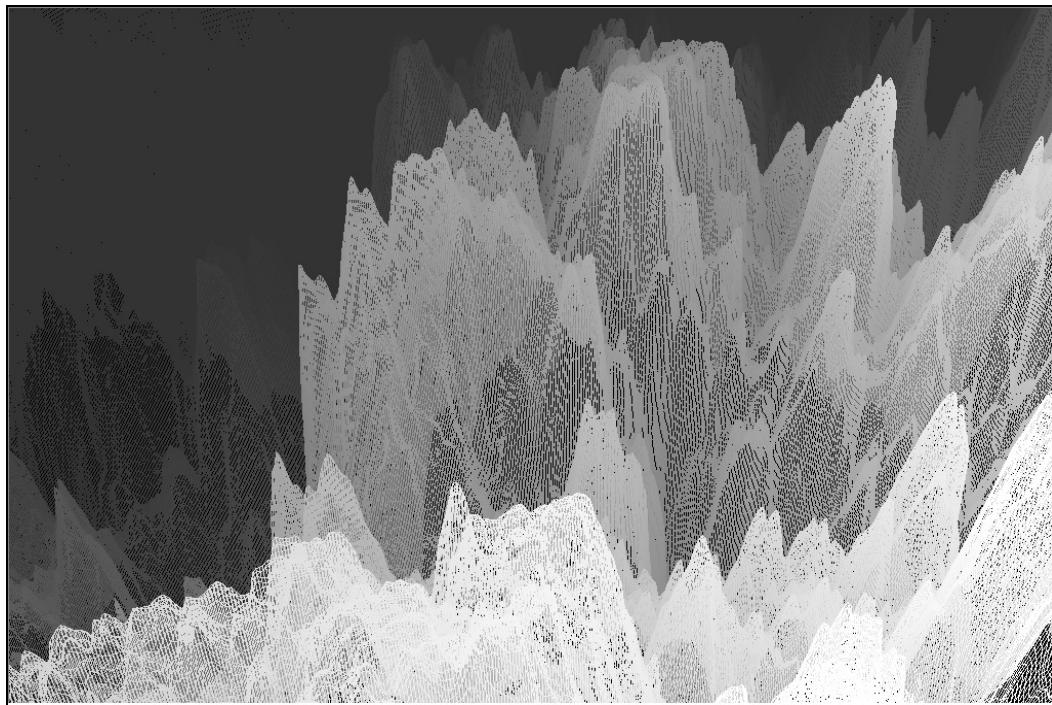


Figura 15.1 – Paisaje de adecuación – Diseñado por el autor con Visions of Chaos

Los algoritmos exhaustivos clásicos son imbatibles cuando el espacio de búsqueda es unimodal, lineal, cuadrático, fuertemente convexo y separable. Pero cuando el cálculo se pone complicado, o cuando se requiere ir más lejos, el recurso común en computación y en ciencias de la complejidad consiste en salirse de las herramientas convencionales y arriesgarse en la prueba de modelos complejos adaptativos o de algoritmos basados en metáforas no convencionales. Por lo común esta clase de modelos y algoritmos no garantiza soluciones perfectas pero sí suficientemente buenas, aceptablemente próximas al máximo o mínimo global; a veces logran eso en tiempos reducidos. Fue John Holland, antiguo alumno del creador de la cibernetica y pionero de los estudios de sincronización Norbert Wiener, quien aportó algunas de las ideas que generaron esta línea de investigación, que comenzó a articularse en la década de 1960. Holland imaginó que la búsqueda de una solución óptima en un espacio de fases de elevada dimensionalidad, no convexo<sup>75</sup> y de enorme tamaño podría resolverse tomando ejemplo de los mejores casos conocidos de re-

<sup>75</sup> Un problema no convexo es uno que posee numerosos mínimos y máximos locales. En teoría de optimización (que es donde se definieron estas categorías) se piensa que la principal divisoria en materia de dificultad de resolución de un problema no se establece entre linealidad y no-linealidad, o entre la pequeña y la gran escala, sino más bien entre convexidad y no-convexidad. Contrariamente a la creencia general una inmensa proporción de problemas combinatorios convexos se puede resolver con relativa facilidad por más que ellos impliquen cientos de variables, parámetros y constreñimientos (Sarker, Mohammadian y Yao 2003: 4-19; Floudas y Pardalos 2009: 514-561).

solución de problemas. Uno de los problemas empíricos más espinosos que pueden concebirse, en efecto, se ha planteado en biología y consiste en el diseño y puesta a punto de un dispositivo tan complejo como el cerebro humano en un lapso de tiempo absurdamente breve. Este problema intratable fue de hecho resuelto bastante bien: el más poderoso resolutor de problemas del cual se tiene noticia es, por ende, la selección natural. Ésta es, en síntesis, la propuesta de Holland.

Si se quiere tener una noción intuitiva de la complejidad de un problema se puede pensar en el repertorio de soluciones posibles como si fuera un paisaje. Éste poseerá tantas dimensiones como variables y parámetros haya en juego, pero a los fines de la simplificación se lo puede considerar bi- o tridimensional, como en la figura 15.1. En el caso específico de los algoritmos evolutivos se acostumbra llamar paisaje adaptativo o paisaje de adecuación [*fitness landscape*] al espacio de fases de un problema. La búsqueda de una solución se puede visualizar como la localización del valle más profundo; la solución óptima será el mínimo global, las soluciones sub-óptimas las otras cuencas cuyo carácter de mínimo global no pueda asegurarse taxativamente. En la vida real los espacios de soluciones no se pueden dibujar de manera tan simple como la figura trasunta: ellos son demasiado grandes, multidimensionales y desconocidos; la variedad de vecindades y el número de estructuras de correlación y vecindad es taxativamente imposible de imaginar.

La noción de paisaje adaptativo fue introducida por el genetista norteamericano Sewall Green Wright [1889-1988], fundador de la genética teórica de poblaciones. En su estudio sobre la interacción de la selección natural, la mutación, la migración y la deriva genética, Wright (1932) fue el artífice por excelencia de la moderna síntesis entre la genética y la teoría evolutiva, junto con los británicos sir Ronald Fischer [1890-1962] y John B. S. Haldane [1892-1964]. En la obra originaria de Wright los mejores valores adaptativos se identifican con las cumbres, no con los valles, lo cual es congruente con la denominación de otros métodos de búsqueda como “escalamiento de colinas” [*hill climbing*]; pero eso sólo materia de convención interpretativa. A veces se usa hoy el sentido inverso, por cuanto el quedar atrapado en mínimos locales (o “encontrar el camino”, como decía Wright, o reducir la función de costo) se ilustra mejor cuando los valores óptimos son los más bajos (Wright 1932: 356; Dréo, Pétrowki y otros 2006: 4-5). Como sea, en éstas y en otras heurísticas los problemas pueden ser, según se los formule, de maximización de eficiencia o de minimización de costo, o lo que fuere; de lo que se trata por antonomasia en este campo de la optimización es de la sostenibilidad de las soluciones propuestas a través del modelo. Aunque la idea de paisaje de adecuación es una metáfora oportuna para entender el espacio de fases, no suele utilizarse en las implementaciones reales ya que pueden ser imposibles de trazar dada su alta multidimensionalidad, casi siempre mayor a tres. Recientemente se han ensayado recursos algebraicos para determinar el posicionamiento de las soluciones en ese paisaje, tales como el coeficiente de pendiente negativa, el cual (junto con sus variaciones) ha resultado útil como parámetro para medir la dureza de los problemas (Vanneschi 2007).

Existen otros modelos semejantes al de Holland que no trataremos aquí: la programación evolutiva, la estrategia evolutiva, la programación genética, la memética, el algoritmo ge-

nético interactivo o basado en humanos (HBGA), el algoritmo cultural del antropólogo Robert Reynolds, la evolución estocástica, la búsqueda adaptativa CHC, el aprendizaje incremental, la estrategia evolutiva asistida por modelos, la difusión simulada, el templado microcanónico, el templado cuántico, la búsqueda armónica, el método de umbral, el método del Gran Diluvio, la entropía cruzada, la optimización multidisciplinaria, la programación genética lineal, la evolución gramatical, los sistemas inmunes artificiales, la búsqueda tabú, el relajamiento probabilístico, la maximización de expectativas, los métodos de eigen-espacio, la programación cuadrática y el escalamiento de colinas, para nombrar sólo a los más populares (Koza, 1992; Glover y Laguna 1997; Bäck, Fogel y Michalewiz 2000a; 2000b; Capasso y Périaux 2000; Kennedy, Eberhart y Shi 2001; Glover y Kochenberger 2003; Ashlock 2006; Dréo, Pétrowski, Siarry y Taillard 2006; Zomaya 2006; Brameier y Banzhaf 2007; Bunbke y otros 2007; Doerner y otros 2007).

Por alguna razón que todavía se está debatiendo los antepasados de muchos de estos métodos surgieron en paralelo, a veces sin conocimiento recíproco, sin computadoras todavía, en obras de autores de los años 50 que recuerdo haber leído cuando joven pero cuya memoria casi se ha perdido: Nils Baricelli, Woodrow Wilson Bledsoe, George Edward Box, Hans Bremermann, G. J. Friedman, Jon Reed, Robert Toombs y otros más; los métodos distan de ser idénticos y algunos no se parecen a ningún otro, pero sin duda constituyen un conjunto polítetólico y comparten un aire de familia wittgensteiniano, como esos grupos de objetos afines singularizados en antropología por Rodney Needham (1975).

Igual que sucede en otras regiones del campo algorítmico, toda la familia de las metaheurísticas soporta el peso de una ominosa demostración de David Wolpert y William McReady (1995) del Instituto de Santa Fe; ellos han probado formalmente (en base al famoso teorema de “no hay almuerzo gratis”) que es imposible probar que haya un algoritmo que sea más eficiente en todas las circunstancias que una búsqueda de fuerza bruta realizada al azar. Hay que tener en cuenta, sin embargo, que este impedimento es formal; en la vida práctica, muchos miembros de la familia han demostrado su eficiencia en ciertos escenarios particulares, aunque se sepa que de estas experiencias nunca surgirán heurísticas susceptibles de ser generalizadas a través de los casos o cuya superioridad se pueda probar de manera taxativa mediante un teorema. Tal como es el caso de la demostración euleriana sobre los puentes de Königsberg, el dilema es inexorable y no se resuelve ensayando combinaciones de parámetros o refinando la metodología. Estamos en terreno caótico y prevalece además el efecto de alas de mariposa (Reynoso 2006a: 267-278). Pequeñas diferencias entre un caso y otro o entre dos valores de un mismo factor involucran un escenario de extrema sensibilidad a las condiciones iniciales y de conductas ulteriores fuera de toda proporción con la magnitud de esa diferencia. Métodos que funcionan con eficacia deslumbrante en un escenario determinado suelen fracasar estruendosamente si algún valor de parámetro o variable difiere en una cienmillonésima.

Pese a que por tal razón no tiene sentido afirmar que algunos algoritmos son mejores que otros, el modelo más simple y elegante es, a mi juicio, el del algoritmo genético propiamente dicho (en adelante AG). Holland y sus colegas y estudiantes de la Universidad de Michigan en Ann Arbor habían estado investigando análisis matemáticos de la adaptación

y se convencieron de que la recombinación de grupos de genes por medio del apareamiento constituía una parte crítica de la evolución; desarrollaron entonces el AG, el cual incorpora tanto apareamiento como mutación (Holland 1992a; 1992b).

El AG, llamado originariamente *plan adaptativo*, podría describirse de múltiples formas, pero la definición más simple y conveniente es tal vez la de David Goldberg:

Los algoritmos genéticos son algoritmos de búsqueda basados en la mecánica de la selección natural y la selección genética. Combinan supervivencia del más apto entre estructuras de caracteres con un intercambio de información estructurado pero azaroso para formar un algoritmo de búsqueda que tiene un cierto sabor de búsqueda humana. En cada generación se forma un nuevo conjunto de criaturas artificiales [*strings*] utilizando unidades y piezas de las más exitosas [*fittest*] de entre las criaturas viejas. Pese a que son aleatorios, los algoritmos genéticos no son simples caminos al azar. Explotan eficientemente la información histórica para especular sobre nuevos puntos de búsqueda en los que se pueda encontrar mejor rendimiento (Goldberg 1989: 1).

La tradición del AG tuvo un arranque poco productivo que se extendió más o menos entre 1975 y 1990. Se buscaba entonces generar un resovedor general de problemas favoreciendo la maximización del paralelismo, articulando un complicado plan de muestreo en el hiperplano y describiendo la propagación de componentes de soluciones mediante el llamado teorema de esquema. A fines del siglo XX estos cuatro principios se demostraron erróneos y la totalidad de la estrategia debió ser reconsiderada (Bäk, Fogel y Michalewicz 1997; Lee y El-Sharkawi 2008: 12, 28).

Los AGs contemporáneos no requieren modelos computacionales complicados ni dosis especiales de fuerza de procesamiento. Para desarrollar el tratamiento de un problema particular, uno simplemente comienza con una población de cadenas de dígitos binarios, caracteres, formas, sonidos o lo que fuere y luego evalúa cada cadena de acuerdo con la calidad de su resultado. De acuerdo con el problema que se trate, la medida de su adecuación [*fitness*] puede ser rentabilidad económica, resultado deportivo, tamaño, belleza o lo que cada quien postule, pudiendo ser la evaluación de esa medida un juicio exacto, aproximado, nebuloso, subjetivo o gestáltico, a cargo de un humano, una red neuronal, un sistema de reconocimiento de patrones o un sistema de votación. Las cadenas de más alta calidad conforme al resultado de la evaluación se aparean y tienen descendencia; las de más baja calidad perecen: supervivencia del más apto, podría decirse, aunque este dicho incurriría en una excesiva biologización del algoritmo. A medida que se sucedan las generaciones, las cadenas asociadas con soluciones mejoradas prevalecerán. El universo de todas las cadenas puede verse como un paisaje imaginario; los valles marcan la ubicación de cadenas [*strings*] que codifican soluciones pobres, y los puntos más elevados corresponden a las mejores cadenas posibles, o también a la inversa.

Vale la pena observar más de cerca, descomponiéndolo, el proceso de replicación de los ejemplares seleccionados. En la ejecución del AG lo primero es localizar las regiones del espacio de búsqueda que tienen las mejores cadenas, lo que suele hacerse usando tácticas auxiliares ya que dicho espacio suele ser muy grande. Una vez que se localizan las mejores soluciones en el espacio de búsqueda, las de mejor performance ejecutan su aparea-

miento. Para ello se alinean dos cadenas, se selecciona un punto en la cadena y las posiciones a la izquierda de ese punto se intercambian para producir dos salidas: una que contiene los símbolos de la primera cadena hasta el punto de *crossover* y los de la segunda a partir de ese punto, y la otra conteniendo la crusa complementaria (figura 15.2). Las crías [*offspring*] no reemplazan a los progenitores, sino a cadenas de baja performance, de modo que la población permanece siempre constante. En ocasiones el punto de *crossover* se elige al azar, o la chance de reproducción se otorga proporcionalmente a la adecuación de los ejemplares, admitiéndose o no las uniones incestuosas (Mitchell 1999: 9).

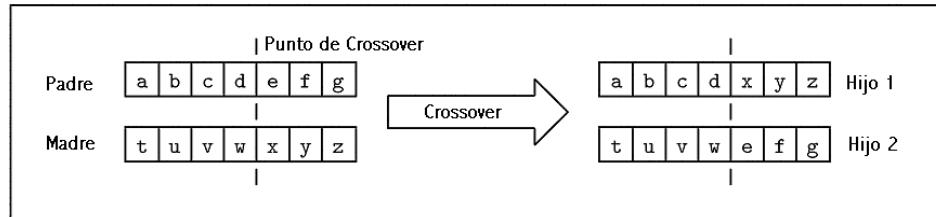


Figura 15.2 – Crossover – Dibujo del autor, basado en Flake (1999)

El proceso de ejecución del AG varía de un modelo o una implementación a otra, pero en su forma canónica involucra los siguientes pasos:

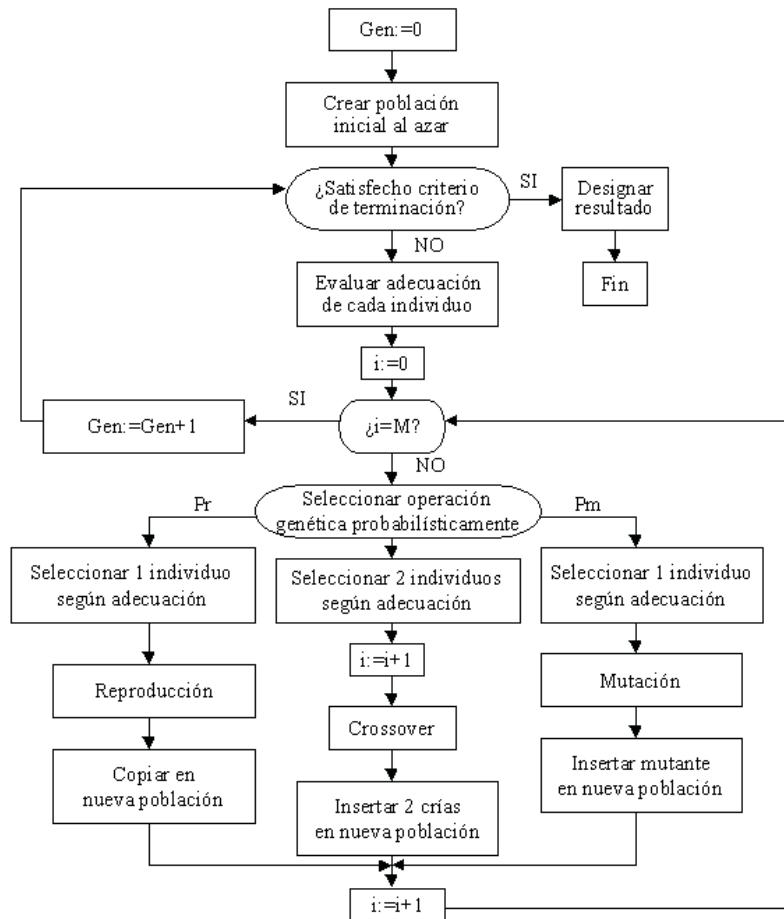


Figura 15.3 – Diagrama de flujo del algoritmo original – Diseño del autor

- (1) Inicializar una población de soluciones
- (2) Evaluar cada ejemplar en la población
- (3) Crear nuevos ejemplares apareando ejemplares existentes
- (4) Aplicar mutación y *crossover* mientras los progenitores se aparen
- (5) Eliminar miembros de la población para dejar lugar a los nuevos ejemplares
- (6) Evaluar los nuevos ejemplares e insertarlos en la población
- (7) Si se ha terminado el proceso, detenerse y obtener el mejor ejemplar; si no, ir a 3

Es importante destacar que el AG es extrapolable a diversas clases de aplicaciones porque su espacio de búsqueda define una representación sintáctica de la solución, y no una solución en sí misma. No se programan tampoco funciones de optimización diferenciables que orienten la búsqueda, ni se requieren derivativas o ecuaciones auxiliares (Lee y El-Sharkawi 2008: 25). Por ejemplo, un AG que trate de encontrar el número más alto entre 0 y 9 (obviamente 9) ignora qué son los números naturales, y ni siquiera sabe qué número es mayor o menor que otro. Solamente pregunta al evaluador cuál es, digamos, el puntaje de éxito para un individuo cuyo genotipo es “111”; el fenotipo, “7” en este caso, no tiene incidencia sobre la forma en que el AG actúa sobre los genes. Además de ser semánticamente ciegos y de no requerir información auxiliar, los AG son polimodales: diversas soluciones alternativas en diversas regiones del espacio de búsqueda, aunque genotípicamente distintas, pueden tener valores parecidos de adecuación. Es por ello que triunfan en problemas en los que las estrategias clásicas fallan porque la función de destino es ruidosa, no lineal, no diferenciable, discontinua, de alta dimensionalidad, cambiante a lo largo del tiempo, sujeta a múltiples restricciones o imposible de formular matemáticamente, como las que son moneda común en ciencias sociales.

En la formulación original de Holland las mutaciones sólo afectan a un porcentaje muy bajo de cadenas; uno de cada diez mil símbolos cambia cada tanto de cero a uno o viceversa, afectando a cualquier ejemplar. Una mutación no necesariamente avanza hacia el hallazgo de una solución, pero proporciona salvaguarda contra el desarrollo de una población uniforme incapaz de evolución ulterior (Holland 1992a: 46). Las mutaciones evitan además la convergencia prematura hacia (y el estancamiento alrededor de) mínimos locales, pero los especialistas en AG han sido conservadores respecto de la implementación de mutaciones, ya que en general ellas son más molestas que optimizadoras, lo mismo que (aseguran) lo son en la vida real. Demasiadas mutaciones convertirían el AG en un método de tipo Montecarlo, como de hecho lo es la simulación de templado o la búsqueda tabú. Apropiadamente se cree que la mutación es ventajosa pero no más que secundaria en la corriente evolutiva (Koza 1992).

Esta observación desmiente de cuajo la idea de Gregory Bateson, Henri Atlan, Heinz von Foerster y Edgar Morin de que el ruido, el acontecimiento y el accidente son “la única fuente posible de nuevos modelos” y el único motor sistémico de cambio (Morin 1984: 155-156). A pesar de la difundida creencia, la mutación (el azar, el error) no es ni por asomo el agente primordial del cambio, en esta familia algorítmica al menos. Por el contrario, las funciones de recombinación y dominancia han demostrado ser factores de innovación mucho más poderosos. Excepto que sean gemelos univitelinos, los hijos de una

misma pareja son genéticamente diversos sin que para ello sea menester mutación aleatoria alguna; para garantizar la diversidad alcanza con que el mecanismo de copia sea laxo o posea un mínimo infinitesimal de grados de libertad. Por ello es que el modelo del AG es la evolución con reproducción sexual y no el de la reproducción no sexual, en la cual el único operador imaginable es efectivamente la mutación.

La cuestión es tan sutil, sin embargo, que hoy el campo de los algoritmos inspirados por la naturaleza o la cultura está dividido entre aleatoristas como William Spears (2000) y combinatoristas como David Goldberg (1989: 1, 14), John Holland (1992b: 97, 111), John Koza (1992) y yo mismo. A pesar de usar el término de mutación para aludir a los grados de libertad inherentes al proceso, también era partidario del cambio como emergente de la combinación el pionero Sewall Wright, quien escribía:

La enorme importancia de la reproducción bilateral como un factor en la evolución fue discutida muchos años atrás por [Edward M.] East. Las propiedades observadas de mutación de genes –fortuita en origen, infrecuente en ocurrencia y deletérea cuando no despreciable en sus efectos– parece algo tan desfavorable como es posible serlo para un proceso evolutivo. Bajo reproducción biparental, sin embargo, un número limitado de mutaciones que no son demasiado dañinas a ser experimentada por la especie proporciona un campo casi infinito de variaciones posibles en el cual la especie puede encontrar su camino bajo la selección natural (Wright 1932: 356).

La eficiencia del AG en comparación con otros procedimientos de búsqueda y resolución de problemas se basa en el hecho de que las regiones de más alto rendimiento [*payoff*] tienen más descendencia en las generaciones siguientes. Maximizar la adecuación equivale a minimizar la función de costo. De hecho, el número de cadenas en una región determinada se incrementa de manera proporcional a la estimación estadística de la adecuación de esa región. Un estadístico necesitaría examinar docenas de muestras de miles o millones de regiones para estimar la adecuación promedio de cada región; el AG se las ingenia para alcanzar los mismos resultados con muchas menos cadenas y con un mínimo de computación.

El número de aplicaciones del AG en antropología y arqueología ya es considerable. La primera mención absoluta del AG en antropología se remonta a mi tesis sobre *Antropología y Programación Lógica* (Reynoso 1991c). La primera presentación de esta metaheurística en un modelo arqueológico real la realizó también quien esto escribe en colaboración con Eduardo Jezierski en una conferencia de Computer Applications in Archaeology que tuvo lugar en el año 2001 en Visby, Suecia (Reynoso y Jezierski 2002). En aquella ocasión se presentaron los algoritmos adaptativos como mecanismos aptos para la resolución de diversas clases de problemas, los arqueológicos entre ellos.

Dos años más tarde, Martin Kampel de la Universidad de Tecnología de Viena y Francisco Javier Melero de la Universidad de Granada desarrollaron una implementación de AG con referencia a nuestro documento, aplicada a fases particularmente complejas en el proceso de reconstrucción virtual de vasijas ibéricas (Kampel y Melero 2003; Melero, Torres y León 2003). Posteriormente, Chaouki Maiza y Véronique Gaildrat del Departamento de Computación de la IRIT en Toulouse elaboraron un sistema de clasificación automática de desechos arqueológicos también con mención de nuestra propuesta algorítmica en el

contexto del programa CLAPS de búsqueda y posicionamiento de fragmentos en vasijas; este último se halla a su vez integrado a SIAMA, un sistema de imaginería y análisis del mobiliario arqueológico (Maiza y Gaildard 2005: 11; Maiza 2004). Estas prestaciones se aplicaron a la sistematización de más de cuarenta mil fragmentos digitalizados provenientes de los sitios galorromanos de La Graufesenque y Montans. Las aplicaciones que se han derivado de estas ramas de investigación, a dos grados de separación de nuestro programa, son ya demasiado numerosas para seguir las a todas.

En lo que atañe al tema específico de esta tesis, hay numerosos ejemplos de uso más o menos públicos y conspicuos de AG en ARS y en teoría de grafos:

- En el área de economía computacional (o econofísica) Floortje Alkemade y Carolina Castaldi (2005) han aplicado AG para modelar las estrategias de difusión de innovaciones en redes sociales y para localizar conglomerados en el interior de redes de alta dimensionalidad. El primer autor ha integrado diversas clases de modelos y formalismos en su propio trabajo de tesis doctoral (Alkemade 2004): modelos basados en agentes, ARS y AG.
- Mursel Tasgin (2004) ha elaborado ingeniosas prestaciones de AG para identificar comunidades en redes sociales de la vida real utilizando la definición cuantitativa de comunidad de Girvan y Newman, la cual utiliza una medida que se conoce como modularidad de la red. La performance de estos algoritmos es al menos comparable a los de Radicchi, Reinhard-Bornholdt y Wu-Huberman, con la diferencia a su favor de que funciona mucho mejor en redes inmensas, donde los algoritmos usuales no son practicables (véase también Tasgin, Herdagdelen y Bingöl 2008). El nuevo algoritmo tampoco requiere que se indique de antemano el número de comunidades presentes en una red, sino que va obteniendo ese número como valor emergente a medida que se optimiza el valor de modularidad.
- Recientemente, Markus Bremeyer y Wolfgang Banzahf (2007) han desarrollado una variante lineal de la programación genética para la inducción de código y otras funciones igualmente complejas. De particular interés resulta su interpretación del algoritmo en términos de grafo acíclico dirigido (DAG), lo cual permite evaluar la evolución del grafo en el sentido de Erdős y Rényi.
- Steve Borgatti y Martin Everett (1999) han implementado AG para encontrar estructuras diferenciales de centro/periferia en Ucinet, el más usado de todos los programas de ARS. La versión discreta del problema establece que los miembros de una red pertenecen o bien al centro (que tiene alta densidad de vínculos) o bien a la periferia de una red, donde la densidad es baja. Si la estructura centro/periferia se define a priori, el problema de encontrar una prueba estadística adecuada es trivial. Pero si no se la define, ahí ya el problema se torna complejo. Dado que Borgatti y Everett no proporcionan una prueba estadística de significancia para su hallazgo de la estructura, alegando que para ello se debería definir un modelo nulo para cada contexto sustantivo (y debido a que esta carencia podría generar lo que los estadísticos llaman errores de tipo II) algunos autores han sugerido algoritmos

alternativos que garantizan mayor probabilidad de encontrar el máximo (o mínimo) global (Boyd, Fitzgerald y Beck 2004).<sup>76</sup>

En el momento en que esto se escribe la bibliografía aplicativa sobre la utilización conjunta de AG, ARS y teoría de grafos (o más generalmente, sobre el vínculo entre metaheurísticas de optimización y combinatoria discreta en estudios de misión crítica) alcanza el orden de las decenas de miles de libros, artículos y ponencias (p. ej. Eloranta y Mäkinen 2001; Afshar 2006; Wu y Shan 2000; Funaya e Ikeda 2007; Gargano y Lurie 2007; Alander 2009; Afshar 2009; Fan y Meng 2010; Ouyang y otros 2010). Si el antropólogo o el científico social ha de participar en proyectos multidisciplinarios complejos que reclamen un modelado reticular y una minimización sostenible de inversión, tiempo y recursos sería un acto incalificable que siga ignorando los logros de este campo en materia de las inflexiones teóricas más difíciles y de los problemas de gestión más apremiantes. Invito aunque más no sea a echar una mirada a los dilemas afrontados en los miles de estudios registrados en la bibliografía consignada para aventar el mito de que los problemas planteados en una ciencia social se destacan por una complejidad especial, o que los que se desarrollan en otras disciplinas más formalizadas implican un conocimiento exacto de los mecanismos involucrados, son estrictamente cuantitativos o requieren poseer de antemano las claves de la explicación del fenómeno.

•••

Una metáfora heterodoxa similar en espíritu al AG y a otras metaheurísticas como los algoritmos de enjambre o la búsqueda tabú es la de la simulación de templado [*simulated annealing*], que encuentra su mejor expresión en el abordaje del conocido problema del vendedor viajero (TSP) en el cual se debe encontrar la trayectoria más corta entre un número de sitios. Este problema fue definido inicialmente por sir William Hamilton [1805-1865]; técnicamente, su objetivo es hallar un camino hamiltoniano de costo mínimo en el grafo correspondiente, camino que en este contexto se llama *tour*. Aplicado a éste y otros dilemas duros, el método de templado fue descubierto de manera independiente por Scott Kirkpatrick, Daniel Gelatt y Mario Vecchi (1983), y por V. Černý (1985). Es una adaptación del algoritmo de Metropolis-Hastings, un método de tipo Montecarlo para generar series cuyos elementos son análogos a mediciones de un sistema termodinámico a lo largo del tiempo (una distribución de Boltzmann), que fuera inventado por Nicholas Metropolis [1915-1999] y otros en 1953.

La metáfora del templado se inspira en la forja de piezas de hierro; en esa forja, el herrero alterna calentamiento con enfriamiento lento para reorientar las moléculas y producir un

<sup>76</sup> Debo aclarar la nomenclatura, pues hasta Clifford Geertz utilizó alguna vez estas expresiones. Un error de Tipo I, error  $\alpha$  o falso positivo consiste en rechazar la hipótesis nula cuando ésta es verdad. Un error de Tipo II, error  $\beta$  o falso negativo consiste en no rechazar la hipótesis nula cuando la hipótesis alternativa es verdad. La distinción fue creada por Jerzy Neyman y Egon Pearson (1928), llamándose los tipos en aquel entonces “primera” y “segunda fuente de error”; trabajos ulteriores de Neyman y Pearson, desde 1933 en más, implementan la terminología actual. Como quiera que sea, y como ya hemos visto y volveremos a ver, la prueba estadística de la hipótesis nula y todo aquello que se le refiere se encuentra últimamente bajo ase-dio (cf. más adelante, pág. 316).

metal más resistente, gracias a su acomodamiento en cuencas de valores locales mínimos. “Aumentar la temperatura” involucra aceptar un movimiento que incrementa el costo inmediato; “bajarla” equivale a disminuir la posibilidad de aceptar desplazamientos que podrían ir en la dirección equivocada. La aceptación del camino “caliente” cuesta arriba se dirime mediante el llamado criterio de Metropolis. En la generalidad de los casos el sentido común diría que hay que tratar de tomar cada vez el camino más corto; cuando se presenta esta alternativa siempre se la acepta. Pero a veces hay que aceptar tramos más largos entre las alternativas disponibles para minimizar la totalidad de la trayectoria y evitar quedar atrapado en un óptimo local. Un sistema que se atiene al criterio acepta correr el riesgo de una mala elección cuando la temperatura está alta pero luego se torna cada vez más conservador y apuesta a lo seguro. Del mismo modo que en el desarrollo de la persona, la prudencia viene con el tiempo.

Una diferencia importante entre la simulación de templado y otras metaheurísticas consiste en que aquélla probablemente converja hacia un óptimo global, o al menos a una solución arbitrariamente próxima al óptimo con una probabilidad cercana a la unidad (Dréo, Pétrowki y otros 2006: 27). Kirkpatrick y su equipo eligieron bien los casos a tratar con su algoritmo y tuvieron éxito en probar la idea resolviendo un TSP que involucraba algunos miles de ciudades. Podrían no haberlo logrado y la historia habría sido otra. Como sucede en otros ámbitos de aplicación, en el diseño de implementación del algoritmo es menester mucha claridad en los aspectos del problema ligados al dominio.

Inventar el conjunto de movidas más efectivo y decidir qué factores incorporar en la función objetiva requiere *insight* en el problema a resolver y puede no ser obvio en absoluto. Sin embargo, los métodos existentes de optimización iterativa pueden proporcionar elementos naturales sobre los cuales basar el algoritmo de simulación de templado (1983: 679).

Cada vez que en otras ciencias aparecen invocaciones a la naturaleza entre los antropólogos cunde la alarma, pero en este caso no hay motivo: “naturales” quiere decir, en este contexto, “congruentes con las formas usuales de resolución en la práctica de referencia”.

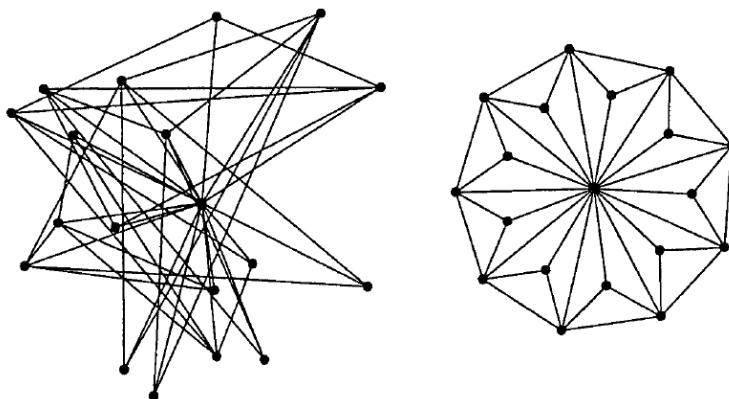


Figura 15.4 – Optimizando grafos con simulación de templado – Basado en Davidson y Harel (1992: 314)

Todavía son pocos los desarrollos de teoría de grafos o análisis de redes sociales que hacen uso lucido de la heurística de simulación de templado. Uno de los mejores empeños es el de Ron Davidson y David Harel (1996), orientado a dibujar grafos “bellos” (esto es:

estéticamente agradables) echando mano de esa metodología. Las funciones de costo especificadas en el programa contemplaban una distribución pareja de los nodos, longitudes uniformes para los vértices, cruces mínimos y nodos alejados de los vértices. El objetivo de generar grafos planares (o determinar si el grafo que se tiene entre manos lo es) no es simplemente estético; que un grafo sea planar (y más todavía simétrico) altera sustancialmente las operaciones que se pueden realizar sobre él, como se ha visto en el capítulo correspondiente al tratar el tema de la coloración como métodos de asignación de tiempos o recursos. Establecer si un grafo es planar es una tarea que puede consumarse en tiempo lineal, como lo probaron Hopcroft y Tarjan (1974), suministrado el algoritmo para hacerlo. Pero dependiendo de la complejidad del grafo algunos cálculos requeridos (como hallar el conjunto máximo independiente) son de máxima cardinalidad y pueden ser NP-duros (Nishizeki y Chiba 1988: 19, 25-27). Con fama de lentos, los algoritmos de optimización basadas en esta metaheurística gozan también del predicamento de estar entre los mejores. Aunque el programa de Davidson y Harel no “comprendía” la planaridad ni tenía nociones de simplicidad o simetría, fue capaz de transformar el grafo de la izquierda de la figura 15.4 en el de la derecha, el cual es perfectamente isomorfo al primero. La transformación de un trazado en otro, incidentalmente, debería hacernos pensar el modo en que la visualización de un grafo depende de su estrategia de representación.

Los algoritmos de Davidson y Harel se han vuelto de aplicación común al lado de las heurísticas de resorte como las de Luzar, Eades, Sugiyama, Misue, Fruchterman-Reingold o Kamada-Kawai. En los últimos años del siglo XX y en lo que va de éste se han multiplicado los usos de simulación de templado para el análisis y la graficación de redes complejas. Uno de los más eficientes es el sistema CAVALIER, el cual también incluyen módulos de cálculo basados en álgebra lineal (Dekker 2000). Otros nombres en esa rama emergente de la industria son los de Jim Blythe, Janez Brank, Isabel Cruz, David Krackhardt (el autor de Krackplot), Cathleen McGrath, Meir Sardas y Joseph Twarog.

Un problema asociado a la determinación de la planaridad de los grafos, pero mucho más difícil, es el de la planarización de grafos que no son planares. Esta es una práctica común en diseño de circuitos, trazado de redes energéticas, definición de recorridos óptimos, búsqueda de árboles abarcadores mínimos o planificación de servicios municipales, dado que problemas que son duros en grafos no-planares devienen sencillos de realizar cuando se los planariza. El dilema de segundo orden que hay implicado en esto es que muchos procedimientos de planarización, tal como encontrar el conjunto mínimo planar de aristas, son ellos mismos NP-completos. De más está decir que un gran número de soluciones propuestas para esta clase de problemas utiliza metaheurísticas inspiradas en la naturaleza, la sociedad o la cultura en general o despliega el algoritmo genético en particular (Wang y Okazaki 2006).

Una última reflexión viene a cuenta: en la ciencia pre-compleja o de complejidad desorganizada prevalecían los métodos abstractos de cálculo absoluto, con el análisis multivariado, el análisis de regresión y las ecuaciones diferenciales como sus exponentes más prestigiosos; en el campo de las teorías y métodos de la complejidad, en cambio, hasta las técnicas algorítmicas más abstrusas rebosan de imaginería y metaforicidad.

**Consecuencia nº 12:** Este es el momento adecuado en el que cabe repensar la relación entre metáforas, modelos y prácticas disciplinarias de una manera distinta a la que ha sido la norma en la tradición humanística o en la filosofía de la ciencia. El problema con la reflexión en estos campos es que el terreno se encuentra afeado por presuposiciones y clichés que no hacen justicia a los hechos de la historia científica. Tanto en la antropología como en la ciencia cognitiva hermenéutica, efectivamente, ha prevalecido la sensación de que las ciencias exactas utilizan modelos mientras las humanidades explotan más bien metáforas, lo cual por un lado es conceptualmente más débil pero posee, como contrapartida, un valor humano y estético agregado. De más está decir que ahora se ve que no es así y que probablemente nunca lo haya sido (Cowan, Pines y Meltzer 1993; Kövecses 2005; Gibbs 2008).

A menudo las metáforas suelen viajar no desde las ciencias duras a las blandas (degradándose en el camino) sino transitando el camino inverso y ganando en el trayecto tanto riqueza semántica como filo instrumental. Como ya hemos tenido oportunidad de verificarlo, fuera del círculo de los teóricos de redes la antropología ha encontrado algunas aplicaciones ingeniosas para los algoritmos evolutivos, particularmente en Europa, México y el enclave del SFI; por su parte, la simulación de templado es de uso frecuente en (etno)musicología cognitiva y en estudios de música popular. Pero más importante que eso es que las metáforas heterodoxas producidas dentro de la antropología, y en primer lugar los algoritmos culturales de Robert Reynolds (1994), han sabido encontrar su espacio entre las herramientas de búsqueda, aprendizaje de máquinas y optimización de procesos industriales (Ray y Liew 2003; Haupt y Haupt 2004: 199).<sup>77</sup> Y esta es la instancia sobre la que conviene centrarse para examinar un tema de alto impacto, atinente a la forma, al sentido y al alcance de la metáfora biológica/evolutiva, sea combinada con redes o en estado puro.

Vengan de donde vengan, las metáforas (tan valoradas en las disciplinas humanísticas que nunca nadie se preocupó por establecer en torno de ellas una reflexión epistemológica que condujera a una elaboración operativa) pueden no ser suficientes por pregnante y expresiva que sea la inspiración que nos infunden. Mientras que en las ciencias que se dirían formales se han interrogado seriamente las figuras del lenguaje, en las formas más extremas de las ciencias humanas la dimensión metodológica de las metáforas orientadoras se estima no problemática, se deja sin tratar o se da por sentada, como si no hiciera falta o no fuera viable, técnicamente hablando, pasar de la analogía al isomorfismo, de la teoría a la práctica, de la descripción densa al cambio profundo. Ejemplos característicos son los ensayos de Victor Turner (1974) y Clifford Geertz (1980) sobre la productividad de las metáforas del texto, el juego y el drama. Este género literario ha glorificado a estas últimas porque resultan argumentativamente plausibles o porque ennoblecen la trama de la significación, logros que ni por un momento se me ocurriría minimizar. Pero en esta perspectiva no se ha considerado la posibilidad de que otras metáforas parecidas, edificadas sobre un plan apenas diferente (las de la gramática, la teoría de juegos y las estrategias

---

<sup>77</sup> Véase más adelante, pág. 332 y subsiguientes.

procesuales de la computación natural, respectivamente) puedan ser más susceptibles de instrumentación práctica y más aplicables a través de la diversidad de los objetos, abstracción mediante, como resultó ser el caso con las metaheurísticas en más disciplinas de las que aquí podría enumerar (Ballard 1997; Glover y Kochenberger 2003; Reynoso 2010).<sup>78</sup>

Incluso en las formas más avanzadas de modelado, sin embargo, es mucho lo que resta por hacer. En computación evolutiva las categorías que integran el modelo, las formas de representación, las decisiones sobre la naturaleza de la función de costo, los criterios para juzgar la adecuación de las soluciones y sus valores relativos, la información atinente a los constreñimientos, el ajuste de grano fino de los parámetros, la enunciación y evaluación de los objetivos de gestión y una escala razonable de tratamiento conforme a la dimensionalidad del espacio de fases son factores esenciales en el planteo del problema que sólo recientemente han merecido una reflexión científica detenida (Bäck y otros 2000a; 2000b; Rothlauf 2006).

Lo notable es que esta clase de factores no se integra en términos formales sino en función de decisiones emanadas de la experiencia empírica; y aquí es donde se presenta una oportunidad única para poner en valor las ciencias humanas, generando casos de referencia que habitan el mismo plano que los que se ensayan en alta ingeniería, biología o inteligencia artificial, dado que en el campo algorítmico se reconoce ahora que nuestras disciplinas, proverbialmente refractarias a la formalización, son por eso mismo las verdaderas ciencias duras (Simon 1987; Epstein y Axtell 1996: 1; Kohler 2000: 4). Esa es la razón que explica por qué las incursiones de los científicos duros en los ámbitos humanísticos, desde la dinámica de sistemas a la sociofísica, desde von Bertalanffy y René Thom hasta Hermann Haken e Illya Prigogine, han resultado tan decepcionantes: sólo un especialista en los asuntos concretos a modelar puede expedirse sobre los aspectos críticos del problema, establecer las prioridades y distinguir el grano de la paja. Escribe uno de los mayores expertos en gestión del conocimiento:

A menudo la representación particular de los individuos y el conjunto de operadores que alteran su código genético son intrínsecos al problema. Por ende, no está de más seguir insistiendo en que la incorporación de conocimiento específico del problema, por medio de la representación y de operadores específicos, puede mejorar la performance de los sistemas evolutivos de una manera significativa (Michalewicz 1996: vii).

Con rara unanimidad los estudiosos concluyen que es menester coordinar una conceptualización disciplinaria apropiada y un robusto modelo de datos con los operadores, las variables y los parámetros del procedimiento. Si sólo se tiene destreza en tácticas algorítmicas es posible que el desarrollo converja satisfactoriamente hacia algún valor cuantitativo que tranquilice la conciencia y justifique el costo social de los subsidios requeridos; pero puede apostarse que el planteo empírico será impropio, la semántica de su mapeado conceptual incongruente y el resultado dudoso, forzado o trivial. Por más que éste u otros

<sup>78</sup> No por nada el auge de la interpretación contemplativa en las postrimerías del siglo XX fue coetánea del declive de la *action research* lewiniana, de la antropología aplicada y del protagonismo del antropólogo como consultor científico en la gestión interdisciplinaria.

métodos formales pongan en negro sobre blanco dilemas, matices y requisitos que antes podían pasar inadvertidos, formalmente puede decirse ahora que cualquiera sea el instrumento, el conocimiento sistemático del dominio, la venerable ciencia social, sigue siendo un factor decisivo en el diseño de una solución sostenible. No por cierto el único, pero crucial al fin. Puede que las respuestas sean ahora más afiladas, pero (como decía Gadamer [1977: 439-458]) será por siempre la pregunta la instancia que detente la primacía hermenéutica.

## 16 – Redes espaciales: Grafos para una antropología del paisaje y la ciudad compleja

Cuando se la mira bien la ciudad es dos cosas: una gran colección de edificios vinculados mediante el espacio, y un sistema complejo de actividad humana vinculado mediante la interacción. Podemos llamar a esas dos cosas la ciudad física y la ciudad social. La práctica y la teoría urbanas deberían vincular a ambas. Pero las disciplinas reflexivas que las soportan y las nutren (a grandes rasgos, las disciplinas morfológicas de un lado y las ciencias sociales del otro) por su misma naturaleza adoptan una perspectiva asimétrica, poniendo en primer plano una ciudad y en segundo plano la otra, viendo por ende la “otra” ciudad a través de la que está adelante, captando así, en el mejor de los casos, un conjunto oscuro de patrones y de fuerzas. No es sorpresa entonces que, en los inicios del siglo veintiuno, tengamos muchas teorías parciales sobre la ciudad, pero ni una sola una teoría de la ciudad como las dos cosas que ella parece ser.

Hillier & Vaughan, “The city as one thing”

Algunos fragmentos de este capítulo se han desarrollado en otro libro dedicado a las técnicas complejas de análisis disponibles en antropología urbana, arquitectura, ciencia cognitiva y geografía cultural (Reynoso 2010: 207-263). Es por ello que se encontrará que unos cuantos párrafos, elaborados durante meses, han sido reproducidos aquí con escasas modificaciones; lo mismo sucede con unas pocas figuras. El planteo general que aquí propongo, sin embargo, es distinto; las conclusiones epistemológicas son otras, el material consultado es más exhaustivo, las referencias cruzadas difieren, los aspectos técnicos se comprenden y se explican mejor. La colección de fórmulas de medida es ahora, por amplio margen, la más extensa y razonada que puede encontrarse en la literatura. Mientras en el otro texto se hablaba centralmente de la ciudad como objeto, aquí el ojo está puesto en los formalismos reticulares que subyacen al campo de las redes espaciales (sintácticas y de las otras), acaso uno de los campos más estimulantes entre todos los que conforman las teorías que nos ocupan.

•••

Cuando se imagina una red se la piensa ubicada en un espacio. La literatura sobre redes, sin embargo, apenas trata la cuestión. La naturaleza de los espacios inherentes a la idea de red (métricos, geométricos, topológicos, proyectivos, virtuales, metafóricos, imaginarios, cognitivos) tampoco está tipificada de manera sistemática. Recién en los últimos (digamos) seis o siete años se está trayendo el problema seriamente a la palestra, al punto que se está gestando aquí y allá un conjunto de campos emergentes que se inscriben en una especie de teoría de las redes espaciales (Shekhar y Chawla 2003; Blanchard y Volchenkov 2009; Reggiani y Nijkamp 2009; Yang y otros 2010). Éste habrá de ser por ende

el lugar en el que corresponde al menos documentar la idea de que ni aún la noción en apariencia primitiva y autoevidente de “espacio” es algo sobre lo cual existe consenso profesional, cultural o (aunque más no sea) intradisciplinario (cf. Couclelis y Gale 1986; Lawson 2005; Dursun 2009). Bill Hillier escribe con rara agudeza sobre esta situación paradójica:

[I]ncluso entre quienes se interesan en el campo, la idea de “espacio” se transcribe a menudo como el “uso del espacio”, la “percepción del espacio” o los “conceptos del espacio”. En todas estas expresiones comunes se otorga significación al espacio ligándolo directamente con la conducta o con la intencionalidad humana. Los conceptos espaciales de la ciencia social, tales como el “espacio personal” y la “territorialidad humana” también vinculan la idea del espacio al agente humano y no reconocen su existencia independientemente de él. En arquitectura, donde los conceptos de espacio se desvinculan a veces de la agencia humana, a través de nociones como la “jerarquía espacial” y la “escala espacial”, todavía encontramos que es raro que el espacio se conceptualice de una manera por completo independiente (Hillier 2007a: 19).

Todos estos conceptos –prosigue Hillier, y coincido con él– confirman la dificultad de conceptualizar el espacio como una cosa en sí misma. En ocasiones esta dificultad encuentra expresiones extremas. En su polémico *The aesthetics of architecture*, el filósofo, enólogo y operista Roger Scruton (1977: 47-52), por ejemplo, llega a pensar que el espacio es un error categorial perpetrado por arquitectos pretenciosos, incapaces de entender que el espacio no es una cosa en sí misma, sino meramente el lado opuesto del objeto físico, la vacancia dejada por el edificio. Todo discurso sobre el espacio es erróneo, argumenta, porque se lo puede reducir al discurso sobre los edificios como cosas físicas. Pero este extremo le parece a Hillier una perspectiva bizarra: “El espacio es, sencillamente, lo que usamos en los edificios. Es también lo que vendemos. Ninguna empresa inmobiliaria ofrece en venta paredes. Las paredes hacen el espacio y cuestan dinero, pero la mercancía rentable es el espacio” (loc. cit.). Esto piensa Hillier y luce como un buen punto; pero mejor punto todavía, y aún más indiscutible, es que el espacio es –como diría Lévi-Strauss– un concepto eminentemente *bon à penser*, por más que se lo haya comenzado a pensar de maneras creativas en tiempos relativamente recientes.

Aunque será inevitable tocar esas cuestiones, no es éste mi intención introducir en este ensayo una cuña de capítulos relativos a las estadísticas de los sistemas de información geográficos, a la econométrica espaciotemporal y a las concepciones formales, sociológicas o cognitivas del espacio. Todo ello es demasiado abigarrado, inmenso, ramificado, proliferante. He tratado, además, algunos de esos tópicos en otros ensayos que he elaborado hace poco, que todavía me encuentro escribiendo o que escribí hace mucho y no es imperioso ahora volver a revisar (cf. Reynoso 2008b). Sólo me ocuparé entonces de unos pocos apéndices complejos de aquella encrucijada de teorías, relativos a unos momentos excepcionales, de hibridación retorcida y de transdisciplinariedad inevitable, en los que la analítica y el diseño urbano se encontraron con los grafos y las redes en crudo. Un encuentro que a su vez derivó en la elaboración de un modelo que se dice sintáctico pero que en rigor constituye un nexo entre las redes sociales, los grafos, las álgebras, la problemática de la tratabilidad, las cuestiones urbanas y por supuesto la complejidad. Un mode-

lo que posee consecuencias antropológicas por donde se lo mire, pero respecto del cual la antropología no ha decidido todavía concederse la oportunidad de encontrarse con él.

### 16.1 – Formalismos de sintaxis del espacio

En su origen los modelos reticulares del espacio fueron euclidianos en materia de geometría y newtonianos en lo que concierne a la física que desplegaban. Si se lo piensa bien, la tradición de representar el ambiente urbano mediante grafos se originó en el famoso ensayo de Euler sobre los puentes de Königsberg que entrevimos hacia el principio de esta tesis. En las representaciones encuadradas en esa tradición, siglos más tarde, elementos urbanos de una cierta masa (población residencial, actividad de negocios, precio de edificaciones) se asociaban con otras locaciones en el plano euclidiano definido por los nodos  $V=\{1, \dots, N\}$  cuyas relaciones recíprocas se basaban en una geometría también euclidiana en la cual los objetos espaciales poseían valores precisos de coordenada. El valor de los vínculos entre los nodos podía ser simplemente binario (1 si había conexión, 0 en caso contrario), proporcional a la distancia euclidiana entre los nodos o igual a cierto valor de peso  $w_{ij} \geq 0$  que cuantificaba la dinámica de los flujos entre las zonas urbanas discretas  $i$  y  $j$ , inducida por la “atracción” entre los nodos. Se pensaba que estos flujos resultaban aproximadamente proporcionales a la masa e inversamente proporcionales a la distancia, como se pudo comprobar incluso, tardíamente, en el ingenioso modelo gravitacional de las autopistas coreanas de Jung, Wang y Stanley (2008). Históricamente, los modelos euclidianos y newtonianos desarrollados sobre la base de grafos primarios más o menos puestos en mira se utilizaron como herramienta de ayuda en la política de planificación de ciudades, pero a pesar de su éxito y su popularidad nunca cuajaron en una teoría urbana sostenible y formalmente elaborada (Blanchard y Volchenkov 2009: 19).

Como sea, se volvió común representar la forma urbana como un patrón de elementos identificables, como lugares o áreas cuyas relaciones recíprocas se asocian a menudo con rutas de transporte lineales, análogas a las calles de una ciudad. De eso a pensar que esos elementos forman componentes de un grafo hay un solo paso; en la interpretación más frecuente los elementos serían vértices y los arcos vendrían a ser flujos directos o asociaciones entre aquéllos. La representación puede ser más o menos concreta, denotando desde flujos migratorios entre regiones hasta calles o corredores. El análisis que luego se establece sobre esos grafos tiene que ver generalmente con la proximidad relativa o “accesibilidad” entre ubicaciones, lo que involucra calcular las distancias entre nodos, la densidad de actividad de las distintas ubicaciones, la capacidad de transporte, la conectividad diferencial. Los conglomerados o *clusters* de actividad se asocian habitualmente con altos niveles de accesibilidad; muchos de los diseños urbanos existentes intentan cambiar esos patrones de accesibilidad mediante nuevas infraestructuras de transporte.

Así fue que se generó una larga tradición de investigación urbana vinculada con principios de la teoría de grafos. Tras el trabajo pionero de William Garrison y otros (1959) sobre la conectividad de los sistemas de autopistas que sirviera de manifiesto a la “revolución cuantitativa” en geografía, John Nystuen y Michael Dacey (1961) desarrollaron dichas representaciones como medidas en la jerarquía de sistemas regionales de lugares

centrales (en el sentido de Christaller) inaugurando entre los geógrafos la práctica del análisis nodal (Tinkler, Nystuen y Dacey 1988). En una celebrada disertación K. J. Kansky (1963) aplicó teoría de grafos básica a la medición intensiva de redes de transporte; Lionel March y Philip Steadman (1971) examinaron los vínculos entre las habitaciones de los edificios y Mario Krüger (1979) las relaciones que median entre los edificios en las plantas urbanas. El uso de análisis de redes en geografía, arquitectura y disciplinas conexas ha sido por lo visto intensivo y hace ya mucho que se escribió el buen *survey* de Peter Haggett y Richard Chorley (1969) en el cual se destaca la relevancia del cálculo de la accesibilidad. Desde la arqueología y la antropología hasta la geografía, fuera de la corriente que aquí nos ocupara la literatura espacial-reticular más reciente sigue cánones parecidos a éhos (Bell 1998; Abed 2005; Gaetan y Guyon 2010).

Los estudios de Nystuen, Dacey, Haggett y Chorley en particular son representativos de las promesas y las limitaciones de un método que en la etapa pionera apenas estaba computarizado. Igual que sucedía en antropología con las redes sociales, la técnica se encontraba todavía demasiado ligada a su objeto. Los autores distinguían, por ejemplo, cuatro clases de redes que llamaban el camino [*path*], el árbol (el sistema hídrico), el circuito (la red de transporte) y la barrera (las regiones administrativas). Las referencias a la teoría de grafos eran apenas modestas, agotándose en una cuantificación matricial muy básica. Superando una resistencia no menguada por parte de los opositores a los métodos formales y de los partidarios de las áridas estadísticas al modo clásico como las que yo mismo practiqué alguna vez (Reynoso y Castro 1994), a la larga el análisis reticular terminó afianzándose en todos esos campos durante la década del sesenta y comienzos de la siguiente.

Una vez consolidada la idea de la ciudad como grafo o como red, era natural que se diera un paso más. Ese paso fue dado por Bill Hillier y sus colegas en el Space Syntax Laboratory, de la Bartlett School of Architecture en el University College de Londres, no muy lejos del lugar donde William Batty y el equipo del CASA estaban elaborando sus herramientas basadas en autómatas celulares y fractalidad. Se trata, por supuesto, de la sintaxis espacial [*space syntax*, en adelante SE], una batería de técnicas sumamente simples para cuantificar y comparar patrones de accesibilidad en espacios construidos. Desde el punto de vista de la historia de las estrategias relacionales en el pensamiento sobre el espacio, la SE sucedió a la morfología arquitectónica del “estructuralismo global” del folklorólogo Henry Glassie (1975) y de Philip Steadman (1983) y precedió por poco al estructuralismo dialéctico de Roderick Lawrence (1987). El trabajo seminal en el campo de la SE sigue siendo *The Social Logic of Space* de Bill Hillier y Julianne Hanson (1984), aunque el texto se encuentra claramente superado. Como se desprende del título, el propósito de la estrategia es vincular lo social y lo espacial. Años más tarde se escribirá:

La sintaxis espacial comienza en la observación de que el espacio es la base común de las ciudades física y social. La ciudad física es un patrón de espacio complejo, mientras que toda la actividad social ocurre en el espacio. En sí mismo, desde ya, esto conduce a un impasse. Toda actividad social deja trazas espaciales en forma de patrones recursivos, pero ¿cómo se puede relacionar esto con un contexto físico y espacial cuyos patrones esenciales fueron según toda la apariencia fundados mucho tiempo atrás, bajo la influencia de circunstancias sociales muy diferentes? Ante la reflexión, la tasa de cambio muy distinta de

las ciudades física y social parece *en sí misma* impedir cualquier cosa excepto una relación contingente entre ambas.

Pero la sintaxis espacial agregó a la panoplia de conceptos espaciales existentes uno nuevo que potencialmente reformula las preguntas de la investigación: la *configuración espacial*. La esperanza fue que aprendiendo a describir y analizar diferentes clases de configuración espacial o patrón en la ciudad (por ejemplo, las diferencias entre las nuevas viviendas y las áreas urbanas tradicionales, que parecían *prima facie* ser críticamente distintas) sería posible detectar cualquier influencia que pudiera haber de factores sociales en la construcción de esos patrones espaciales y también explorar cualquier consecuencia que pudiera haber en términos de la forma en que la vida social tuvo lugar o podría haberlo tenido. Aprendiendo a controlar la variable espacial a nivel de los complejos patrones de espacio que constituyen la ciudad, podríamos empezar a comprender tanto los antecedentes sociales como las consecuencias de la forma espacial, y detectar así los signos de lo social *a ambos lados* de la ciudad física (Hillier y Vaughan 2007).

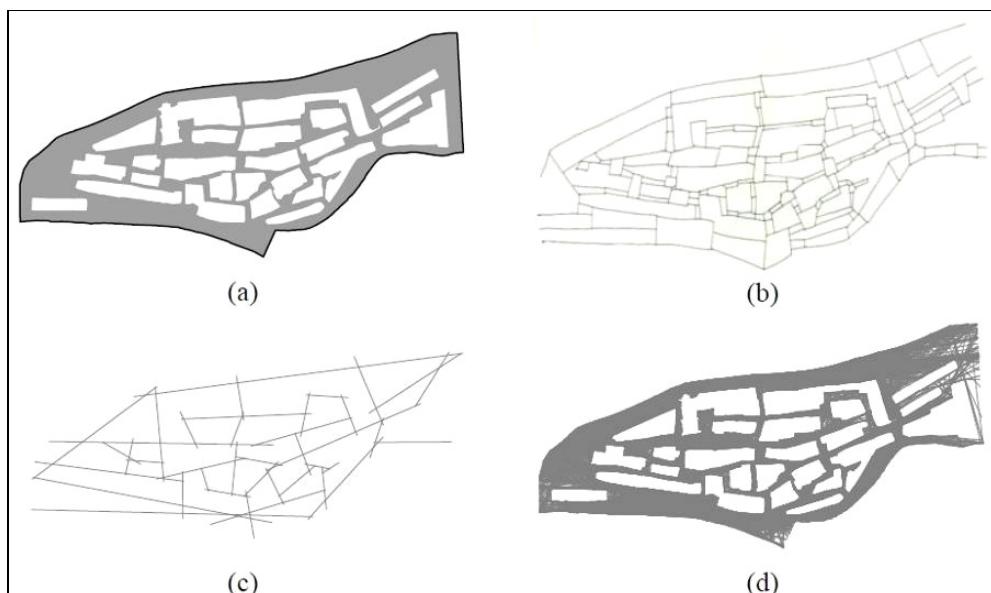


Figura 16.1 – Métodos de sintaxis espacial aplicados a la ciudad de Gassin.  
 (a) Espacio abierto [partes negras], espacio cerrado [blanco] y perímetro; (b) mapa convexo; (c) mapa axial;  
 (d) mapa de todas las líneas producidas por DepthMap (Basado en Jiang y Liu 2010: 3)

La principal técnica descriptiva que se aplicó al ambiente construido ha sido la descomposición de la grilla urbana en líneas axiales. El mapa axial es el conjunto mínimo de líneas rectas de la mayor longitud y de movimiento no obstruido que cruza e interconecta todos los espacios abiertos de un sistema urbano, un campus o un edificio (Hillier y Hanson 1984). La descomposición crea un grafo en el cual las aristas son las líneas axiales y los nodos intersecciones entre esas líneas. A partir de ese grafo se pueden crear medidas topológicas que sirven para cuantificar las características de la configuración especial de la grilla urbana; la mayor parte de las medidas se basan en distancias topológicas, es decir, en el número de pasos (aristas) que hay entre dos nodos. Como se verá luego con más detenimiento, este mapa ha probado ser útil para un amplio rango de aplicaciones, incluyendo el estudio de los patrones de movimiento, la distribución del crimen, los flujos de tráfico, las tácticas para encontrar trayectorias y los caminos pedestres (Peponis y otros

1989; Hillier y Hanson 1993; Hillier y otros 1993). Vale la pena descomponer estos conceptos en los pasos mínimos que comprende su despliegue.

El método requiere que el área abierta dentro de un asentamiento se divida en el menor número posible de espacios o polígonos convexos, es decir, en áreas tales que ninguna tangente que se trace en el perímetro pase a través de ellas (figura 16.1). Un polígono convexo es un espacio que puede construirse de tal manera que una línea dibujada desde una parte del polígono a cualquier otra no salga nunca fuera del polígono. Una persona que esté parada en un espacio convexo posee una visión clara y no obstruida del área completa. El arqueólogo James Potter (1998) sugiere que se utilicen paredes arquitectónicas como ayuda para construir el primer polígono. De los polígonos convexos se deriva el principio de la “entrada al polígono convexo”, el cual asegura que la totalidad (y no solamente algunos) de los espacios en el asentamiento están en un cierto sentido bajo el control de las entradas y, potencialmente, de la gente que puede ir y venir a través de ellas. Ésta es por lo tanto una propiedad genotípica socio-espacial de los asentamientos (Hillier 1989: 9). El conjunto de los polígonos convexos define, como podría preverse, el mapa convexo.

En el paso siguiente se debe trazar una serie de líneas axiales a través de los espacios convexos inscribiendo la línea recta más larga posible en el espacio abierto y continuando hasta que se hayan cruzado todos los espacios convexos. En un espacio axial una persona es capaz de ver, atravesar e interactuar con gente a lo largo de la ruta completa de la línea, aun cuando no pueda ver cada parte de cada polígono convexo a través del cual pasa la línea. Todas las líneas axiales deben conectarse sin atravesar rasgos arquitectónicos. Esta técnica produce grafos axiales cuyas propiedades espaciales se pueden cuantificar con relativa facilidad.

Mediante la relación entre convexidad y axialidad en el espacio se tienen dos clases de información acerca del mismo: información local completa sobre el espacio en el que uno se encuentra a través de la organización convexa; e información global parcial sobre los espacios a los que podríamos ir a través de la organización axial. En el espacio urbano se nos entrega en efecto información sobre dos escalas al mismo tiempo. Esta compresión de escalas es, según Hillier (1989: 10) algo que está muy cerca de ser la esencia de la experiencia espacial urbana.

Una vez que se tiene el mapa convexo se puede obtener lo que en la literatura temprana se llamaba el mapa-y: éste involucra la transformación del mapa convexo en un grafo (Hillier y Hanson 1984: 100-102). Este grafo es un diagrama en el que los espacios se representan mediante un vértice y las relaciones de contigüidad entre ellos mediante líneas que unen dichos vértices. Las relaciones de contigüidad atan a los espacios convexos que comparten una cara o una parte de ella, no solamente nodos. Es posible trazar un mapa parecido del sistema axial, pero por lo común éste es demasiado complicado como para comunicar información visualmente inteligible.

Una de las medidas axiales más expresivas (muy utilizada por los arqueólogos) es la de *integración*, la cual cuantifica la “profundidad” a la que un espacio axial se encuentra de

otro espacio en una planta o ciudad (Hillier y Hanson 1984: 108). Si se mira un mapa axial se puede ver que cada línea está vinculada con cada otra línea, ya sea directamente o a través de un cierto número mínimo de segmentos intermedios o pasos. Se puede llamar “profundidad” a esta propiedad. Una línea está a tanta profundidad de otra línea como el menor número de pasos que deben darse para pasar de una a la otra. La integración mide entonces cuántos pasos o espacios tiene que atravesar uno para moverse entre diferentes lugares de un edificio o asentamiento. Una vez obtenido este guarismo se comparan los valores de cada espacio con los de todos los demás. Esta medida se normaliza para que sea posible la comparación de sistemas axiales de diferentes tamaños. Altos valores de integración indican que el espacio axial está bien conectado a otros y que el movimiento entre ellos es fácil; valores bajos indican segregación espacial, pues los espacios axiales relativamente aislados constriñen el movimiento. La fórmula propuesta es la siguiente:

$$\text{Integración axial} = \text{Nº de líneas axiales} / \text{Nº de espacios convexos}$$

Una forma óptima para expresar las diferentes profundidades de los sitios es mediante un grafo justificado del sistema de líneas. Para trazar el grafo se toma una línea que parezca ser la línea más abarcadora del sitio. Ella será la “raíz” del grafo. Los puntos del grafo serán las líneas y las conexiones representarán sus intersecciones. Igual que en los viejos árboles genealógicos el grafo se traza con la raíz hacia abajo. Cada nivel de profundidad se alinea verticalmente, de modo que la altura del grafo mostrará cuán integrada está la línea: cuanto menos hondo más integrado y viceversa. Distintas líneas resultarán en diferentes profundidades de grafos. No es del todo obvio que esos valores difieran significativamente de una línea a la siguiente; pero que lo hagan resultará en una de las propiedades más distintivas de las configuraciones arquitectónicas y urbanas.

Una segunda forma de representar las características de un sitio es mediante el mapa axial que he mencionado más arriba. Éste se dibuja trazando la menor cantidad posible de líneas de acceso y visibilidad tan largas como se pueda, de modo tal que se cubran todos los espacios convexos del asentamiento. Del mapa axial se puede derivar el mapa del núcleo de integración del sitio, constituido por un porcentaje a definir (usualmente entre el 5% y el 25%) de las líneas más integradas del lugar. En la figura 16.2, por ejemplo, se muestran los mapas axiales de Gassin con el núcleo de 25% de integración en líneas gruesas y el 25% de las líneas más segregadas como secuencias de puntos, y el mapa de Apt con el 10% y el 50% respectivamente.<sup>79</sup> Aunque diversos en forma, topografía y tamaño, ambos núcleos toman la forma de lo que Hillier (1989: 10) llama una rueda deformada o semigrilla, en el que un *hub* de líneas en el interior está vinculado por líneas o *spokes* en diversas direcciones a las líneas del borde. Diversos en muchos respectos, ambos pueblos comparten la misma *estructura profunda* o *genotipo*.

---

<sup>79</sup> Se ha encontrado que el 10% del núcleo de integración revela la estructura integrada subyacente de asentamientos grandes (más de 100 espacios) mientras que el 25% es más adecuada como indicador para sitios pequeños (Hillier, Hanson y Peponis 1987: 227).

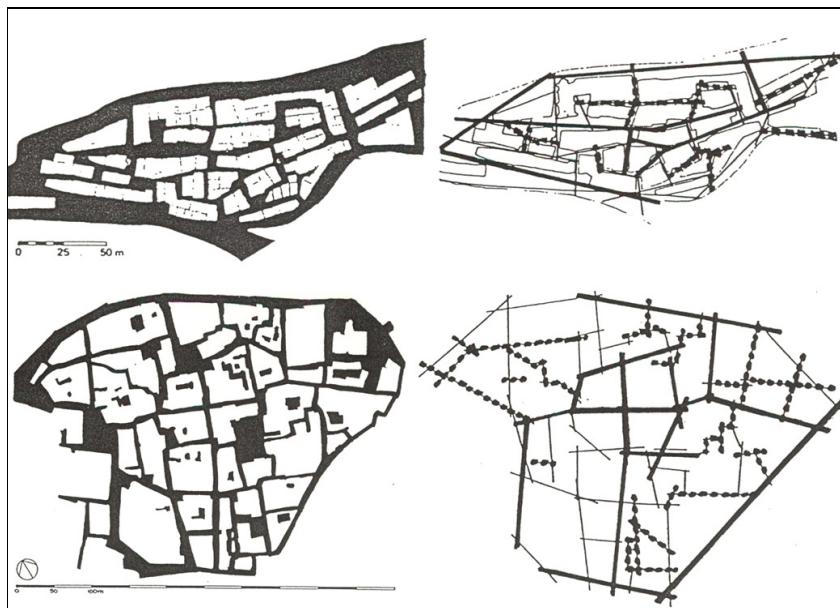


Figura 16.2 – Planos de planta y mapas axiales del señalamiento del núcleo de Gassin y Apt en el sur de Francia (basado en Hillier 1989: 9-11).

Años más tarde, y ya perfeccionadas las técnicas de análisis en torno de los grafos axiales, Hillier seguiría trabajando el concepto de estructura profunda, aunque con otra terminología. En *The theory of the city as object* (Hillier 2001, figs 13 a 16) él comprueba que cuatro ciudades muy diferentes en otros órdenes (Atlanta, La Haya, Manchester, Amedan) demuestran tener el mismo núcleo de integración: estos serían los patrones que las piezas de software en uso muestran como líneas rojas, naranjas y amarillas, colores que tiñen a los patrones que surgen del centro de las ciudades y que fluyen hacia los bordes en todas las direcciones, ya sea como líneas casi radiales o como líneas ortogonales extendidas, en algunos casos llegando a los bordes y en otros hasta cerca de ellos. En los intersticios de este patrón abarcativo se encuentran áreas más verdes y azules, a veces con una línea amarilla como foco local. En otras palabras, hay una similitud de estructura que se impone a las diferencias configuracionales y que se descubrió primero en asentamientos pequeños, ocurriendo en ellos a pesar de desigualdades en la topografía (Hillier 1989); dicho patrón fue apareciendo luego bajo la forma de áreas locales (el Soho londinense, Barnsbury) y también como configuración dominante en ciudades grandes: Atenas, Baltimore, Venecia, Tokyo y hasta Teotihuacan (Hillier 2001).

Otro valor importante es la *articulación convexa*, la cual mide la cantidad de espacio abierto que está disponible potencialmente para la interacción social. A grandes rasgos, se mide dividiendo el número de espacios convexas por el número de edificios. Cuanto más bajo el valor, mayor es la cantidad de espacio abierto que está disponible para la interacción supra-familiar:

$$\text{Articulación convexa} = \text{Nº de espacios convexas} / \text{Nº de bloques de habitación}$$

La *deformación convexa* de un asentamiento se calcula dividiendo el número de espacios convexas por el número de islas completamente rodeadas de espacio abierto. A su vez, la convexidad de la grilla del sistema se obtiene así:

$$G_{\text{convex}} = ([I]^{1/2} + 1)^2 / N^{\circ} \text{ de espacios convexos}$$

La *articulación axial* es la medida de la profundidad o hondura del espacio público de un sitio. Mientras más bajo el valor, menos profundo es el sitio. En otras palabras, el espacio público puede ser accesado mediante pocos tramos rectos a través del sitio. La fórmula es:

$$\text{Articulación axial} = N^{\circ} \text{ de líneas axiales} / N^{\circ} \text{ de bloques de habitación}$$

La fragmentación del espacio público se mide mediante dos fórmulas. Un sitio no fragmentado es un sitio en el cual la totalidad o la mayoría del espacio público se concentra en un solo lugar que puede contener un gran número de personas. Inversamente, un sitio fragmentado está quebrado y disperso en muchas áreas. La fragmentación y distribución del espacio público y la facilidad de movimiento se pueden medir en términos de anularidad [*ringiness*] tanto convexa como axial (Hillier y Hanson 1984: 102-104; Topçu y Kubat 2007). En ambos casos mientras menor es el valor, mayor es la fragmentación del espacio y el control de la interacción en el mismo. La *anularidad convexa* o *anularidad del sistema convexo* se calcula así:

$$\text{Anularidad convexa} = I / (2C - 5)$$

donde I es el número de islas y C el número de espacios convexos. La medida expresa el número de anillos en el sistema como una proporción entre el número máximo de anillos planares para ese número de espacios. Parecidamente, la *anularidad axial* se mide con esta fórmula:

$$\text{Anularidad axial} = I / (2A - 5)$$

donde I es el número de islas y A el número de líneas axiales. Dado que el mapa axial es no planar este valor puede ser más alto que el valor convexo. La fórmula original es algo distinta:

$$\text{Anularidad axial} = (2L - 5) / I$$

donde L es el número de líneas axiales. Este valor puede ser un poco más alto que el de la misma medida para el mapa convexo y puede ser algo mayor de 1, dado que el mapa axial es no planar; en la práctica, sin embargo, valores superiores a 1 son infrecuentes.

Una medida importante en la SE es la llamada elección global [*global choice*], una estimación global del flujo a través de un espacio. Ella expresa cuán a menudo, en promedio, se puede utilizar una ubicación determinada en viajes desde todos los lugares hacia todos los otros lugares de la ciudad, el campus o el edificio. En teoría de redes esta medida no es otra que la de *betweenness* (Wasserman y Faust 1994: 189-191, 201-202). Las ubicaciones que ocurren en muchos de los caminos más cortos (o sea, las que proporcionan una elección más fuerte) poseen una medida de *betweenness* más alta que las que no. La elección global se expresa como la relación  $\text{elec}(i) = \{\# \text{ caminos más cortos}(i)\} / \{\# \text{ todos los caminos más cortos}\}$ . En algún sentido, el *betweenness* mide la influencia que posee un nodo sobre la dispersión de la información a través de la red. El índice de centralidad de *betweenness* es esencial en el análisis de numerosas redes espaciales y sociales, pero también es de cálculo costoso. Habitualmente los programas especializados implementan pa-

ra su cálculo el algoritmo de Dijkstra o el de Floyd-Warshall (Cormen y otros 2001; Blanchard y Volchenkov 2009: 32).

Otra medición sintáctica que es muy popular en el ARS reciente es el coeficiente de *clustering*, el cual determina si un grafo constituye o no un mundo pequeño (Watts y Strogatz 1998). En SE este coeficiente parece dar una idea de la “unionicidad” [*junctionness*] de los espacios, expresando de qué manera cambia la información visual en el interior de los sistemas, dictando, quizás, la forma en que se percibe una trayectoria y los lugares donde el caminante encuentra los puntos de decisión. Técnicamente el coeficiente mide el grado de convexidad (o a la inversa, de multi-direccionalidad) de la isovista generada desde un lugar. Ese grado deriva de la relación entre las conexiones directas actuales de los nodos en la isovista y el máximo de conexiones posibles del mismo número de nodos. Según otra lectura, la cifra expresa cuánto se conserva o se pierde del campo visual a medida que el observador se aleja de un punto (Turner y otros 2001). Han habido protestas contra esta interpretación y sobre el carácter local o global de la medida (Llobera 2003);<sup>80</sup> sin embargo, algunos estudios de buena reputación proporcionan ejemplos convincentes del uso del coeficiente de *clustering* en la comprensión del uso de los espacios públicos (Doxa 2001; Turner 2004: 16).

Otra serie totalmente distinta de medidas de integración tiene que ver con el concepto de simetría de un ambiente construido, partiendo de la base de que ella refleja el grado de integración entre distintas esferas de la práctica. La simetría se puede cuantificar midiendo la profundidad de un espacio desde todos los demás espacios de un sistema. Los valores de *asimetría relativa real* (ARR) comparan la profundidad real con la que el entorno construido podría llegar a tener teóricamente dado el número total de espacios. Bajos valores de ARR (menos que 1,0) indican un ambiente relativamente integrador.

Para calcular ARR hay que definir primero la profundidad promedio para un sistema a partir de un punto dado, asignando valores de profundidad a todos los demás espacios del sistema dependiendo del número de pasos que lo separan del punto original. Por ende, todos los espacios adyacentes al punto tendrán una profundidad de 1, luego 2, etc. La profundidad promedio de ese punto se puede calcular sumando los valores promedios y dividiendo por el número de espacios en el sistema ( $k$ ) menos 1 (el espacio original). La fórmula sería:

$$MD_i = \frac{\sum_{j=1}^n D_{ij}}{n-1}$$

Una vez calculada la profundidad media, el valor de la asimetría relativa (AR) o valor de integración para un espacio se obtiene usando la fórmula:

$$AR = \frac{2(MD - 1)}{k} - 2$$

---

<sup>80</sup> Véase también más adelante, página 257.

Los valores de AR se encuentran entre 0 y 1, con 0 indicando máxima integración (Hillier, Hanson y Peponis 1987: 227). Para que esos valores sean comparables entre distintos sitios, edificios o yacimientos de distinto tamaño se debe multiplicar por una constante para producir la ARR.

La medida de distribución (o control) cuantifica el número de vecinos para cada espacio relativo al número de vecinos de cada espacio adyacente. Cada espacio da  $1/n$  a sus vecinos, donde  $n$  es el número de espacios adyacentes. Los valores recibidos por cada espacio desde sus vecinos se suman entonces, y el resultado equivale al valor de control (VC) para ese espacio. Los espacios con valores de control mayores que 1,0 indican un espacio no distribuido en el cual el control es potencialmente alto. Las fórmulas correspondientes al VC y a otras funciones significativas se detallan más adelante (véase pág. 270). Una característica importante del VC es que si un espacio posee un amplio campo visual con un montón de otros puntos a sumar, inicialmente puede parecer que dicho espacio es un buen punto controlador. No obstante, si los lugares que pueden verse desde este espacio poseen también grandes campos visuales, esos lugares contribuirán muy poco a su VC. Por lo tanto, para ser verdaderamente controlador un punto debe ver un gran número de otros espacios, pero desde éstos deberían verse relativamente pocos espacios más. El ejemplo perfecto de una ubicación controladora es el punto central del Panopticon de Jeremy Bentham [1748-1832], proyecto canónico de vigilancia máxima nunca construido efectivamente pero que inspirara, entre otros edificios, la prisión de Carabanchel en Madrid, el Palacio Lecumberri en México, la cárcel de Caseros en Buenos Aires y la prisión de Bogotá donde hoy se aloja el Museo Nacional de Colombia (ver más adelante, pág. 275).

La medida de *entropía*, basada en la teoría de la información de Claude Shannon, fue descripta por primera vez por Turner (2001). Aunque algunos autores han prodigado simbolismos respecto de la teoría, la concepción informacional de la SE desentraña aspectos de importancia de la topología reticular en general, dada la proximidad conceptual entre la teoría y las cuestiones fundamentales de orden, desorden, organización, diversidad y complejidad (Escolano Utrilla 2003; Reynoso 2006a: 34-41). En un primer sentido, la entropía es una medida global de la distribución de lugares en términos de su profundidad visual a partir de un nodo más que en base a su profundidad misma. De este modo, si muchos espacios se encuentran visualmente próximos a un nodo, se dice que la profundidad visual de ese nodo es asimétrica y su entropía baja. Si la profundidad visual se distribuye de manera más pareja, la entropía es mayor. La *entropía relativizada*, por su parte, toma en cuenta la distribución esperada a partir de un nodo. Esto implica que en la mayoría de los casos uno esperaría que el número de nodos que se encuentran a medida que uno se mueve a través de un grafo se incremente hasta alcanzar la profundidad media y que decline a partir de allí. Ambas medidas de entropía han sido señaladas como problemáticas, dado que cifras parecidas aparecen en espacios de funcionalidad muy diferente.

Otros autores han considerado relaciones de participación en la entropía, tomando en cuenta medidas de conectividad local y centralidad global. Se ha descubierto que mientras la entropía de conectividad tiende a aumentar proporcionalmente al tamaño de la ciudad, la entropía de centralidad decrece, dado que una gran ciudad a menudo tiene “vías an-

chas” [broadways] que son itinerarios de centralidad prominente y que conectan diversos sectores urbanos. Las correlaciones entre las relaciones de participación en la entropía, por otro lado, han demostrado ser útiles para evaluar las medidas de inteligibilidad de las ciudades y para comparar redes urbanas geométrica y topológicamente muy distintas (Volchenkov y Blanchard 2008).

El despliegue de estos cálculos y descriptores puede apreciarse examinando el conjunto a la izquierda de la figura 16.3. En la primera columna se encuentran los elementos físicos de la construcción y en la segunda los correspondientes elementos espaciales. La estructura básica y la división en celdas de los tres edificios es básicamente la misma; los patrones de adyacencia de las habitaciones y el número de aberturas internas y externas son idénticos. Lo único que difiere es la ubicación de las entradas. Pero esto alcanza para definir formas totalmente distintas del uso del espacio: el patrón de permeabilidad generado por la disposición de las entradas es entonces la variable crítica. El primer patrón es una secuencia larga y única con una bifurcación al final; el segundo, una estructura simétrica y ramificada alineada a lo largo de una trayectoria fuertemente central y el tercero una configuración distribuida. La adecuación descriptiva de las técnicas es evidente. Cuando se trate de establecer contrastes o de encontrar semejanzas entre diseñadores, estilos, épocas o culturas, se dispone ahora no sólo de las figuras que se dan ante los ojos, sino de una notación, una descripción estructural e infinitas posibilidades de cálculo y gestión.

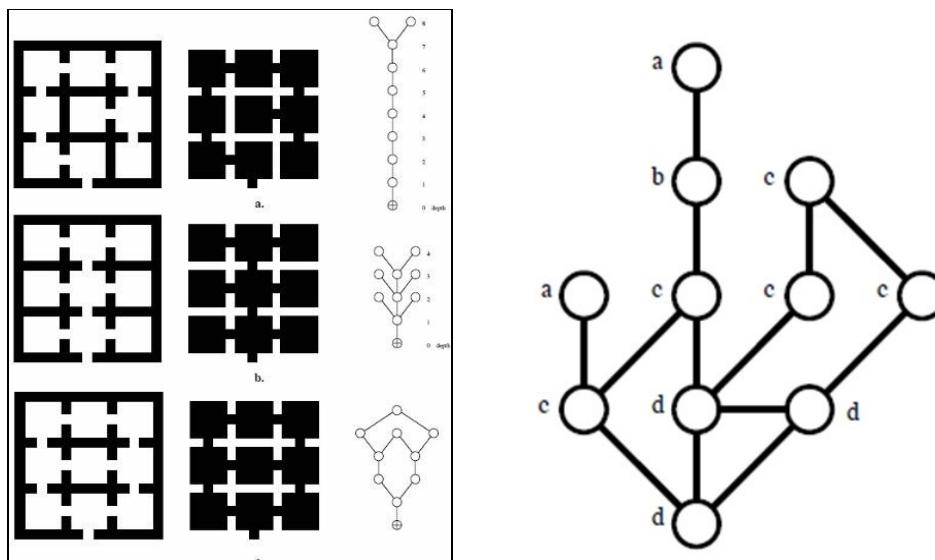


Figura 16.3 – Elementos de análisis arquitectónico.

- a) Simetría y distribución de espacios.
- b) Tipología de los espacios (según Hillier 2007a, figs. 8.16 y 1.2).

Derivado de este principio se obtiene también una tipología que permite identificar espacios como motivos de los grafos. De este modo, se reconocen espacios de tipo *a*, *b*, *c* y *d* (figura 16.3, derecha). Los espacios llamados (*a*) poseen un solo vínculo; son como callejones sin salida. Los (*b*) son aquellos que se conectan a esos callejones. Los (*c*), a su vez, son los que pertenecen a un anillo. Los (*d*), por último, son espacios con más de dos vínculos y que forman conjuntos complejos que no tienen ni (*a*) ni (*b*) pero que poseen

por lo menos un elemento en común. Aun cuando la clasificación parecería girar en torno a criterios poco homogéneos (como en la clasificación de los animales en la enciclopedia china mentada por Borges, o en la tipología de los signos de Charles Sanders Peirce), su construcción lógica resulta ser perfecta. Se sabe también que los espacios (*a*) y (*d*) crean integración, mientras que los (*b*) y (*c*) generan segregación.

En la figura 16.4, el grafo proporciona una visión excelente de la forma en que se articularon los espacios de Zacuala en Teotihuacan de acuerdo con Matthew Robb (2007), del Departamento de Historia del Arte de la Universidad de Yale. En primer lugar, se aprecia que median doce pasos entre el nodo de entrada [*carrier*] y el nodo más profundo. Cuando se lo justifica, el grafo muestra una estructura de árbol excepcionalmente clara, imperceptible desde la inspección visual de la planta. El árbol muestra una larga serie de pasos antes de alcanzar el patio principal (#27). El valor de integración para todo el compuesto es 1,49. El nodo más integrado es por cierto el patio (0,723) y los más segregados son el #1 (2,137) y el *carrier* (2,198)

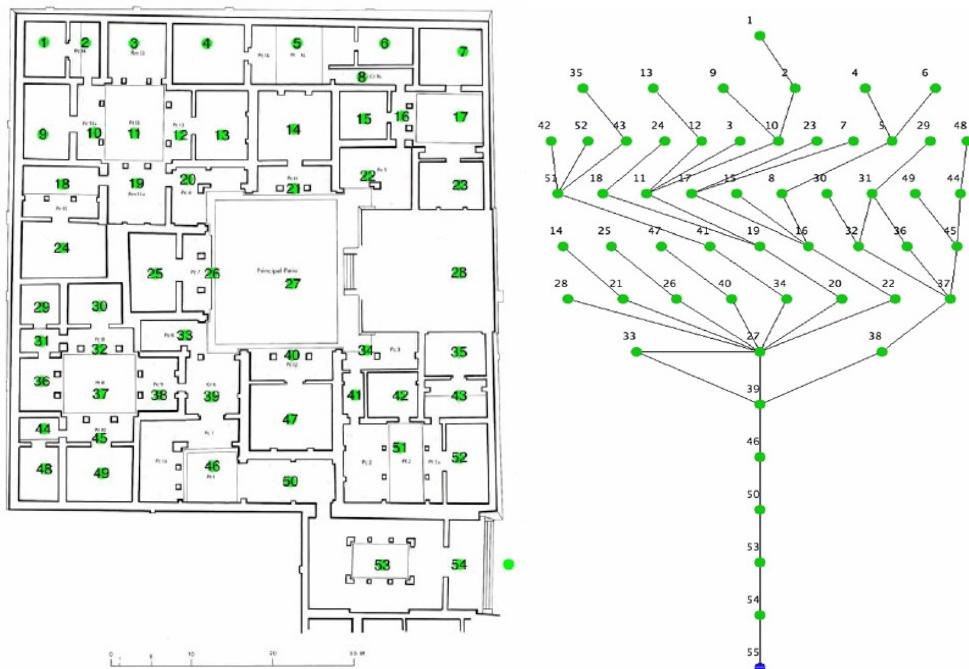


Figura 16.4 – Plano y grafo espacial desde el nodo #55 de Zacuala, Teotihuacan (Robb 2007: 062.5-062.6)  
Grafo generado utilizando JASS.

En la disciplina de origen han habido algunas críticas al concepto de SE. El cuestionamiento más fogoso y calificado procede del investigador del MIT Carlo Ratti (2004a; 2004b). Ratti cuestiona el carácter más iconográfico, topológico y geométrico que métrico de su metodología, lo cual quizá sea su aspecto más innovador y lo que lo distingue de la avalancha de cantidades sin consecuencias que todavía forma parte del arsenal estadístico de los sistemas geográficos de información previos al advenimiento de las teorías y algoritmos de la complejidad. También objeta el tratamiento de una calle curvada como si fueran varias calles y la imposibilidad de generar las líneas axiales unívocamente, obje-

ciones que fueron superadas por piezas de software que hoy son de dominio público como MindWalk y AxialGen (Hillier 2004; Figueiredo y Amorim 2007; Jiang y Liu 2009; 2010).

En rigor, la teoría urbana subyacente al modelo sintáctico establecía que en las ciudades hay una llamativa dualidad matemática: el espacio urbano es localmente métrico pero globalmente topo-métrico. La evidencia a favor de la metricidad local viene de fenómenos genéricos tales como la intensificación de la grilla para reducir los traslados promedio en los centros, la caída del alejamiento respecto de los atractores proporcionalmente a la distancia métrica y la caída observable de la actividad de *shopping* conforme aumenta la distancia entre los comercios y las intersecciones. La evidencia de la topo-geometría global viene del hecho de que tenemos que usar geometría y topología para llegar a medidas configuracionales que aproximen de manera óptima los patrones de movimiento en una red urbana. Puede pensarse (afirman Hillier y otros 2007) que en lo que concierne a la toma de decisiones debe existir algún umbral por encima del cual prevalece una representación geométrica y topológica de la grilla urbana más que el sentido cuantitativo de la distancia corporal.

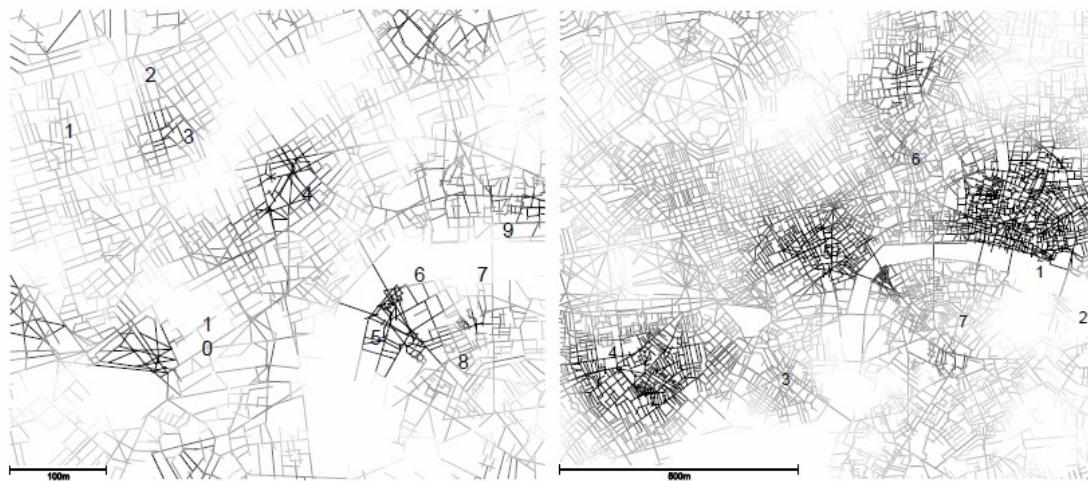


Figura 16.5 – *Patchwork* de Londres a radios de 500 y 2000 metros.  
Basado en Hillier y otros (2007: fig §13)

Por añadidura, nuevos estudios han demostrado que en ciertos fenómenos ambas clases de medidas convergen y divergen, dando lugar a una nueva pauta urbana. Esta se hace evidente en la partición de la red subyacente a un espacio urbano en otra red de *patches* semi-discretos a través de la aplicación de distancias métricas universales a diferentes radios métricos, sugiriendo una especie de arealización de la ciudad a todas las escalas. De allí se deriva la comprobación de que las distancias métricas universales capturan exactamente las propiedades formales y funcionales del *patchwork* local (y sobre todo la diferenciación local de áreas) mientras que las medidas topogeométricas identifican las estructuras locales que vinculan el *patchwork* urbano en una totalidad a diferentes escalas (figura 16.5; Hillier, Turner, Yang y Park 2007). Esta dualidad en las cualidades del espacio según la escala vuelve a traer a colación la necesidad (que he documentado más arri-

ba, pág. 216 *et passim*) de articular de maneras más elaboradas la distinción entre lo local y lo global en antropología y ciencias sociales, coordinando las propiedades formales del espacio con el conocimiento específico de dominio y la práctica etnográfica.

Un nuevo hallazgo, igualmente importante, ataña a la distribución que se ha encontrado entre las líneas largas y las cortas en la virtual totalidad de los mapas axiales. Hillier (2001) y luego Carvalho y Penn (2004) encontraron que esa distribución “parece ir a través de todas las culturas y de todas las escalas de asentamiento” (Hillier 2001: 02.6). En todo mapa axial, en efecto, hay un número grande de líneas pequeñas y muy pocas líneas largas. Aunque ha habido una inmensa variedad de patrones urbanos a lo largo de la historia y un repertorio de patrones excepcionalmente variado (cf. Marshall 2005), Hillier señala que también se manifiestan poderosas invariantes; el problema –dice– es comprender cómo surgen tanto las variaciones culturales como la invariancia a partir de los procesos espaciales y culturales que generan las ciudades. Detrás de todo esto tiene que haber un conjunto de principios sintácticos que vinculan factores de necesidad y libertad, de patrón global y de textura local, principios que son al mismo tiempo un marco de referencia que constriñe y un sistema de posibilidades a explotar. Después de analizar un impresionante rango de posibilidades, patrones geométricos y resultantes de procesos de crecimiento, Hillier registra una extraordinaria constancia en la distribución de la longitud de las líneas axiales.

Si dividimos el rango de las líneas por diez –propone– encontramos que en Atlanta 92,7% de las líneas están en el decil de las líneas cortas y sólo 2% en los ocho deciles de las largas; en La Haya las cifras son 84,8% y 5%, en Manchester 85,9% y menos de 3%; en Hamadan, un poblado iraní mucho más pequeño, 90% está en los cuatro deciles de las más cortas y sólo 2% en los cinco de las más largas; en el otro extremo Londres (15.919 líneas axiales) 93,3% está en el decil de las más cortas y apenas 1% en los ocho deciles de las largas; en Santiago de Chile (29.808 líneas), de la cual pensamos que es más bien una ciudad con trazado de grilla, la cifra es de 94,7% y 1% respectivamente; en Chicago (30.469 líneas), cuyo patrón callejero es todavía más ortogonal, 97% y 0,6%. Incluso en una planta tan distinta como la de Teotihuacán, las líneas más cortas suman el 85% del total. En asentamientos más pequeños la tendencia es la misma, aunque algo menos marcada (Hillier 2001: 02.6). A medida que los asentamientos crecen, la proporción de las líneas largas en relación con la longitud media del lugar deviene más pequeña pero las líneas mismas se hacen más largas. Esto también parece ser un invariante a través de todas las culturas a despecho de las obvias diferencias en otros aspectos de la geometría urbana (p. 02.7).

Más recientemente, Bin Jiang (2007),<sup>81</sup> operando con bases de datos gigantescas, ha encontrado que este principio también se aplica a la comunicación que brindan las calles,

---

<sup>81</sup> Véase <http://fromto.hig.se/~bjg/Publications.htm>. Visitado en abril de 2010. Con los años Jiang ha ido inclinándose hacia las redes complejas en estado puro y sus modelos topológicos antes que hacia la SE. El punto de inflexión ha sido quizás la presentación para la conferencia AGILE de GIS en Helsinki (Jiang y Claramunt 2000). De todas maneras, Jiang volvió a apostar a las metodologías axiales programando AxialGen, un problema que resuelve un problema de la SE que él había traído a colación (Jiang y Liu 2009; 2010).

que resulta ser un neto 80/20 paretiano: un 80% de las calles está menos conectado, mientras un 20% lo está por encima del promedio; más tarde el mismo autor (Jiang 2009), cuya productividad en este campo es asombrosa, ha encontrado que este principio también da cuenta de una distribución 80/20 en los flujos de tráfico de una ciudad.

La misma distribución se encuentra en los mapas de continuidad (Figueiredo y Amorim 2007) y una vez más en la distribución de grados del grafo, cualquiera sea la técnica con que se lo genera. Su caída, como no podría ser de otra manera, sigue una ley de potencia con un exponente  $a$ , tal que  $P(X \geq x) \sim x^{-(a-1)}$  y  $P(X=x) \sim x^{-a}$ . Esta misma característica se presenta en todos los fractales y cierra el círculo del nexo primordial entre la SE y las teorías de la complejidad (Gastner y Newman 2004).

El último tópico relacionado con el análisis reticular de la espacialidad tiene que ver con el dominio de la cognición, el cual se está incorporando en las últimas corrientes de estudio en el campo sintáctico. Aquí viene a cuento la necesidad de una mayor participación de la antropología; si bien esta disciplina ha realizado aportes importantes al estudio de los mapas cognitivos, son muy pocos los que tienen que ver con contextos urbanos. Aque-lllos que me vienen a la mente son particularmente antiguos y sesgados.

Un artículo muy citado hace décadas y hoy prácticamente olvidado es el legendario “Driving to work” escrito por Anthony F. C. Wallace (1965) bajo el influjo de la inteligencia artificial del programa fuerte (GOFAI)<sup>82</sup> y atestado de *frames*, *scripts*, *schemata*, formalismos de MGP y otras criaturas de la época que hoy sería engorroso describir y ocioso resucitar (Reynoso 1998: 42-88). El programa encarnaba radicalmente el concepto de la mente entendida como mecanismo de procesamiento de información. Wallace describía el simple manejo del automóvil desde casa hasta el trabajo como una actividad guiada por planes o reglas de diferentes tipos, algunos representativos de un conocimiento muy general, otros derivados del contexto cultural y los restantes de la experiencia de la persona.

El “mapa cognitivo” del conductor, afirmaba Wallace, posee muchos niveles. Representa (por ejemplo) rutas y *landmarks* en un sentido semejante al del concepto de Kevin Lynch. Codifica señales de tráfico, semáforos y lugares (escuelas, centros comerciales); integra factores de visibilidad, estado del tiempo, nivel de tráfico, mecanismos de control del vehículo, acciones corporales requeridas y la sensación del conductor al manejar. “El modelo más simple sobre la operación de este proceso –decía Wallace– involucra considerar al conductor como una máquina cibernetica” (1965: 287). Wallace registraba la necesidad de monitorear el sujeto, el carro y el movimiento y de integrar el *feedback*, incluyendo ambos conceptos en una unidad TOTE.<sup>83</sup> El modelo consistía al fin de nueve reglas para el “Procedimiento Operativo Estándar”, siete dimensiones fuera-del-vehículo (con 216 combinaciones resultantes) y cinco controles del automóvil (con 48 combinaciones de accio-

<sup>82</sup> Good Old-Fashioned Artificial Intelligence. El acrónimo fue acuñado por John Haugeland (1985).

<sup>83</sup> Test, Operate, Test, Exit: es una estrategia iterativa de resolución de problemas propuesta por George Miller, Eugene Galanter y Karl Pribram en su *Plans and the structure of behavior* de 1960, un clásico de la psicología cognitiva. De variada aceptación en la ciencia cognitiva actual, el modelo TOTE sigue siendo la estrategia fundamental de la programación neurolingüística.

nes para la “respuesta unitaria”), todo ello en una jerarquía TOTE con “puntos de decisión” en inflexiones específicas. Wallace creía que el análisis en términos de Plan de Acción, Reglas de Acción, Operaciones de Control, Información Monitoreada y Organización podrían explicar otras actividades humanas de uso de herramientas, desde la caza hasta la guerra (p. 291). Hoy es evidente que esta perspectiva no prosperó gran cosa por árida, tal vez, más que por inútil.

Si algo estaba fallando en el sistema de Wallace eso era, claramente, que el ambiente en el que la acción tenía lugar no había sido tomado en cuenta; el mismo reproche le ha cabido a la influyente arquitectura cognitiva de Kevin Lynch (1960), a la que se ha imputado no considerar las características relacionales entre los elementos del entorno y no suministrar elementos de cuantificación (O’Neill 1991; Golledge y Stimson 1997). Hoy la situación se encuentra en vías de mejorar en todas las disciplinas involucradas. Es evidente asimismo que se está gestando una inquietud cada vez más sistemática hacia los factores cognitivos en gran parte del movimiento de la SE. Los signos son todavía esporádicos pero contundentes y hay literalmente docenas de trabajos de excelencia presentados en simposios multiculturales que superan largamente todo cuanto la antropología cognitiva clásica, la arqueología del paisaje, la menguante psicología ambiental, la geografía conductual o la siempre incipiente arquitectura cognitiva tuvieron alguna vez para ofrecer (Haq 2001; Penn 2003; Haq y Girotto 2004; Kim y Penn 2004; Hölscher, Dalton y Turner 2006; Long y Baran 2006; Brösamle y Hölscher 2007; Hillier 2007a; 2007b; Long, Baran y Moore 2007; Montello 2007; Tunzer 2007; Yun y Kim 2007; sobre psicología ambiental cf. Reynoso 1993: 186-192). Más adelante volveré sobre la cuestión.

## **16.2 – La ciudad como grafo y como red: Algoritmos y estudios de casos**

Aunque a primera vista Tell-El-Amarna y São Paulo puedan parecer incomparables, los grafos y las redes que se presentan en los asentamientos arqueológicos mayores y en las ciudades comparten características de distribución de ley de potencia, vinculadas a su vez con el fenómeno de los pequeños mundos o la independencia de escala y con factores de caminabilidad, eficiencia, costo, poder, seguridad, habitabilidad o saliencia cognitiva. La mayor parte de los especialistas en SE está trabajando ahora en estos términos, al lado de otros estudiosos que emplean conceptos emanados tanto de las teorías de la complejidad como del análisis de redes complejas (Rosvall y otros 2005; Porta y otros 2006; Barthélémy y Flammini 2008).

Particularmente destacable en este registro es el reciente trabajo comparativo de un equipo de especialistas de la Universidad de Nuevo México en Albuquerque (Kalapala y otros 2006). El punto de partida de su análisis fue el hecho de que en las redes de la vida real (la Web, las citas bibliográficas, las relaciones sociales, las interacciones de genes y proteínas) exhiben una distribución de grado en la cual la fracción de vértices con grado  $k$  posee la forma de una ley de potencia tal que  $P(k) \sim k^{-\alpha}$  donde  $2 > \alpha > 3$ . Tras esa comprobación, los autores examinaron la estructura topológica y geográfica de las rutas nacionales en los Estados Unidos, Inglaterra y Dinamarca; transformando las redes viales en sus representaciones duales (donde las rutas son vértices y las aristas conectan dos vértices si

las correspondientes rutas se intersectan alguna vez),<sup>84</sup> demostraron que las representaciones exhiben invariancia de escala tanto topológica como geométrica. En otras palabras, comprobaron que para áreas geográficas suficientemente grandes la distribución de grado dual sigue una ley de potencia con cola pesada y exponente  $2,2 \leq \alpha \leq 2,4$ , y que por ello los viajes, independientemente de su longitud, poseen una estructura fundamentalmente idéntica. Por estructura se entiende aquí el número de tramos y sus respectivas longitudes; antes de terminar de leer el artículo se puede anticipar que esa distribución será del tipo Pareto-Zipf-vuelos de Lévy (aunque los autores no utilizan esa terminología): muy pocos tramos largos comprenden la mayor parte del recorrido; los tramos más extensos no demandan un tiempo de viaje proporcionalmente mayor porque poseen más capacidad y admiten límites de velocidad más altos. Para explicar estas propiedades, los autores elaboraron un modelo fractal de ubicación de rutas que reproduce la estructura observada, lo cual sugiere una conexión comprobable entre el exponente de escala  $\alpha$  y las dimensiones fractales que gobiernan la ubicación de rutas e intersecciones. El modelo fractal que mejor idea brinda de esta geometría es, incidentalmente, similar a la de los cuadrados de Sierpiński. De más está decir que comprender esta clase de distribuciones puede ser de ayuda en el diseño de alternativas de trazado de rutas a nivel regional.

En una tesitura parecida, los estudiosos y planificadores están aplicando nociones de redes sociales al diseño y análisis de trayectorias y otros factores que afectan la vida humana en las ciudades. Una de las nociones con más potencial de uso en este campo es el concepto de centralidad, que se viene usando en redes sociales desde al menos la década de 1940 (Wasserman y Faust 1994: 169-180, 182-202). En geografía económica y en planeamiento regional el concepto se ha afincado desde los 60s, y ya se acepta la idea de que ciertos lugares (ciudades, asentamientos) son más importantes que otros porque son más “accesibles”. La accesibilidad se entiende aquí como una medida de centralidad de la misma clase que la que se desarrolló en la sociología estructural o en los estudios antropológicos de la Escuela de Manchester. En diseño urbano se ha intentado comprender qué calles y rutas constituyen la “columna vertebral” de una ciudad, entendiendo por ello las cadenas de espacios urbanos que son más importantes en materia de conectividad, dinamismo y seguridad a escala regional, así como de inteligibilidad (o legibilidad) en términos de la facilidad con que se encuentran caminos [*wayfinding*]; recientemente, ambos esfuerzos han experimentado convergencia dando lugar a una nueva teoría cognitiva-configuracional sobre la que volveré a tratar luego (Hillier y Hanson 1984; Hillier 1986; Penn 2003).

---

<sup>84</sup> Esto no debe confundirse con el dual de un grafo planar en el que las caras devienen vértices. Esta representación se utilizó muchas veces para indagar la distribución topológica de las redes de calles urbanas (Jiang y Claramunt 2004; Rosvall y otros 2005; Porta, Crucitti y Latora 2006b). La representación de las calles que primero viene a la mente, y en la cual cada segmento termina en una intersección (representación primal), proporciona muchas oportunidades de encontrar distribuciones de grado de cola pesada; esto es más bien trivial, ya que casi todos los vértices poseen grado 4, el grado promedio de un grafo planar es a lo sumo 6 y el número máximo de aristas es  $3n - 6$ . Pero esta representación viola la percepción usual de que una intersección es donde se cruzan dos calles y no donde comienzan cuatro. Tampoco expresa adecuadamente la forma en que se suelen articular las instrucciones para llegar a un lugar (“siga por esta calle 2 kilómetros [ignorando las calles transversales] hasta llegar a la calle X”).

Expresivo de esta línea de indagaciones no necesariamente ligada a la SE pero sí fuertemente reticular es el estudio de Salvatore Scellato y otros (2005). En el mismo se consideró una superficie igual de las ciudades de Bologna y San Francisco como representativas de plantas urbanas orgánicas auto-organizadas y planificadas respectivamente. Para esas superficies se obtuvieron grafos denotados  $G \equiv G(N, K)$ , donde  $N$  y  $K$  son respectivamente el número de nodos y de aristas en cada grafo. En el caso de Bologna se tiene  $N=541$  y  $K=773$ , mientras que en San Francisco los valores son  $N=169$  y  $K=271$ . El grado promedio  $\langle k \rangle = 2K/N$  es respectivamente 2,71 y 3,21; la diferencia se debe a la sobreabundancia de intersecciones de tres calles en Bologna en relación con el cruce de cuatro, lo cual es al revés en San Francisco debido a su estructura en damero. Otra diferencia relevante es capturada por la distribución de longitudes de aristas. En la figura 16.6 (izquierda, arriba) se mapeó  $n(l)$ , vale decir el número de aristas de longitud  $l$  como función de  $l$ . Puede apreciarse que la distribución de longitudes tiene un solo pico en Bologna mientras que hay más de uno en San Francisco, una vez más debido a su geometría ortogonal. El gráfico siguiente muestra los valores de los árboles abarcadores [*spanning trees*, en adelante ST] basados en la centralidad de las aristas. Para construir esos árboles se localizan primero las aristas de alta centralidad, que son las calles que están hechas estructuralmente para ser cruzadas (centralidad de *betweenness*) o las calles cuya desactivación afectaría las propiedades globales del sistema (centralidad de información).<sup>85</sup> La centralidad de *betweenness* de arista ( $C^B$ ) se basa en la premisa de que una arista es central si aparece incluida en muchos de los caminos más cortos que conectan pares de nodos. La  $C^B$  de las aristas  $\alpha=1, \dots, K$  se define como:

$$C_{\alpha}^B = \frac{1}{(N-1)(N-2)} \sum_{j,k=1,\dots,N; j \neq k \neq i} \frac{n_{jk}(\alpha)}{n_{jk}}$$

donde  $n_{jk}$  es el número de caminos más cortos entre los nodos  $j$  y  $k$ , mientras que  $n_{jk}(\alpha)$  es el número de caminos más cortos entre  $j$  y  $k$  que contienen la arista  $\alpha$ . Los demás valores se computan en la forma usual. Lo importante es que las distribuciones acumulativas no muestran grandes discrepancias a pesar de que las diferencias entre ambos patrones urbanos es significativa. Esto es un indicador del hecho de que las ciudades orgánicas auto-organizadas son diferentes de las ciudades planificadas más en términos de sus nodos (intersecciones) que de sus aristas (calles), y especialmente en función de la forma en que la gente asigna importancia a tales espacios.

Teniendo esto en cuenta, los valores del gráfico de la derecha se refieren a entidades tales como los STs de longitud mínima (mLST) o los STs de centralidad máxima (MCST). Los procedimientos para obtener estos árboles son un tanto engorrosos para reproducirlos aquí. Lo que importa, a fin de cuentas, es que los MCST en particular son de interés para los planificadores urbanos porque los árboles expresan la cadena ininterrumpida de espa-

---

<sup>85</sup> Un árbol es un grafo conectado que no contiene ciclos; en un árbol hay por ende una arista entre cualquier par de vértices (Aldous y Wilson 2000: 138-162). Un árbol abarcador en un grafo es un subgrafo del mismo que incluye todos los vértices y es también un grafo. Más adelante desarrollaré un puñado de ideas concernientes a esta estructura de grafos y a los algoritmos que les corresponden.

cios que sirve a todo el sistema mientras que maximiza la centralidad sobre todos los vértices involucrados. Este método identifica la columna vertebral de una ciudad como la sub-red de espacios que es probable que ofrezca el más alto potencial para la vida de la comunidad urbana en lo que toca a popularidad, seguridad y ubicación de servicios, todos ellos factores relacionados con los lugares centrales. De la comparación de ambos casos se infiere que los patrones orgánicos están más orientados a poner las cosas y las personas en contacto en el espacio público que a acortar los viajes desde y hacia cualquier destino en el sistema, lo cual es más prioritario en las ciudades planificadas.

Los trabajos de Scellato y otros (2005) demuestran el uso creciente de la algorítmica de grafos en general y de los STs en particular en el estudio de las cosas humanas. Es en función de demandas como éstas que provincias enteras de la teoría de grafos han experimentado un fuerte crecimiento en los últimos años. En ciencias de la computación, por ejemplo, se han diseñado algoritmos de aproximación sobre árboles que hoy están disponibles para todas las disciplinas. Al lado de muchas aplicaciones de diseño de redes, por otra parte, se han establecido nuevos campos de investigación en áreas específicas, tales como el estudio de las secuencias biológicas de alineamiento o la construcción de árboles evolucionarios. Ello se debe a que los ST, al contener todos los vértices de  $G$ , permiten encontrar fomas eficientes de conectar todos los elementos, sean ellos computadoras, ciudades, sucursales o personas. Infinidad de problemas duros (como el TSP, el VRP y muchos más) se pueden resolver aproximadamente en función de algoritmos de STs, como los de Kruskal, Prim, Dijkstra, Bellman-Ford, Zelikovsky-Steiner, Boruvka y otros.

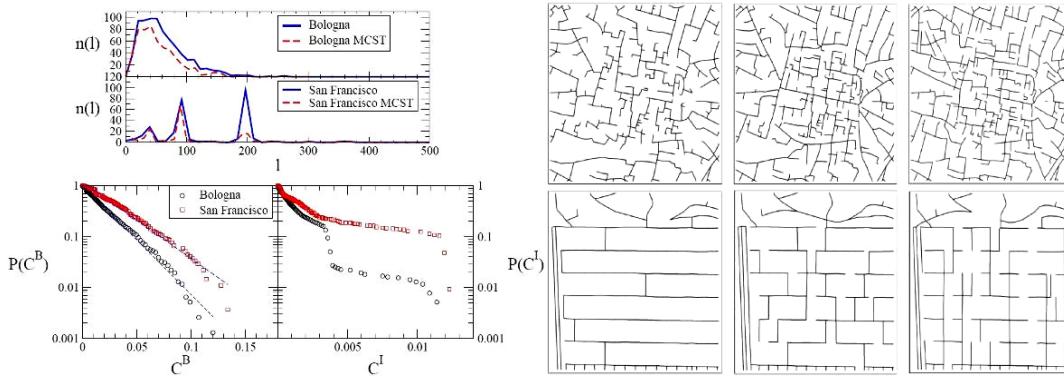


Figura 16.6 – Izquierda, arriba: Distribuciones de longitud de las calles (línea azul) vs distribuciones de longitud de los MCSTs basados en *betweenness* (línea roja). Abajo: distribuciones acumulativas de *betweenness* de arista y de información. Derecha: árboles abarcadores de Bologna (arriba) y San Francisco (abajo) para mLSTs, MCST basado en *betweenness* y MCST basado en información – Según Scellato y otros (2005)

Los STs se conocen desde hace un tiempo; ya en 1886, Arthur Cayley [1821-1895] (el primer matemático que definió a los grupos como un conjunto engendrado por una operación binaria y que creó el portentoso grafo fractal epónimo) había desarrollado una fórmula bien conocida,  $n^{n-2}$  para el número de STs en un grafo completo  $K_n$  (Cayley 1889; Wu y Chao 2004: §2.1). Esta fórmula en apariencia inocente (al lado de otros innúmeros elementos de juicio que he desarrollado en otra parte) demuestra la impropiedad de la antítesis que Deleuze y Guattari (2000) establecen entre árboles y redes rizomáticas: pri-

mero que nada, un árbol es también una red; y en segundo lugar, toda red acíclica contiene un número formidable de árboles abarcadores, exactamente  $n^{n-2}$ . La impresión “jerárquica” que comunican los árboles, por otro lado, depende de la forma en que se los mire o se los dibuje (Reynoso 2010: 167-169). No es necesario que nos remitamos al principio de Nelson Goodman (1972, ver arriba pág. 15) para comprobar que, al igual que tantas otras, la popular oposición entre redes y árboles se funda en una falsa antinomia.

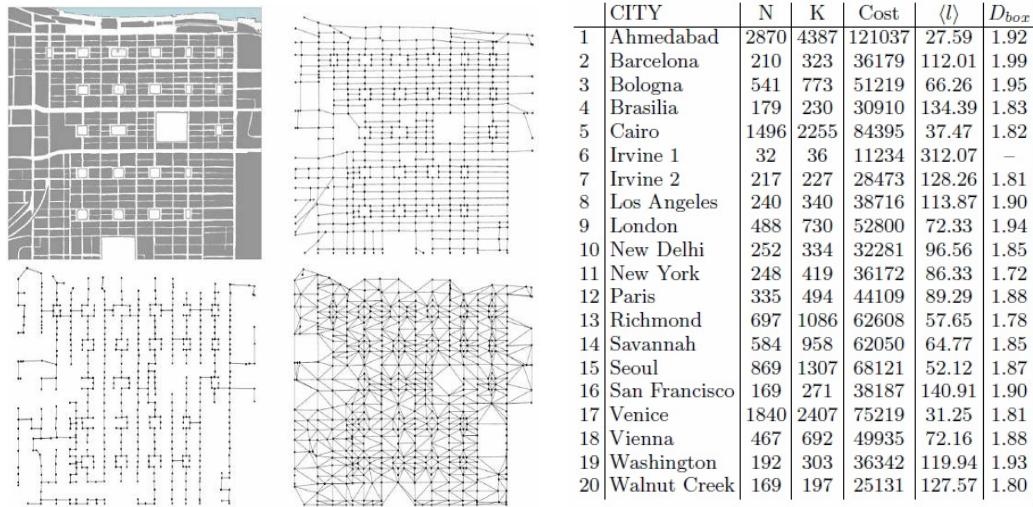


Figura 16.7 – Izquierda: Patrones urbanos de la ciudad de Savannah: mapa original, grafo espacial, mST y GT – Derecha: Número de nodos ( $N$ ), número de aristas ( $K$ ), longitud total de las aristas (costo), longitud de arista promedio ( $\langle l \rangle$ ), dimensión fractal de caja ( $D_{box}$ ) – Basado en Cardillo y otros (2005)

Otra elegante extrapolación de conceptos usuales en el análisis de redes sociales hacia el análisis y diseño urbano puede encontrarse en el *paper* de Cardillo y otros (2005) sobre las propiedades estructurales globales y locales de los grafos planares constituidos por los patrones de calles urbanas. Además de una batería de cálculos más o menos acostumbrados sobre la dimensión fractal, la longitud promedio de los vértices, la distribución de grado y el costo de ambulación, los autores ensayan sobre una muestra de superficies iguales de veinte ciudades otras medidas y criterios novedosos, tales como coeficiente de *meshedness*, eficiencia, distribución de motivos, árbol abarcador mínimo (mST) y triangulación voraz [GT, *greedy triangulation*] (fig. 16.7). El mST es el árbol de menor longitud que conecta todos los nodos en un solo componente; posee, por definición  $K_{min}=N-1$  aristas. El resultado es un conjunto de medidas bien diferenciadas y expresivas que permiten por un lado clasificar las ciudades en tipos bien definidos y por el otro aumentar el conocimiento sobre los efectos de uno u otro plan de trazado de calles, de optimización de la calidad de vida o del cambio estructural que fuere. La GT es una metaheurística bien conocida en geometría computacional que produce una buena aproximación a un grafo maximamente conectado de la mínima longitud posible; esta aproximación es requerida por cuanto no se conoce ningún algoritmo de tiempo polinómico que compute una genuina triangulación óptima, esto es, de peso mínimo.

A diferencia de los grafos aleatorios de Erdős y Rényi, muchas redes complejas de la vida real muestran la presencia de un gran número de ciclos cortos de motivos específicos. El

*clustering* o conglomerado local, conocido también como transitividad, es una propiedad característica de las redes de conocidos, donde es probable que dos personas con un conocido común se conozcan entre sí. El coeficiente de *clustering* es también en cierto modo una medida de la fracción de triángulos presentes en una red; se trata de una medida que se utiliza muchísimo en el análisis de redes sociales de diez años a esta parte pero no es adecuada para describir las propiedades locales de los grafos planares, porque el simple conteo de triángulos no permite discriminar entre topologías muy distintas: tanto las grillas de triángulos como los cuadriculados y los enrejados hexagonales poseen el mismo coeficiente, que es obviamente cero. Por eso es que se ha propuesto el coeficiente de *meshedness*, que se define como  $M=F/F_{max}$ , donde  $F$  es el número de caras (excluyendo las externas) asociadas con un grafo planar de  $N$  nodos y  $K$  aristas;  $F$  se calcula mediante la fórmula de Euler  $F=K-N+1$ ; y  $F_{max}$  es el número posible de caras que puede obtenerse en un grafo planar. Por ende, el coeficiente puede variar desde 0 (estructura de árbol) hasta 1 (un grafo planar máximamente conectado, como la GT).

Aplicando esta batería de elementos de juicio, los autores distinguen un bien articulado conjunto de tipo urbanos:

- 1) Texturas medievales orgánicas, incluyendo tanto casos arábigos (Ahmedabad, Cairo) como europeos (Bologna, Londres, Venecia, Viena).
- 2) Texturas planificadas de enrejado de hierro (Barcelona, Los Angeles, Nueva York, Richmond, Savannah, San Francisco).
- 3) Texturas modernistas (Brasilia, Irvine 1).
- 4) Texturas barrocas (Nueva Delhi y Washington).
- 5) Texturas mixtas (París, Seúl).
- 6) Diseños *lollipop* sesentistas con estructuras arboladas de baja densidad y abundantes callejones sin salida (Irvine 2 y Walnut Creek).

Y ya que a propósito de la GT hemos hablado de problemas difíciles o imposibles de resolver en tiempo polinómico, hay que decir que los grafos han sido esenciales en la comprensión sistemática de la tratabilidad de las problemáticas urbanas en diversas disciplinas, excepto (hasta donde conozco) en antropología sociocultural.

Una tercera área de influencia de la teoría de grafos en el análisis espacial concierne a la conversión del antiguo método de las isovistas en una genuina integración de análisis de visibilidad de grafos [*visibility graph analysis*, o VGA]. Una vez más, el centro de estas investigaciones es el VR Centre, un área específica de la misma Bartlett School of Visual Studies.<sup>86</sup> El procedimiento subyacente a la integración de VGA se asemeja a la que utilizaron De Floriani, Marzano y Puppo (1994) en análisis del paisaje y de Berg y otros (2008[1997]) en geometría computacional, aunque en número de puntos seleccionados es mayor en este caso. Muchos de los métodos algorítmicos de esta última especialización (una disciplina surgida en los setenta para resolver problemas espaciales de computación gráfica, GIS y robótica) se basan en principios derivados de la teoría de grafos y de otros

---

<sup>86</sup> Véase <http://www.vr.ucl.ac.uk/research/vga/>. Visitado en junio de 2009.

modelos reticulares: los diagramas de Voronoi, los triángulos de Delaunay y la triangulación de polígonos en general, el teorema de la galería de arte, los árboles de búsqueda, segmento, partición e intervalo, los *quadtrees* y por supuesto los grafos de visibilidad (Goodman y O'Rourke 1997).

La técnica de VGA consiste en seleccionar algunos miles de puntos, trazando aristas entre los puntos que son mutuamente visibles. La medida de integración, tomada de Hillier y Hanson (1984) es una medida (inversa) del camino promedio más corto entre un punto y todos los demás puntos del sistema. El guarismo obtenido se combina con otros y en particular con la longitud promedio del camino más corto propuesta por Watts y Strogatz (1998; véase más arriba pág. 93) para determinar si el conjunto constituye o no un mundo pequeño y con el coeficiente de *clustering*, que como hemos visto no es sino otra forma de expresar la densidad local de aristas en una red. Al principio los autores aludieron al procedimiento como “análisis de integración de isovista” o “análisis de visibilidad de grafos de grilla densa” (Turner y Penn 1999). Aunque el método difiere, la isovista y el VGA conducen a resultados coincidentes. La isovista originaria se caracterizaba por una baja precisión relativa ( $10^\circ$  de resolución angular) y un alto costo computacional, derivado del cálculo de los polígonos correspondientes. El VGA, cuya resolución llega a menos de  $1^\circ$ , se ha aplicado a edificios, zonas urbanas y paisajes y es de esperarse que se imponga al menos en arqueología, donde las isovistas convencionales fueron en su momento bien conocidas. Algunos programas que se revisarán en el apartado siguiente (DepthMap, MindWalk) incluyen esta prestación.

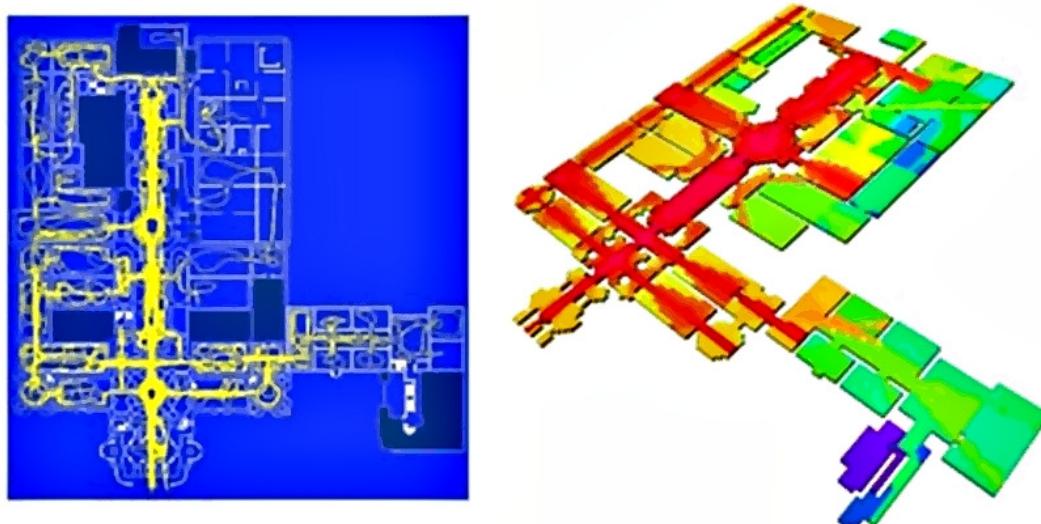


Figura 16.8 – Integración de Análisis de Visibilidad de Grafo (VGA) de la galería Tate de Londres.  
Las áreas más frecuentadas son las de mayor valor de integración axial (Hillier y otros 1996).

Las mediciones expresivas a la que puede dar lugar el tratamiento de la visibilidad de los grafos son muchísimas y su productividad conceptual ha sido probada a través de las disciplinas: Wilson y Beineke (1979) proporcionan alguna idea del rango de mediciones disponibles, las cuales hoy en día son muchas más. La joya de la corona en materia de simbiosis entre redes y sintaxis se encarna en uno de los artículos recientes del fundador de

esta última, el cual lleva por título algo así como “¿Qué se necesita agregar al concepto de red social para obtener una sociedad?. Respuesta: Algo parecido a lo que debe agregarse a una red espacial para obtener una ciudad”. (Hillier 2009).

### **16.3 – Estudios de asentamientos arqueológicos con SE**

Dado que las técnicas empaquetadas bajo el rubro de SE basadas en teoría de grafos vinculan cuestiones de forma arquitectónica con ideas, lógicas y conceptos, y dado que se prestan además para el análisis tanto de edificios o estructuras individuales como de asentamientos enteros, no es de extrañar que fueran adoptadas de buena gana por los arqueólogos, quienes más o menos contemporáneamente estaban desarrollando (con tantos o más constreñimientos metodológicos que los arquitectos y los geógrafos en los campos equivalentes de sus respectivas disciplinas) la arqueología [social] del paisaje (Cosgrove y Daniels 1988; Duncan 1990; Duncan y Duncan 1988; Barnes y Duncan 1992; Oakes y Price 2008: 149-180).

En las últimas dos décadas los arqueólogos han utilizado herramientas de SE o sus derivaciones en un número crecido de investigaciones, tanto en América del Sur (Moore 1992; Vega-Centeno 2005) como en América del Norte (Bradley 1992: 94-95; 1993: 29-32; Cooper 1995; 1997; Bustard 1996; Ferguson 1996; Shapiro 1997; Potter 1998; Van Dyke 1999; Stone 2000; Dawson 2006), Mesoamérica (Hopkins 1987, Hohmann-Vogrin 2005; 2006; Robb 2007) y Europa (Plimpton y Hassan 1987; Banning y Byrd 1989; Foster 1989; Bonanno y otros 1990; Fairclough 1992; Laurence 1994: 115-121; Banning 1996; Smith 1996: 79-84, 243-258, 304-309; Cutting 2003; Perdikogianni 2003; Thaler 2005; Fisher 2006). La antropología ha agregado bastante poco a este repertorio, aunque unos pocos artículos han estado muy cerca de tratar la cuestión (Nárdiz Ortiz 2008).

Vale la pena referir someramente el conjunto de las principales investigaciones arqueológicas que se han valido de la SE, casi siempre en combinación con otras técnicas y perspectivas. Ellas suman unas cuarenta y en orden cronológico son las siguientes:

- Hopkins, Mary. 1987. “Network analysis of the plans of some Teotihuacan apartment compounds”. *Environment and Planning B*, 14: 387-406. La autora pertenece a la Wyoming State Historic Preservation Office. Las estructuras edilicias del sitio estudiado por ella no tienen equivalentes arqueológicos parecidos en otras regiones. Muchas son tan grandes y complejas que no son tratables por métodos de observación convencionales. En este ensayo se discuten nueve compuestos que han sido total o parcialmente excavados. Se encuentran diversos patrones de variación: planes con un solo centro *vs* planes multicentrados; planeamiento dendrítico *vs* armado en forma de circuitos a distintas escalas; facilidad relativa de acceso interno *vs* prevalencia de espacios externos; organización global o en la pequeña escala; presencia o ausencia de sub-compuestos.
- Plimpton, Christine L. y Fekri A. Hassan. 1987. “Social space: A determinant of house architecture”. *Environment and Planning B*, 7: 439-449. Los autores son miembros del departamento de Antropología de la Universidad del Estado de

Washington en Pullman. Partiendo de la premisa de que el espacio es un producto de valores y actitudes sociales y simbólicos, el artículo estudia los principios de organización espacial y las reglas transformacionales del espacio arquitectónico en el pueblo de Sirsina, en el delta del Nilo. Al lado de los patrones usuales derivados de Hillier, se proponen tres reglas primarias de transformación (mantenimiento de la estructura modular, segregación o diferenciación y borrado) y tres reglas implicadas (multiplicación, bifurcación y reemplazo).

- Banning, Edward B. y Brian F. Byrd. 1989. “Alternative approaches for exploring Levantine neolithic architecture”. *Paléorient*, 15: 154-160. Este breve *paper* se destaca por su aplicación de técnicas de grafos espaciales a estructuras de Jericó, Ain Ghazal, Beisamoun y Yiftahel. Partiendo de la premisa de que los cambios sociales se reflejan en alguna medida en el ambiente construido (p. ej. la transición entre (a) patrones circulares tipo Aurenche y familias poligínicas y (b) configuraciones rectilíneas y familias nucleares), los autores señalan que algunos de los resultados surgidos en el análisis contradicen notablemente los supuestos del estudio tipológico convencional.
- Foster, Sally M. 1989. “Analysis of spatial patterns in buildings (Access Analysis) as an insight into social structure: Examples from the Scottish atlantic Iron Age”. *Antiquity*, 63: 40-50. Foster (especialista en arqueología medieval escocesa del Inspectorado Histórico) estudia edificios antiguos en base a métodos de análisis de acceso para clarificar la forma en que las estructuras del ambiente construido mantienen y reproducen las relaciones sociales.
- Bonanno, Anthony, Tancred Gouder, Caroline Malone y Simon Stoddart. 1990. “Monuments in an island society: The Maltese context”. *World Archaeology*, 22(2): 189-205. Los autores son dos investigadores malteses y dos especialistas en historia clásica y arqueología de la Universidad de Bristol. Este estudio aplica a los asentamientos megalíticos de la pequeña isla de Gozo técnicas combinadas de análisis de redes sociales a la manera de Jeremy Boissevain con el análisis de acceso de Hillier y Hanson para interrogar las teorías de jerarquía social usadas hasta el presente. Concluyen que las técnicas brindan una comprensión de la problemática maltesa superior a la que ofrece la acostumbrada extrapolación de las teorías jerárquicas surgidas para explicar el caso de Oceanía.
- Lawrence, Denise y Setha Low. 1990. “The built environment and spatial form”. *Annual Review of Anthropology*, 19: 453-505 (1990). En esta amplia reseña hay una breve referencia a la sintaxis espacial sin mayor comentario en cuanto a lo que los estudios arqueológicos y antropológicos concierne.
- Bradley, Bruce. 1992. “Excavations at Sand Canyon Pueblo”. En: W. Lipe (compilador), *The Sand Canyon Archaeological Project*, Occasional Paper 2, Cortez, Crow Canyon Archaeological Center. (Ver entrada siguiente).
- Bradley, Bruce. 1993. “Planning, growth, and functional differentiation at a prehistoric Pueblo: A case study from SW Colorado”. *Journal of Field Archaeology*,

20: 23-42. Usando elementos de SE junto con otras metodologías, Bruce Bradley (del Crow Canyon Archaeological Center de Cortez, Colorado) examinó el sitio en busca de patrones que hablaran de planificación tanto a escala de edificios como a nivel de la comunidad global. Se calcularon las medidas de integración y se trazaron los diagramas o grafos de acceso.

- Fairclough, Graham. 1992. “Meaningful construction: Spatial and functional analysis of medieval buildings”. *Antiquity*, 66: 348-366. Fairclough es miembro ejecutivo de la Asociación Europea de Arqueología; este trabajo constituye una de las primeras aplicaciones de la SE a la arqueología histórica.
- Moore, Jerry D. 1992. “Pattern and meaning in prehistoric Peruvian architecture: The architecture of social control in the Chimú state”. *Latin American Antiquity*, 3: 95-113. Jerry Moore (profesor de Antropología en la Universidad del Estado de California) alega que la arquitectura refleja significado y que una dimensión fundamental en ese sentido es el acceso. La pregunta a hacerse sería entonces: ¿quién puede pasar adónde y por cuál lugar? Este artículo aplica análisis reticular de acceso a la ciudad de Chan Chan, en donde una clase de arquitectura (la audiencia) ha sido interpretada tradicionalmente como un nodo de control en el acceso a los depósitos de las ciudadelas. El análisis, sin embargo, revela que las audiencias no están donde deberían estar para satisfacer esa función y que por eso no controlan el acceso al almacenaje. Sería entonces menester formular otras hipótesis.
- Laurence, Ray. 1994. *Roman Pompeii, space and society*. Londres, Routledge. Segunda edición ampliada en 2007. Laurence (del Instituto de Arqueología y Antigüedad de la Universidad de Birmingham) utiliza aquí métodos de SE para indagar el grado de planificación de la ciudad de Pompeya, establecer la centralidad del foro y encontrar nexos entre la ciudad física y la organización social. El libro es el primero escrito en gran escala ilustrando la aplicación de estas técnicas a la arqueología histórica.
- Cooper, Laurel M. 1995. *Space syntax analysis of Chacoan great houses*. Disertación de doctorado, Tucson, Universidad de Arizona. (Ver otra referencia al autor más adelante, pág. 263).
- Banning, E. B. 1996. “Houses, compounds, and mansions in the prehistoric Near East”. En: G. Coupland y E. B. Banning (compiladores), *People who lived in big houses: Archaeological perspectives on large domestic structures*. Monographs in World Archaeology 27, Madison, Prehistory Press, pp. 165-185. (Ver entrada de Banning y Byrd 1989).
- Bustard, Wendy. 1996. *Space as place: Small and great house spatial organization in Chaco Canyon*. Disertación de doctorado, Universidad de New Mexico en Albuquerque. Ann Arbor, UMI Dissertation Services. (Ver entrada siguiente)
- Bustard, Wendy. 1997. “Space, evolution and function in the houses of Chaco Canyon”. *Proceedings, Space Syntax First International Symposium*, Londres, pp. 23.01-23.22. Bustard analiza mediante SE el área de Four Corners en Chaco

Canyon, con sus “grandes casas” que contienen entre 54 y 800 habitaciones. Concluye que ningún modelo funcional de uso uniforme es sustentado por el método.

- Ferguson, T. J. 1996. *Historic Zuni architecture and society: An archaeological application of space syntax*. Tucson, University of Arizona Press. En la primera elaboración arqueológica en gran escala, Ferguson realiza una magistral presentación y clarificación del método de la SE, saludada por todos los especialistas ya sea en arqueología Zuñi como en las técnicas de análisis espacial (Wendy Bustard, Shapiro, Dublin).
- Smith, Adam Thomas. 1996. *Imperial archipelago: The making of the Urartian landscape in Southern Transcaucasia*. Disertación de doctorado, Universidad de Arizona, Ann Arbor, UMI Dissertation Services. Pp. 79-84, 243-258, 304-309. Ver más adelante entrada de Smith (1999).
- Cooper, Laurel. 1997. “Comparative analysis of Chacoan great houses”. *Proceedings, Space Syntax First International Symposium*, Londres, pp. 39-01-39.10. La interpretación de las estructuras masivas del sitio sigue siendo polémica; algunos las contemplan como aldeas densamente pobladas mientras otros sostienen que son remanentes de un enorme complejo templario sin casi viviendas ni depósitos. Los grafos de acceso justificados ayudaron al autor a comprender mejor la arquitectura chacoana y a evaluar los modelos alternativos, encontrando que la apariencia de clausura y las plantas progresivamente asimétricas y no distribuidas sugieren que se otorgó mayor importancia al control de los precintos que a promover la interacción social. También habría más evidencias, según parece, del faccionalismo característico de la región Pueblo que de un proceso de gestación proto-estatal.
- Shapiro, Jason Stuart. 1997. *Fingerprints on the landscape: Space syntax analysis and cultural evolution in the Northern Rio Grande*. Disertación de doctorado, Pennsylvania State University, UMI Dissertation Service. (Ver entrada siguiente).
- Shapiro, Jason Stuart. 1997. “Fingerprints on the landscape: Cultural evolution in the North Rio Grande”. *Proceedings, First International Space Syntax Symposium*, Londres, pp. 21.1-21.22. J. S. Shapiro (miembro del Departamento de Antropología en Penn State) aduce que ninguno de los estudios sobre los Anasazi ha tratado de explicar las relaciones entre los patrones arquitectónicos y la organización social. Aquí estudia mediante SE el sitio de Arroyo Hondo Pueblo, cerca de Santa Fe de Nuevo Mexico. El método revela que el uso del espacio cambió a lo largo del tiempo desde un patrón más integrado y accesible hasta otro más segregado y de difícil accesibilidad, aunque con grandes áreas públicas (plazas) que permitían reuniones multitudinarias. Hasta donde se sabe esos cambios reflejan sutiles modificaciones de la organización social.
- Potter, J. 1998. “The structure of open space in late prehistoric settlements in the Southwest”. En: K. A. Spielmann (compilador), *Migration and reorganization: The Pueblo IV period in the American Southwest*. Anthropological Research Paper 51, Tempe, Arizona State University.

- Smith, Adam. 1999. “The making of an Urartian landscape in Southern Transcaucasia: A study of political architectonics”. *American Journal of Archaeology*, 103(1): 45-71. El autor encuentra que el estudio mediante SE de los asentamientos en las llanuras de Ararat y Shirak permite comprender mejor el uso de la arquitectura como herramienta de poder imperial, así como la forma en que las relaciones espaciales contribuyen a la producción, reproducción y colapso de los antiguos estados.
- Van Dyke, Ruth. 1999. “Space syntax analysis at the Chacoan outlier of Guadalupe”. *American Antiquity*, 64(3): 461-473. La Casa de Guadalupe es periférica al Chaco Canyon y manifiestas tres etapas en su construcción; el estudio investigó la estructura y el uso social del edificio, asumiendo que los diseños espaciales segregados son indicadores de desigualdad. La conclusión es que la casa parece haber sido una unidad doméstica antes que una estructura administrativa o ceremonial.
- Stone, Tammy. 2000. “Prehistoric community integration in the Point of Pines region in Arizona”. *Journal of Field Archaeology*, 27(2): 197-208. Tammy Stone, Decana Asociada y Profesora del Colegio de Artes y Ciencias Liberales de la Universidad de Colorado en Denver, examina el sitio W:10:50 donde hay un grupo de habitaciones que se cree que testimonian una intrusión de otra tradición cultural del área de Kayenta. Concentrándose en la estructura del espacio abierto en un sitio eminentemente habitacional, la autora describe en detalle la aplicación de métodos de mapas axiales y convexos y su ulterior análisis a los datos del sitio. Más allá de la adecuación al caso específico y de la falta de desarrollo de elementos de juicio alternativos o complementarios, el trabajo resulta útil como introducción pedagógica al uso del método.
- Pellow, Deborah. 2001. “Cultural differences and urban spatial forms: Elements of boundedness in an Accra community”. *American Anthropologist*, 103(1): 59-75. Pellos (del Departamento de Antropología de la Universidad de Nueva York en Syracuse) expande la observación de Catherine Coquery-Vidrovitch respecto de la mezcla de caracteres americanos, europeos y africanos en las urbes africanas, encontrando que cada ciudad está internamente diferenciada, conteniendo una multitud de enclaves que varían en sus formas sociales, físicas y arquitectónicas. El ensayo es consistente con la búsqueda de vinculación entre lo social y lo espacial que suele encontrarse en la literatura del género y es mencionado a menudo como representativo del mismo, pero las técnicas específicas de SE no se despliegan en él en forma explícita.
- Cutting, Marion. 2003. “The use of spatial analysis to study prehistoric settlement architecture”. *Oxford Journal of Archaeology*, 22(1): 1-21. Aplicando las técnicas a tres sitios de Anatolia en Çatal Hüyük y Haçilar, Marion Cutting (del Instituto de Arqueología del University College de Londres) efectúa una distinción entre el análisis de acceso utilizado como herramienta cuantitativa y un instrumento no cuantitativo “usado para pensar”, sugiriendo el nivel de definición arquitectónica que se requiere para la primera estrategia.

- Hegmon, Michelle. 2003. “Setting theoretical Egos aside: Issues and theory in North American archaeology”. *American Antiquity*, 68(2): 213-243. Hay sólo una referencia al uso de la SE por parte de Ferguson (1996) en vinculación con la teoría de la práctica a la manera de Bourdieu.
- Perdikogianni, Irini. 2003. “Heraklion and Chania: A study of the evolution of their spatial and functional patterns”. *4<sup>th</sup> International Space Syntax Symposium*. Londres, Bartlett School of Graduate Studies, University College London. 19(1): 19.20. En su estudio comparativo de estas dos ciudades “orgánicas” de Creta, el texto está claramente organizado en cuatro bloques: revisión histórica, análisis axial, análisis sintáctico y análisis funcional. El objetivo es averiguar por qué los centros históricos de esas dos ciudades funcionan hoy de maneras tan diferentes. Para ello utiliza ya no el texto clásico de Hillier y Hanson, sino uno más actual de Hillier (2007a: 335), *Space is the machine*. El método analítico en particular se basa en la noción de que la relación entre los agentes humanos y el espacio está gobernada por dos clases de leyes: las leyes de la emergencia espacial, por las cuales las propiedades configuracionales de la mayor escala se siguen como consecuencia necesaria de las diferentes clases de intervenciones locales; y las leyes de la función genérica, que ocasionan que los aspectos más genéricos de la actividad humana (ocupar espacios, moverse entre ellos) impongan constreñimientos al espacio mismo.
- Liebmann, Matthew, Robert W. Preucel y T. J. Ferguson. 2005. “Pueblo settlement, architecture, and social change in the Pueblo revolt era, A. D. 1680 to 1696”. *Journal of Field Archaeology*, 30(1): 45-60. Los autores (de la Universidad de Pennsylvania los dos primeros y de Anthropological Research LLC de Tucson el tercero) utilizan SE y métodos semióticos diversos para marcar el contraste entre la construcción planificada, la fuerte interacción y el liderazgo centralizado anterior a la revuelta y el plan disperso, heterogéneo y relajado posterior a ella, adecuado a la situación cultural de los asentamientos desde los días del levantamiento hasta la actualidad.
- Vega-Centeno, Rafael. 2005. *Ritual and architecture in a context of emergent complexity: A perspective from Cerro Lampay, a late archaic site in Central Andes*. Disertación de doctorado, Universidad de Arizona. Esta tesis, de casi 400 páginas, constituye una extensa inspección del surgimiento de formas complejas a partir de la actividad ritual en el sitio mencionado, situado en la costa norte de Perú. Vega-Centeno implementa en particular el análisis Gamma, el cual examina la relación entre los espacios asociados y las estructuras del espacio exterior. Este análisis (cuyo nombre entró luego en desuso) no es otra cosa que la reducción de la estructura de los edificios a una red compuesta por unidades espaciales básicas o celdas y sus relaciones mutuas, tal como la propusieron Hillier y Hanson (1984: 144-146). La variable significativa de estas relaciones es el grado de permeabilidad entre los espacios de un edificio, manifiesto en cuatro propiedades: simetría, asimetría, distribución y no-distribución. Imaginativamente, Vega-Centeno com-

plementa el análisis Gamma básico con un análisis de la estructura perceptual del diseño arquitectónico utilizando elementos de la proxémica del antropólogo Edward Hall (1989), considerada como una síntesis de impulsos sensoriales visuales, auditivos, kinestésicos, térmicos y olfativos.

- Thaler, Ulrich. 2005. “Narrative and Syntax: new perspectives on the Late Bronze Age palace of Pylos, Greece”. *5<sup>th</sup> International Space Syntax Symposium*. Delft, Bartlett School of Graduate Studies, University College of London, pp. 323-338.
- Stockett, Miranda. 2005. “Approaching social practice through access analysis at Las Canoas, Honduras”. *Latin American Antiquity*, 16(4): 385-407. La autora, profesora visitante de la Universidad de Cornell, utiliza una versión modificada del análisis de acceso para indagar los patrones de la organización del espacio en ese sitio del período clásico tardío. Sus conclusiones consideraron una combinación de diagramas de acceso, análisis de las formas arquitectónicas, distribución de actividades y conexión con el espacio circundante.
- Hohmann-Vogrin, Annegrete. 2005. “Space Syntax in Maya Architecture”. *5<sup>th</sup> International Space Syntax Symposium*. Delft, Bartlett School of Graduate Studies, University College London, pp. 279-292.
- Hohmann-Vogrin, Annegrete. 2006. “Spatial alignments in Maya architecture”. En: E. C. Robertson y otros (compiladores), *Op. cit.*, pp. 199-204. La autora (miembro de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Tecnología de Graz, Austria) aplica SE tradicional al examen de la ciudad Maya de Tikál.
- Dawson, Peter. 2006. “Space, place, and the rise of ‘urbanism’ in the Canadian Arctic”. En: E. C Robertson, Elizabeth C., Jeffrey Seibert, Deepika Fernandez y Marc Zender (compiladores). *Space and spatial analysis in archaeology*. Calgary, University of Calgary Press, pp. 169-176. Dawson, arqueólogo de la Universidad de Calgary, utiliza fundamentalmente mapas axiales para evaluar la adecuación de las urbanizaciones prestamente surgidas entre los Inuit con sus pautas culturales.
- Fisher, Kevin. 2006. “Messages in stone: Constructing sociopolitical inequality in late Bronze Age Cyprus”. En: E. C. Robertson y otros (compiladores), *Op. cit.*, pp. 123-132. Las técnicas de SE sirven a Fisher (antropólogo de la Universidad de Toronto) para demostrar que los espacios chipriotas eran lugares construidos socialmente, imbuidos con identidad y memoria, que jugaban un papel integral en la organización social durante el período analizado. La estrategia enfatiza el papel de los edificios en el control de los movimientos y en los encuentros, al devenir contextos para las interacciones a través de las cuales las estructuras sociopolíticas se desarrollan, mantienen, transforman y reproducen. Fisher implementa una metodología interdisciplinaria que combina análisis de acceso con comunicación no verbal y análisis de visibilidad.
- Letesson, Quentin. 2007. *Du phénotype au génotype: Analyse de la syntaxe spatiale en architecture minoenne (MM IIIB-MRIA)*. Disertación de doctorado, Louvain-La-Neuve. El autor alega que la sintaxis espacial es más que “una herramienta

mienta con la cual pensar”, como famosamente afirma Marion Cutting (2003). Sin embargo, su aplicación debe ser cuidadosa y depende en gran medida del estado de preservación de la arquitectura. La metodología analítica se beneficiará si se incorpora a una estrategia más amplia en la cual la estructura (el genotipo neopala-ciego) y la agencia (la percepción y conducta humanas, así como la dinámica de los edificios) no se concibían como una dicotomía sino como una realidad compleja en la cual el espacio arquitectónico no sea sólo teatro de las actividades humanas, sino más bien parte integrante de la dramaturgia cultural.

- Robb, Matthew H. 2007. “The Spatial Logic of Zacula, Teotihuacan”. *6<sup>th</sup> International Space Syntax Symposium*. İstanbul, Bartlett School of Graduate Studies, University College London. Pp. 062.1-062.16. Matthew Robb (del Departamento de Historia del Arte de la Universidad de Yale) analiza el mencionado complejo habitacional en un artículo elegante y de alta calidad gráfica, hallando que sus residentes adherían a una jerarquía de espacios finamente modulada. De particular utilidad en el análisis ha sido el mapa axial de Teotihuacan elaborado por Rubén Garnica.
- Spence-Morrow, Gilles. 2009. “Analyzing the invisible: Syntactic interpretation of archaeological remains through geophysical prospection”. *Proceedings, 7<sup>th</sup> International Space Syntax Symposium*, Estocolmo, pp. 106.1-106.10. Gilles Spence-Morrow (del Departamento de Arqueología de la Universidad McGillde Montréal) propone complementar las técnicas de SE con las de la nueva geofísica, capaz de proporcionar imágenes de alta resolución de sitios parcialmente excavados. El ensayo se aplica a prospecciones realizadas en Tiahuanaco, Bolivia, con resultados incipientes pero promisorios.

En los días que corren los estudios basados en SE se están acumulando a un ritmo que sugiere que su incorporación al paquete metodológico de la arqueología ya es un hecho consumado, a despecho de su eventual mala fama en círculos restringidos de especialistas a los cuales les choca su extraña jerga, la desconcertante simplicidad de sus matemáticas o el eventual simplismo de sus digresiones sociológicas. El lector encontrará referencias a estudios de SE en otras ciencias sociales y en ciencia cognitiva en páginas específicas de mi sitio de Web.<sup>87</sup> Muchas de ellas atañen a lo que tradicionalmente ha sido incumbencia de la antropología aplicada; una proporción importante combina técnicas sintácticas con análisis de redes sociales y teoría de grafos. El método, en suma, está comenzando a cuajar.

#### **16.4 – Herramientas de sintaxis espacial**

Los programas para tratamiento de redes han sido de uso habitual en antropología reticular y me parece redundante describirlos en una tesis; los de sintaxis espacial, en cambio, no sólo son pocos conocidos sino recientes. Describirlos ayudará a comprender cómo

---

<sup>87</sup> Ver respectivamente <http://carlosreynoso.com.ar/dimensiones-socioculturales-de-la-sintaxis-espacial/> y <http://carlosreynoso.com.ar/sintaxis-espacial-mapas-cognitivos-conocimiento-y-percepcion-del-espacio/>.

es que el análisis se despliega y de qué manera, no siempre sutil, en las disciplinas que están en el filo tecnológico las prácticas inciden en el avance y en la reformulación de las teorías.

Dada la expansión alcanzada en la última década por el análisis de la SE y su convergencia con las técnicas y métodos de la complejidad, existe un buen número de paquetes disponibles. Entre los que he podido utilizar cabe mencionar a Agraph, Ajanachara, AJAX, UCL DepthMap, JASS, MindWalk, Segmen, SPOT, Syntax 2D, WebMap y WebMap-AtHome. Otros programas (Axman, Netbox, NewWave, OmniVista, OrangeBox, Ovation, Pesh, SpaceBox) son para viejas versiones de Mac y no he podido probarlos. Otros más (Axess, AxialGen, Axwoman, Confeego, Isovist Analyst, OverView, Spatialist) son *plugins* para ambientes de CAD o GIS y no programas independientes; unos pocos (Akropolis, Bandle, Meanda PC [Mean Depth Angular] para análisis angular) se han tornado inconseguibles. Más adelante referiré aquellos instrumentos vivos y de uso académico gratuito que vale la pena probar.

Gran parte de los avances recientes en materia de SE ha tenido que ver con implementaciones de métodos originales de cálculo y formalización implementados en paquetes de software programados en los principales centros de la especialidad. En el UCL, por ejemplo, uno de los logros más celebrados ha sido la “sintactificación” del viejo análisis de grafo de visibilidad, implementada por Alasdair Turner en su programa DepthMap (Turner y Penn 1999; Turner y otros 2001; Hillier 2007: vi).<sup>88</sup> Más tarde, primero Shinichi Iida en su Segmen y luego otros estudiosos del UCL desarrollaron un análisis axial basado en segmentos implementando medidas de peso angulares, métricas y topológicas. Fue este preciso análisis el que permitió demostrar que el movimiento humano estaba guiado más por factores geométricos y topológicos y no tanto por criterios métricos; también se pudo comprender mejor el impacto profundo que la estructura del espacio ejerce sobre el movimiento tanto de vehículos como de peatones (Hillier e Iida 2005).

Entre uno y otro logro, Dalton (2001) desarrolló para el programa Meanda el análisis angular que hoy se encuentra en WebMap y WebMapAtHome; Figuereiro y Amorim (2005) hicieron lo propio con las “líneas de continuidad” que se destacan en MindWalk; Marcus y su equipo en el Colegio Real de Tecnología de Estocolmo mejoraron la comprensión de las relaciones entre el espacio y otros factores urbanos como tenencia de la tierra con su Space Syntax y lo mismo hicieron el arquitecto Guido Stegen con Sequence en el ARSIS de Bruselas o Stutz, Gil, Friedrich y Klaasmeyer con Confeego en su consultora Space Syntax Limited.

---

<sup>88</sup> El análisis de visibilidad (vinculado con los conceptos de isovistas y *viewshed analysis*) se ha utilizado masivamente en la arqueología del espacio desde su introducción por Michael Benedikt (1979). Se lo ha usado para elucidar los factores que gobiernan la ubicación de asentamientos y construcciones monumentales o la defensibilidad de sitios fortificados. Véase Renfrew (1979); Fraser (1986); Kvamme (1993); Wheatley (1995); Lock y Harris (1996); Maschner (1996); Wheatley y Gillings (2002: 201-216); Lake y Woodman (2003); Connolly y Lake (2006: 226-233); Jones (2006).

## AJAX-Light

Es un programa de análisis de accesibilidad de uniones [*junctions*] y líneas axiales. Su nombre es de hecho acrónimo de *Accessibility analysis of Junctions and AXial lines*. Se lo ha documentado indirectamente en el paper #75 de UCL-CASA. La ventaja de AJAX (figura 16.9) radica en que permite ejecutar análisis sintáctico tradicional (primal, en la terminología de CASA). Éste consiste en describir una configuración espacial como un conjunto de líneas axiales y elaborar sus proximidades, accesibilidades o valores de integración relativos; pero también habilita un análisis dual, que consiste en indagar las mismas accesibilidades con respecto a las intersecciones de las líneas, es decir, sus juntas o nodos.

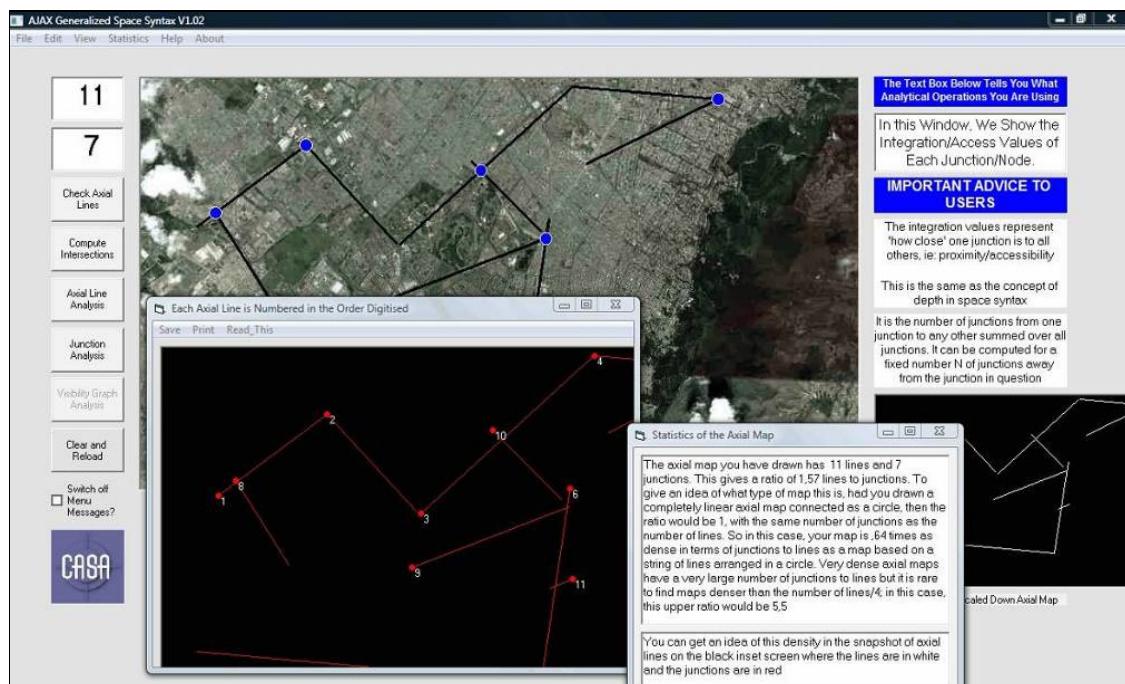


Figura 16.9 – AJAX-Light de UCL procesando análisis axial

El programa es fácil de usar y está orientado más a la pedagogía del análisis que a la ejecución profesional de éste en aplicaciones de la vida real. Se mantiene la misma versión desde el año 2005. Si bien integra algún rudimento de cuantificación de las estructuras básicas de líneas axiales, el paquete no ofrece nada que permita pasar de la SE básica al tratamiento de grafos espaciales.

## MindWalk

Desarrollado por Lucas Figueiredo, MindWalk ejecuta análisis espacial sobre mapas axiales y también sobre los nuevos mapas de continuidad con el objeto de comprender mejor los usos sociales y culturales del espacio.<sup>89</sup> Mientras que las líneas axiales son necesaria-

<sup>89</sup> <http://www.mindwalk.com.br/>. Visitado en junio de 2009.

mente rectas, las líneas de continuidad (simuladas mediante *polylines*)<sup>90</sup> incluyen cambios de dirección como para representar más fielmente una trayectoria compleja tal como se concibe cognitivamente: un ángulo de 35°, por ejemplo, no se percibe como el paso de una línea a otra, sino como una curvatura de la misma línea. De ser necesario, estas líneas de continuidad se crean automáticamente a partir de líneas axiales estándar. El procedimiento se basa en el ángulo que se forma entre lo que sería la continuación lineal de la línea axial y la continuación “real” proporcionada por una línea axial próxima a uno de sus extremos, lo que se llama “ángulo de continuidad” (Figueiredo y Amorim 2005). También se utiliza un margen de aproximación para ignorar pequeñas distancias entre intersecciones y evitar así los “anillos triviales” (Hillier y Hanson 1984: 102).

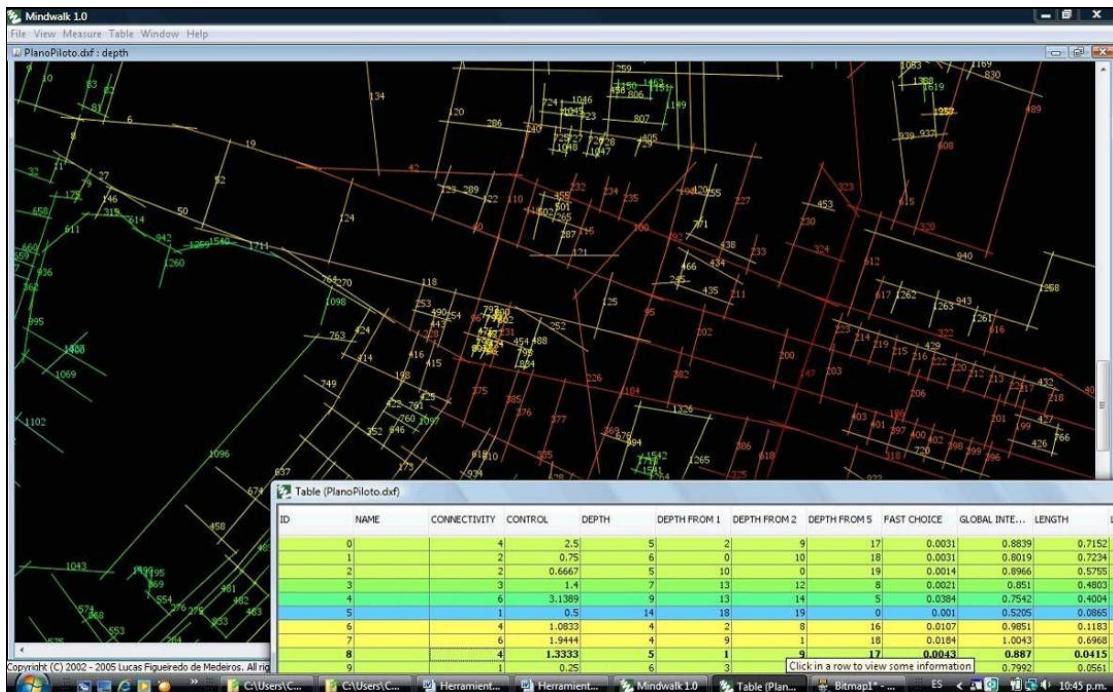


Figura 16.10 – MindWalk analizando el Plano Piloto provisto con el software

Cuando en 2002 se escribió originalmente el programa se lo llamó xSpace; con su nuevo nombre desde 2004, es una herramienta apreciada en el ambiente de la sintaxis espacial con una inflexión de complejidad. No posee capacidades de dibujo vectorial, pero acepta cargar archivos compatibles con la versión AC1009 (R12) del formato DXF. Ha sido adoptado como herramienta de elección en el Taubman College of Architecture and Urban Planning de la Universidad de Michigan, en la Universidad de Brasilia y en la Universidad Federal de Pernambuco en Brasil.

Muchos de los cálculos que ejecuta MindWalk reflejan el impacto de la teoría de grafos y del análisis de redes sociales en el campo de la sintaxis espacial. Lo que aquí se llama

<sup>90</sup> Una polilínea (llamada también cadena, curva o *path* poligonal) es una secuencia de segmentos; en términos estrictos, es una curva especificada por una secuencia de puntos llamados vértices (igual que como se los llama en los grafos) tal que la curva consiste en los segmentos que unen los vértices sucesivos.

conectividad de una línea  $i$  es el número de líneas  $j$  que la intersectan directamente, lo cual equivale al grado de un vértice en grafos o redes:

$$c_i = \sum_{i \neq j} l$$

De la misma manera, el control es una medida que representa el grado en que una línea  $i$  controla el acceso desde y hacia las líneas  $j$  directamente conectadas a ella:

$$ctrl_i = \sum_{i \neq j} \frac{l}{c_j}$$

Siguiendo a Hillier y Hanson, la integración es una medida de excentricidad, accesibilidad o centralidad. Mide la accesibilidad topológica de una línea desde la totalidad del sistema. Vale la pena repasar estos conceptos en otra notación y en otro contexto: en MindWalk la profundidad media ( $MD_i$ ) es la profundidad media de todas las líneas  $j$  para un sistema de  $k$  espacios:

$$MD_i = \frac{\sum_{i \neq j} d_{ij}}{k-1}$$

$RA_i$  es la asimetría relativa de una línea, la cual debe recordarse que varía de 1 a 0, tal que las líneas “integradas” están próximas a cero y las “segregadas” a uno:

$$RA_i = \frac{2(MD_i - 1)}{k - 2}$$

$RRA_i$  es la asimetría real relativa, que equivale a  $RA$  normalizada por el número de líneas del sistema utilizando un valor “en forma de diamante” (Krüger 1989) que puede encontrarse finamente descripto en la referencia bibliográfica indicada. Esta normalización permite la comparación entre mapas de distintos tamaños:

$$RRA_i = \frac{RA_i}{D_k}$$

$$D_k = \frac{2[k(n-1)+1]}{(k-1)(k-2)}$$

$$n = \log_2\left(\frac{k+2}{3}\right)$$

Finalmente, la integración global es la inversa de RRA; permite correlaciones positivas con otras variables:

$$I_i = \frac{1}{RRA_i}$$

En cuanto a la integración local para una línea  $i$  determinada, ella se puede calcular también para un subconjunto de  $k'$  líneas que tienen respecto de la línea dada una profundidad menor o igual a un “radio”  $r$  determinado. Debe tenerse en cuenta que los valores para  $k'$  y  $D_{k'}$  pueden ser distintos para cada línea en el sistema. Es habitual que estos cál-

culos de integración se realicen en base a un radio de 3. Sin embargo, se pueden escoger también otros valores, permitiendo estudiar la accesibilidad del sistema a diversas escalas.

El usuario puede derivar otras medidas avanzadas, tales como inteligibilidad (correlación entre inteligibilidad e integración, o integración global) y sinergía (correlación entre integración global y local); pero dado que el programa en su versión actual no incluye esas funciones, que considero sumamente útiles, se deben utilizar programas externos, tales como planillas de cálculo.<sup>91</sup> En los últimos meses, por desdicha, MindWalk no se encuentra en los sitios de la Web en los que se lo podía encontrar tiempo atrás.

## Syntax2D

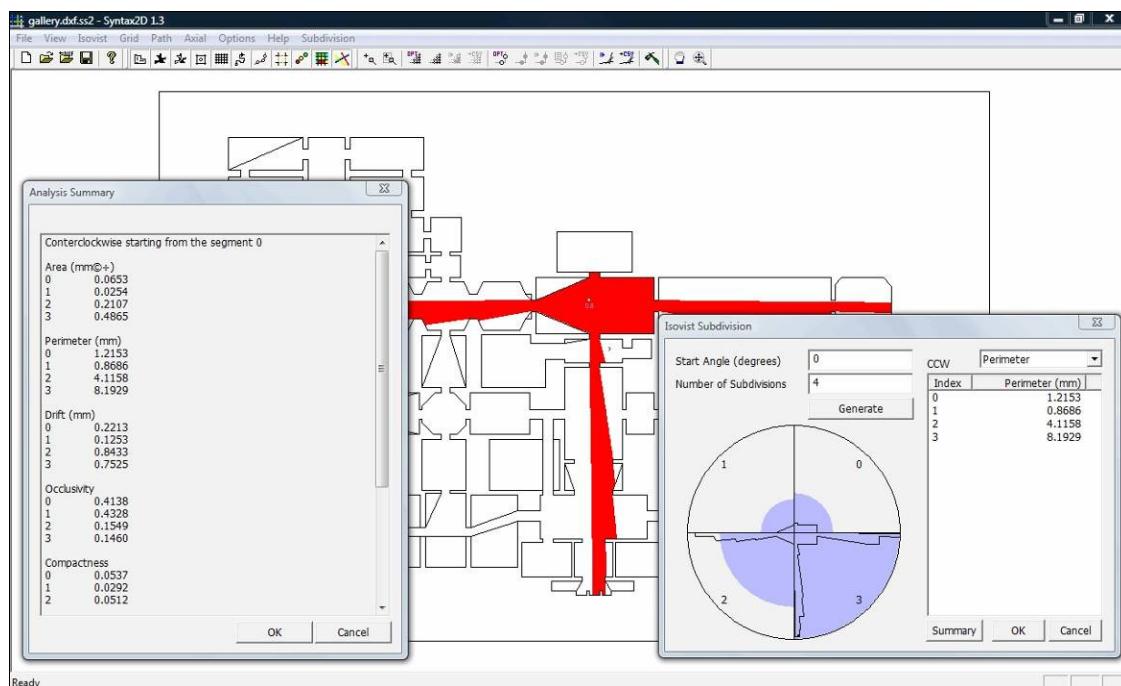


Figura 16.11 – Syntax2D en el análisis de una galería; la región roja corresponde a una isovista

Syntax2D es un paquete de software de código abierto para análisis espacial urbano y arquitectónico desarrollado por Yongha Hwang, Sungsoon Cho y otros en el ya mencionado Taubman College of Architecture and Urban Planning de la Universidad de Michigan.<sup>92</sup> Incorpora isovista, análisis de grilla y análisis axial. Aunque su prestaciones son diversas, se lo utiliza primordialmente para conteo de puntos y *path analysis*, cuya implementación es de particular excelencia; proporciona por empezar doce medidas diferentes de *path analysis* contra sólo dos del discontinuado OmniVista. El aparato estadístico del programa es deslumbrante, e incluye tanto todos los cálculos canónicos del software de

<sup>91</sup> No es posible explicar aquí el significado de operaciones estadísticas básicas (tales como la correlación) y sus significados conceptuales. El lector sin experiencia en el tema puede ganar acceso a esos elementos de juicio a través de lecturas orientadas en ese sentido. El lugar para empezar con estas lecturas es, creo, la colosal *Encyclopedia of statistics in behavioral sciences* (Everitt y Howell 2005).

<sup>92</sup> <http://sourceforge.net/projects/syntax2d/>. Visitado en junio de 2009.

GIS como algunos aportes algorítmicos originales. El formato de entrada es .DXF 2000 en versión AutoCAD, un formato bastante más anticuado que el actual ISO-IEC29500-2:2008.

Entre los análisis axiales disponibles en el programa se encuentran cuantificaciones de longitud, conectividad, profundidad media, control, controlabilidad, asimetría relativa, asimetría real, control promedio de vecindad y conectividad global. Las propiedades geométricas y topológicas de la grilla espacial son todavía más abundantes: perímetro, superficie, oclusividad, compacidad, circularidad, complejidad (variancia radial), elogación y autocorrelación, así como funciones definidas por el investigador.

### UCL Depthmap

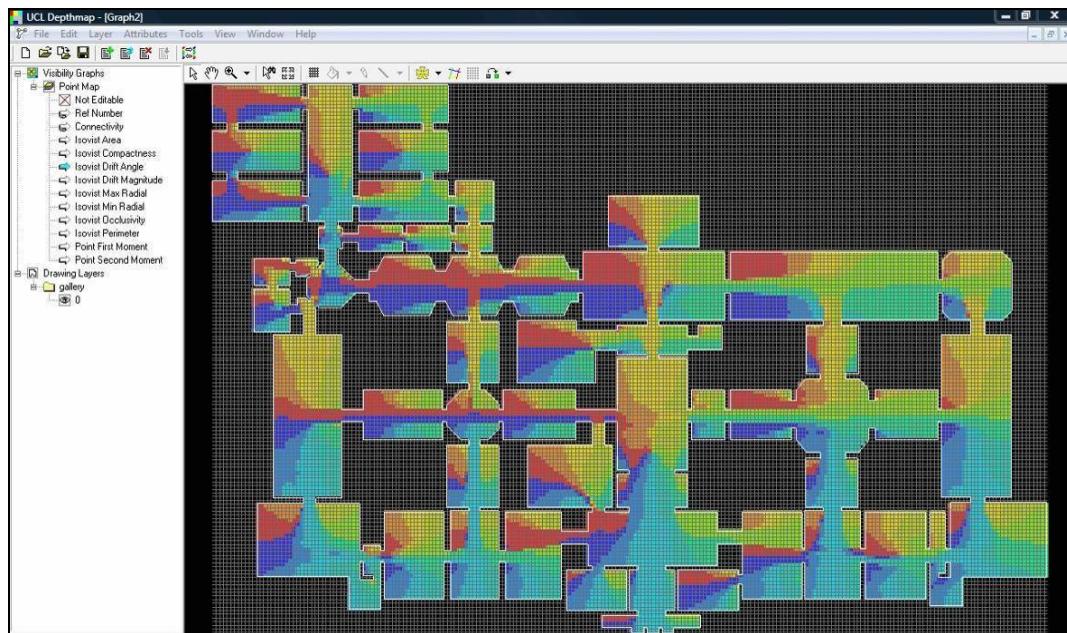


Figura 16.12 – UCL DepthMap ejecutando análisis de ángulo de deriva de isovista

UCL DepthMap, de Alasdair Turner, es una de las herramientas más elaboradas para toda clase de análisis de sintaxis espacial.<sup>93</sup> El propósito del programa es ayudar a comprender los procesos sociales en el interior del ambiente construido a diversas escalas, desde los simples edificios hasta los asentamientos pequeños y luego las ciudades y regiones. En todas las escalas es posible construir mapas de los elementos conectándolos mediante alguna relación (intervisibilidad, superposición) para luego realizar el análisis de grafo de la red resultante, derivando variables que podrían tener significación social, cultural, cognitiva o experiencial.

El programa incluye análisis de isovista con una vasta provisión de mediciones: área, compacidad, superficie y magnitud de deriva, radial máximo y mínimo, oclusividad y perímetro; lo mismo se aplica al análisis axial, pues los módulos brindan datos de conectivi-

---

<sup>93</sup> Véase <http://www.vr.ucl.ac.uk/depthmap/>. Visitado en enero de 2011.

dad, entropía, profundidad armónica media, integración, longitud, número de nodos, profundidad de paso y entropía relativa.

También es posible generar automáticamente un mapa axial a partir de un mapa de asentamiento, reduciendo luego el número de líneas al mínimo adecuado. En cuanto al mapa convexo, se lo puede trazar a mano con ricas herramientas de edición a partir de los planos de planta para luego analizarlo en términos de grafo (*betweenness*, AR, ARR), medidas de integración de Hillier-Hanson, etcétera. Todos los datos de salida se pueden someter a cálculos estadísticos (máximo, mínimo, desviación estándar, conteo, promedio) o exportar a diversos formatos para ese efecto; también son tratables estadísticamente las relaciones entre diversos mapas.

Una de las prestaciones más ingeniosas consiste en la posibilidad de soltar dentro de un ambiente un número arbitrario de agentes que simulan ser peatones; cada peatón puede tomar información relativa a visibilidad a partir del grafo correspondiente y articular en base a ella sus decisiones de movimiento. Se puede llevar la cuenta del número de agentes que pasa por un determinado lugar y hacer cálculo de *throughput* en escenarios de uso normal, para medir preferencias ambulatorias o estimar su comportamiento ante la eventualidad de una evacuación.

La capacidad analítica es extensible mediante *scripting* en lenguaje Python o a través de un Software Development Kit (SDK) que permite expandir la funcionalidad indefinidamente. Los formatos de archivos de entrada admitidos son DXF, NTF de Ordnance Survey o mapas US Tiger Line o formatos MIF/MID de MapInfo. Los formatos exportables son MIF/MID o modo texto para tratamiento en programas estadísticos, planillas de cálculo o software especializado. Los mapas se exportan en formato vectorial EPS o como mapas de bits. Acaso la prestación más importante del programa es el trazado automático de las líneas axiales, con lo cual acaba de un plumazo con una larga y tediosa discusión sobre la naturaleza oscura y la decidibilidad de esta operación (Ratti 2004a; 2004b).

## JASS

Es un programa de análisis justificado de sistemas espaciales desarrollado por Lena Bergsten, Tommy Färnqvist, Patrik Georgii-Hemming, Per Grandien, Christer Olofsson, Mikael Silfver, Erik Sjöstedt, Fredrik Stavfors y Marko Tokic de la Escuela de Arquitectura KTH y NADA de Estocolmo, Suecia. Aunque sencillo, resulta muy práctico para aprender los rudimentos del análisis de grafos justificados, simplemente definiendo los nodos y las aristas sobre una imagen de fondo, seleccionando el espacio raíz y mandando a ejecutar el cálculo. Éste brinda un puñado de datos numéricos básicos: conectividad, valor de control, profundidad, profundidad media, profundidad total, asimetría relativa y asimetría relativa real. Tanto la ventana de edición como las imágenes del grafo (que se genera automáticamente) se pueden exportar a formatos de *bitmap* o como dibujos de vectores. Aun en su simplicidad los servicios de diagnóstico del sistema (que no hacen más que instrumentar los algoritmos genéricos de SE) han demostrado ser robustos: los tres espacios con mayor valor de control de la figura 16.3, sin ir más lejos, coinciden circunstan-

cialmente con los puntos en que en la vida real se instalaron, con buen criterio, los agentes de vigilancia del museo tratado en el ejemplo.

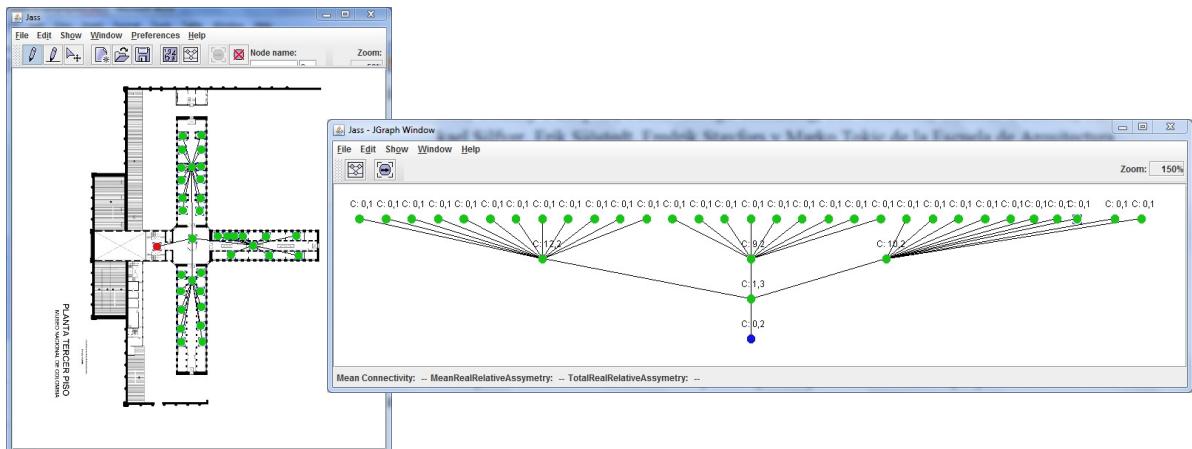


Figura 16.13 – Análisis de grafos justificados en JASS – Ventana principal y grafo correspondiente. Diseño y análisis del Museo Nacional de Colombia por gentileza de Norma Pérez Reynoso

## 16.4 – Redes, cognición y espacio construido: Conclusiones y perspectivas

Aunque los modelos de sintaxis espacial que he presentado hasta aquí pueden usarse con relativa confianza, los argumentos transdisciplinarios de Hillier y Hanson pueden sonar un poco ingenuos desde el punto de vista sociológico y antropológico. Ellos conceden demasiada confianza a una proyección analógica entre el orden de la configuración física y el orden social que remite a ideas de Émile Durkheim [1858-1917] que hoy se estiman superadas y que es muy difícil sostener epistemológicamente y filosóficamente después de la devastadora arremetida de Nelson Goodman (1972) contra las concepciones simplistas de diferencia y semejanza. Como el foucaultiano Thomas A. Markus (1993) lo demostró cuando marcó sus distancias, se puede no obstante conservar lo esencial del método sintáctico como artefacto ordenador y comparativo sin comprometerse con sus elaboraciones socio o antropológicas; así es como se utiliza desde hace veinte años, de hecho, en arqueología. A fin de cuentas, no es necesario respaldar a Chomsky en sus argumentos sobre las gramáticas innatas para hacer uso legítimo de (digamos) las técnicas recursivas o la idea de transformación. Una vez más es Hillier quien se refiere dramáticamente al caso de la antropología y la arqueología:<sup>94</sup>

El siglo veinte acumuló un sinfín de potentes hallazgos que apuntaban a una relación poderosa y sistemática entre la sociedad y el espacio, pero ella nunca se formalizó en un modelo teórico. Por ejemplo, la asignación por parte de Durkheim (1915) de las fuentes del cambio de la solidaridad mecánica a la solidaridad orgánica a lo que él llamaba “densidad moral”, la conclusión de [Elman] Service (1962) respecto de que en Australia la mayor dispersión se asociaba con conductas más tendientes a la sodalidad y viceversa, la comparación de [Victor] Turner (1957) de los diferentes patrones de asentamiento de los Talense y los Ndembu, para nombrar sólo unos pocos. A fines del siglo XX un conjunto sustancial

<sup>94</sup> A fin de no engrosar un volumen que ya está en el límite de lo aceptable, he optado por no agregar las referencias siguientes en la bibliografía por más que las haya frecuentado en su momento.

de trabajos vinculaban los procesos espaciales y los sociales; tenemos ahí obras de autores como [John] Bintliff (1999) sobre las escalas de asentamiento y la morfología social, [Kristian] Kristiansen y [Michael] Rowlands (1998) sobre patrones de asentamiento y estructuras sociales, [Dominic] Perring sobre los cambios sociales y espaciales en los pueblos romanos (y de otros en la notable obra de Rich y Wallace-Hadrill [1991]), [Charles] Maisels (1999) sobre el cambio espacial y social en los cuatro principales sitios urbanos tempranos y muchos otros. Mientras que en la mayor parte de las disciplinas se ha hablado infinitamente sobre espacio pero sin prestar atención al espacio real de edificios y ciudades, la arqueología se ha comprometido con él de una manera continua, aunque sin llamarlo nunca espacio. Si hay un corpus de trabajo esperando por una teoría espacial seguramente es éste (Hillier 2009: 042.7).

Hay aquí para la antropología en general y para la antropología urbana en particular una estimulante y bien definida oportunidad de intervención. El potencial comparativo de la herramienta es formidable. Una convincente instancia de ella se puede corroborar en la brillante ponencia de Umut y Zeynep Toker (2003) sobre la estructura familiar y la configuración espacial en las viviendas domésticas turcas desde fines del siglo XIX hasta fines del siglo siguiente. El estudio (que debería ser mucho mejor conocido) examina las transformaciones de los planos de los apartamentos en relación con cambios conocidos en la composición de la familia, el status de la mujer, la sustitución de la familia extensa por la familiar nuclear, la secularización y los roles de género. El ensayo demuestra que la posibilidad de medir variables para las que el lenguaje natural carece de parámetros evaluativos permite formular y eventualmente resolver problemas significativos de la historia y la cultura que de otro modo quizás se habrían pasado por alto. Este trabajo no es único; aparte de la ejemplar historia morfológica de İstanbul de Ayşe Sema Kubat (1999), está en vías de consolidarse una rama emergente del análisis sintáctico que no sólo trata casos de lo que hasta hace poco pasaba por ser la periferia del mundo, sino que aborda de lleno cuestiones que hacen a la cultura, las sociedades, las identidades y la diversidad (Ferati 2009; Hillier 2009; Mazouz y Benshain 2009).

Pero quizás más importantes que eso son los aspectos cognitivos involucrados en las teorías y los métodos recientes de la SE. Dice Hillier en su ensayo “*Studying cities to learn about minds*”:

Afirmo aquí que todas las ciudades, tanto las orgánicas como las geométricas, están pervisivamente ordenadas por la intuición geométrica, de modo que ni las formas de las ciudades ni su funcionamiento pueden entenderse sin comprender sus formas geométricas emergentes distintivas. La ciudad es, como se dice a menudo que es, la creación de procesos económicos y sociales; pero (argumento) estos procesos operan dentro de un envolvente de posibilidades geométricas definidas por las mentes humanas en su interacción con las leyes espaciales que gobiernan la relación entre los objetos y los espacios en el mundo ambiente (Hillier 2007a: 5).

La dimensión cognitiva de la SE se funda, en realidad, sobre un aspecto de su programa que al principio no mereció demasiada atención pero que en los últimos cinco o seis años comenzó a acaparar los titulares. Ese aspecto no es otro que el de una robusta correlación entre la configuración espacial y el movimiento observable tanto de peatones como de vehículos. Como bien ha señalado Alan Penn (2003: 31) este grado de correlación es sor-

prendente porque el análisis no parecía incorporar inicialmente muchos de los factores que se consideraron críticos en los intentos previos por modelar los patrones de movimiento humano en el ambiente construido.

De hecho, el análisis sintáctico incorporaba solamente unos pocos aspectos de la geometría del ambiente, sin hacer mención a las motivaciones o intenciones del sujeto ya fuese explícitamente a través del uso de información de origen-a-destino o implícitamente por inclusión de parámetros sustitutos como uso de la tierra, densidad de desarrollo, propiedades métricas, etcétera. Incluso las descripciones geométricas eran sumamente parsimoniosas, como si se excluyeran más parámetros de lo conveniente; no se tenían en cuenta siquiera las propiedades geométricas del espacio: era un análisis des-geometrizado, *shape-free*, independiente de la forma (Hillier 1989: 7). El análisis que a la fecha manifiesta la más alta correlación reduce a un mínimo el efecto de la distancia métrica y enfatiza el número promedio de cambios de dirección encontrado en los caminos, pero no en pos de direcciones específicas sino en todas las direcciones posibles. Esto parecía eliminar un factor clave en muchas de las estrategias de modelado basadas en elección racional, en las que el principal “costo” asociado con los viajes (y que se suponía que el individuo racional típico tendía a minimizar) era usualmente el tiempo de viaje expresado en términos de distancia métrica.

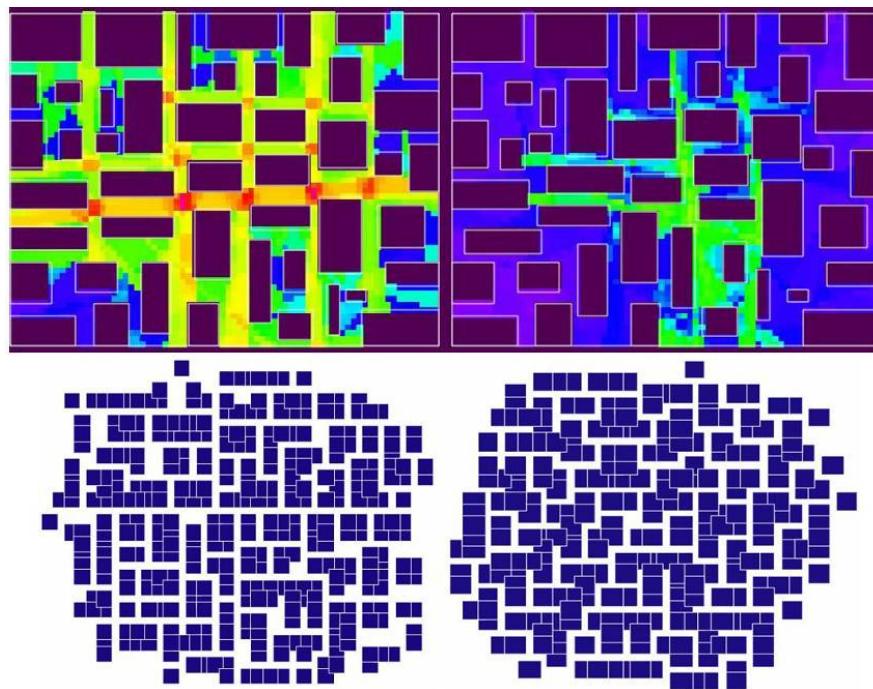


Figura 16.14 – Integración visual e inteligibilidad (Hillier 2007b)

Hay otros aspectos paradójicos en la forma en que la SE llegó al plano de lo social y lo cognitivo. Las mediciones sintácticas que mejor correlacionan con las conductas de movilidad observadas no son egocéntricas sino alocéntricas. En tanto teoría social, la SE clásica tendía a observar de qué manera los individuos resultan constituidos por todos los demás individuos de un grupo o sociedad. Por tal razón terminó asumiendo una instancia

objetiva antes que subjetiva (Penn 2003: 36). No es que no haya espacio para el sujeto individual en el marco de la SE; es sólo que ese espacio apenas se está comenzando a elaborar.

Los trabajos de los últimos pocos años están explorando las concomitancias emergentes entre las categorías de la sintaxis espacial y principios cognitivos y perceptuales básicos. La hilera superior de la figura 16.14, por ejemplo, muestra el efecto de cambiar apenas ligeramente la disposición de los elementos que conforman una trama de calles y manzanas. La configuración de la izquierda posee trazos lineales más largos o relaciones lineales fuertes; en el patrón de la derecha, con sus relaciones lineales débiles, los viajes resultan en promedio algo más largos. Pero el mayor efecto surge cuando se contrastan sus distancias visuales. Los colores de las calles representan la integración visual, creciente desde el azul al rojo. La imagen de la derecha ha perdido claramente estructura y grado de intervisibilidad; aunque los cambios son minúsculos, ya no se percibe como una ciudad caminable sino como un laberinto.<sup>95</sup>

Se puede poner a prueba el efecto cognitivo de desorientación de esta segunda textura urbana “soltando” un conjunto de agentes en su interior por medio del programa Depth-Map de Alasdair Turner (2007): en la versión a la izquierda (cuya medida de inteligibilidad  $r^2$  es 0,714) los agentes encuentran con facilidad la estructura de integración visual; en la de la derecha ( $r^2=0,267$ ) quedan atrapados indefinidamente en los pasillos más espaciosos. En este contexto –cabe recordar– la inteligibilidad se define como la correlación entre conectividad e integración en el sistema (Hillier 2007a).

Tanto las investigaciones de campo (Hillier, Hanson y Peponis 1987) como los estudios experimentales (Conroy-Dalton 2001; Saif-ul Haq 2001; Kim y Penn 2004; Brösamle y Hölscher 2007) sugieren, en efecto, que la inteligibilidad de las estructuras espaciales depende mayormente de su linealidad. Cuando ésta disminuye, la eficiencia de la capacidad para encontrar caminos decae de una manera abrupta. En cuanto a la hilera inferior de la figura 16.14, vemos que el caso de la izquierda (un patrón urbano inteligible) posee un pequeño número de calles muy largas y un número grande de calles cortas, en contraste con el de la derecha, en el que la distribución de las longitudes es decididamente aleatoria. Una vez más, se pone en evidencia que las distribuciones urbanas que permiten movimientos más eficientes son aquellas cuyos grafos exhiben una ley de potencia y por ende la propiedad de mundos pequeños (Hillier 2002; Carvalho y Penn 2004; Rosvall y otros 2005; Figueiredo y Amorim 2007; ver pág. 250).

Al lado de esos estudios seminales, cada día salen a la luz hallazgos emergentes de la convergencia de la ciencia cognitiva y la sintaxis espacial. Se sabe ahora, por ejemplo, que los humanos poseen conocimiento de rutas egocéntricas pero que sus conocimientos relativos a mapas son alocéntricos (O’Keefe y Nadel 1978); que por debajo de ciertos grados de ángulo las curvas se simplifican kantiamente y se corrigen, concibiéndose co-

---

<sup>95</sup> Apostaría a que en algún punto entre los extremos de este contraste está en juego una transición de fase, cuyo umbral crítico podría expresarse por homología con las transiciones de fase de los grafos aleatorios y con los fenómenos de percolación.

mo rectas, imponiendo a la situación más geometría de la que realmente hay (Allen 1981); que en el proceso de encontrar caminos se procura siempre mantener la linealidad, siguiendo las líneas de mayor visibilidad lineal, admitiendo pausas en ubicaciones configuracionalmente “integradas” que poseen largas líneas de visión y amplias superficies de isovista (Conroy-Dalton 2001); y que todo este procedimiento fenomenológico de amplia validez transcultural puede reinterpretarse como el traspaso desde el grafo justificado topo-geométrico (o su árbol abarcador) hacia el grafo propiamente dicho (Hillier 2007b; Long, Baran y Moore 2007).

**Consecuencia n° 13:** Tenemos aquí, en definitiva, una elaboración que reverdece los principios de *imageability/legibility* del arquitecto Kevin Lynch (1960), imposibles de cuantificar, otorgando también un nuevo sentido a buena parte del estudio antropológico de los mapas cognitivos y de la concepción social del paisaje: una forma de conocimiento que en los cincuenta años precedentes aportó una suma de preciosos conceptos sensibilizadores pero experimentó severas dificultades para pasar de la analogía a la correlación, de la metáfora al modelo (cf. Ucko y Layton 1999; Reynoso 1993).

Por añadidura, los parámetros susceptibles de medición en el aparato de la sintaxis espacial correlacionan de maneras expresivas con valores de preferencia habitacional, predicción de riqueza y pobreza, segregación, criminalidad, conducta antisocial, (percepción de) inseguridad, acceso al mercado laboral, legibilidad ambiental, realización de reuniones juveniles o de tribus urbanas en espacios públicos, marcación de territorialidad, vigilancia, formación de ghettos, multiculturalidad, indicadores de género, etcétera, y permiten en esos y otros campos formular diagnósticos más agudos y allanar el camino a posibilidades de intervención al menos un poco más firmes y mejor fundamentadas (Sahbaz y Hillier 2007; Reis y otros 2007; Awtuch 2009; Carpenter y Peponis 2009; Ferati 2009; Friedrich, Hillier y Chiaradia 2009; Legeby 2009; Monteiro y Puttini Iannicelli 2009; Nes y Nguyẽn 2009; Shu 2009; Zako 2009).

Si bien se han explotado más o menos tímidamente las consecuencias o prerrequisitos cognitivos de las ideas subyacentes a la sintaxis espacial en los últimos cinco años, el salto hacia la neurociencia social cognitiva o hacia la cognición situada, a mi juicio, todavía está por darse. También está faltando que se articule de modo más explícito y sistemático la dimensión transcultural de estas cuestiones, manifiesta tanto en las temáticas que se han venido desarrollando como en el hecho de que por una vez existen escuelas de alto nivel de excelencia que no están radicadas en el primer mundo anglosajón. Hoy por hoy (la bibliografía que he suministrado es elocuente) Turquía, China, Brasil o Italia han aportado mucho más a los métodos sintácticos de lo que lo ha hecho, por ejemplo, Estados Unidos. Existen muy pocos campos en toda la ciencia de tanta complejidad constitutiva y de tan alto grado inherente de transdisciplinariedad. Es momento entonces de comenzar a delinejar ahora mismo unos cuantos objetivos de participación e innovación que ya no es razonable que la antropología siga postergando.

## 17 – Parentesco: De la pérdida del modelo a las nuevas técnicas reticulares

Un puñado de nosotros ... está preparado para chatear a través de esta especie de álgebra del parentesco ... que se ha ido desarrollando, memorizar largas listas de términos nativos, seguir el trámite de complicados diagramas ... meterse en largos argumentos deductivos ... [y] apilar hipótesis sobre hipótesis. El antropólogo promedio, sin embargo [se encuentra] un tanto confundido y quizás un poco hostil ... y tiene sus dudas respecto de si vale realmente la pena el esfuerzo necesario para dominar el álgebra bastarda del parentesco. Siente que, después de todo, el parentesco es una cuestión de carne y de sangre, el resultado de la pasión sexual y el afecto materno, y de ... un montón de intereses íntimos. ¿Puede esto reducirse a fórmulas, símbolos, quizás ecuaciones?

Bronisław Malinowski (1930: 19)

No dejo de sorprenderme por las proezas de gimnasia mental que realizan los antropólogos cuando tratan de presentar definiciones y diferencias universales; la definición de matrimonio que nos da Gough [...] y las diferencias que establece Fortes entre descendencia, afinidad y filiación [...] son dos ejemplos excelentes de este tipo de actividad. Afirmo rotundamente que el valor de la caza de mariposas es efímero y que las categorías que de ella resultan son de poco fiar. [...] Es preciso comprender que la elaboración de categorías clasificadorias no es más que un expediente temporal creado ad hoc. La mayor parte de dichas categorías carecen ya de utilidad mucho antes de que merezcan el honor de ser publicadas.

Edmund Leach (1971: 48)

De la concepción reticular del espacio pasamos ahora a un terreno que debería ser más familiar, pero no por eso encontraremos armonía o consenso. Muy por el contrario. El estudio del parentesco (que de eso se trata) brindó a la disciplina tanto sus títulos de gloria como los incentivos para su mayor descalabro. No hay más remedio entonces que asomarse a los hechos, tomar partido y tratar de redefinir las prácticas una vez más. Las preguntas que primero vienen a la mente en esta coyuntura tendrán que establecer en qué sentido habrá que comprometerse cuando todo cambie, cuáles serán las heurísticas más confiables en las próximas búsquedas, y qué clase de reinversiones habrá necesidad de imaginar.

Aun cuando el mismo Hans-Georg Gadamer recomendaba tolerar el torcimiento de las ideas en el sentido contrario para enderezar lo que merecía enderezarse, no sería prudente que el estudioso piense que ante la gravedad de los hechos cuya crónica nos ocupará en

este capítulo no hay otra salida que inclinar la balanza hasta un extremo sin retorno, ya sea de fundamentalismo formalista o de irracionalismo radical. En caso de crisis (y de eso se trata) siempre existe la opción de cambiar de registro, de régimen, de notación, de lenguaje. La inspiración bien podría venir de otro lado y no ser originaria del dominio antropológico: pensándolo bien, redes sociales aparte ¿cuál de todas las inspiraciones discursivas que hemos explorado se originó verdaderamente en ese lugar?

Tras tantas décadas de un oligopolio discursivo particularista excesivamente apegado a las singularidades de sus asuntos, si se quisiera hacer justicia cabal al objeto de la antropología no estaría de más asomarse (antropológicamente, *le regard éloigné*) al estado del conocimiento en el desarrollo de instrumentos de alcance abstracto o de propósito general; asomarse, en otras palabras, al campo transdisciplinario que llega a nuestras prácticas, casi sin paradas intermedias, desde el mero meollo de la teoría de grafos.

Esto no implica en absoluto contrabandear hacia la antropología una forma de expresión que le es ajena, forzada, artificial. Después de todo, el declamado giro literario impulsado militante por el modelo antropológico interpretativo favoreció una clase restringida de lenguaje que pasa por ser la más natural pero que a veces deviene groseramente inadecuada, como lo ha reconocido con finura, por ejemplo, un Pierre Bourdieu (1982: 35; Bourdieu y Wacquant 2008: 40). El hecho es que al lado del discurso narrativo hay otras clases de códigos, otros modos de comprensión que merecen también ser probados: los modos propios de las teorías de redes, por ejemplo, o los de los algoritmos de la complejidad. Cuando uno se habitúa a su uso, no es infrecuente que el lenguaje natural y las formas naturales de notación que junto a él se dan por sentadas revelen sus lastres, su espesor, sus lagunas, su ajenidad inherente e insospechada a muchos de los propósitos de la investigación científica: cualidades todas que no son inmediatamente perceptibles cuando faltan otras opciones de referencia contra las cuales cotejar.

A título de experimento crítico (y en un enclave desde el cual propondré buscar sistemáticamente formas alternativas de expresión) invito ahora a examinar el caso de lo que ha sido durante un siglo el lenguaje iconológico con el que se ha abordado el objeto que ha sido el más propio de la antropología; una vez pesada la evidencia también invitaré a que se comience a pensar lo que podría lograr esta disciplina (en el terreno de una puesta en crisis de los propios supuestos que es para muchos su razón de ser) si llevara a la práctica con mayor consistencia, reflexividad y espíritu sistemático esta clase de autoexamen.

•••

Es bien sabido que el estudio del parentesco en antropología tal como fue tan sólo una generación atrás ha dejado de ser lo que era. Hace tiempo que ya no es el enclave privilegiado de los debates teóricos de la disciplina, el asiento de una problemática al menos tan compleja como la de las ciencias duras o el paradigma de una notación simbólica recursiva que no pocos maestros legendarios del álgebra contemplaron con respeto. Sometido a fuego crítico a mediados de la década de 1960 desde dos o tres puntos de ataque, su derribo fuera de toda proporción, junto con la paulatina merma de las habilidades compa-

rativas, ha convertido a la antropología en una disciplina organizada en torno de un perfil muy distinto del que prevalecía (digamos) apenas unos cuarenta años atrás.

No viene al caso referir todas las razones que se han dado para la impugnación del parentesco, el linaje y sus adyacencias, ni los diagnósticos sombríos sobre el estado del problema, ni los contrastes que median entre la práctica norteamericana y la europea (la cual asegura que resiste pero se ve que languidece), ni las formalizaciones que han venido al rescate pero que no se atienen al paradigma reticular. La bibliografía que documenta la catástrofe es masiva y sólo puedo hacer constar aquí las referencias más imperiosas, algunas con títulos de apocalipsis tan expresivos que da cierta lástima no poder seguir paso a paso el laberinto de sus alegatos: “*whatever happened to kinship studies?*”, “*what really happened to kinship and kinship studies*”, “*critique of kinship*”, “*critique de la parenté*”, “*after kinship*”, “*beyond kinship*”, “*the fall of kinship*”, “*nails in the coffin of kinship*”, “*lineage reconsidered*”, “*where have all the lineages gone?*”, “*critique of kinship*”, “*the deconstruction of kinship*”, “*what were kinship studies?*”, “*there never has been such a thing as a kin-based society*” y así hasta el éxtasis (Holy 1979; Verdon 1982; 1983; Geffray 1990; Shimizu 1991; White y Jorion 1992; González Echevarría 1994; Peletz 1995; Barry 2000; Collard 2000; Joyce y Gillespie 2000; Fogelson 2001; Lamphere 2001; Ottenheimer 2001; Kuper 1982; 2003; Sousa 2003; Carsten 2004; Dousset 2007; Zenz 2009). En el otro extremo, las compilaciones de tono optimista tituladas poco más o menos *Nuevas estrategias en el estudio del parentesco*, celebratorias de los enésimos *revivals* del tema, también han devenido un género recurrente (Stone 2000; Franklin y McKinnon 2000; 2002; Olavarría 2002; Carsten 2008; Déchaux 2008; Quinlan y Hagen 2008).

Así como algunas etnografías tautogóricas argentinas estaban ilustradas con dibujos de aborígenes de la época colonial porque en los setentas ya no se conseguían indios desnudos, cuando Per Hage estudió las estructuras de parentesco en Oceanía para reformularlas en base a la teoría de grafos debió basarse en las contribuciones tempranas de la antropología, pues las investigaciones recientes lisa y llanamente no existían. Hage nos refiere la breve historia de los estudios de parentesco escrita por George Peter Murdock (1968), en la que éste comenzaba su relato nombrando al Fundador (Morgan), seguido de los Gigantes Tempranos (Kroeber, Rivers, Radcliffe-Brown, Lowie), los Maestros Posteriores (Firth, Fortes, Eggan, Lévi-Strauss) y por último los Innovadores Modernos (Goodenough, Lounsbury, Romney, D'Andrade). En una dramática nota al pie, Hage sugiere que “la cuarta etapa es también el comienzo de una declinación, gracias a la cual [citando a Murdock] ‘ciertos auto-denominados “antropólogos sociales” ya no reportan términos de parentesco en sus monografías o lo hacen con desgano o de manera incompleta, una tendencia que habría mortificado profundamente a los Maestros Tempranos y a los Maestros Posteriores’”. Y culmina Hage: “Uno se pregunta cómo habría caracterizado Murdock al período presente, en el que se niega tanto la realidad como la variedad de los sistemas de parentesco: ¿lo llamaría el de los Enanos Tardíos, acaso?” (Hage 1996; Jenkins 2008: 8).

Marshall Sahlins despliega una idea parecida a propósito del mismo escenario; en una conferencia honorífica, una de esas charlas patriarcales en las que se espera que uno se

exprese mediante aforismos levemente sarcásticos, Sahlins se pregunta en torno del simbolismo cultural de Leslie White: “¿Cómo podría un simio ser capaz de aplicar, no digamos ya desarrollar, una regla de casamiento que proscribe a los primos paralelos y prescribe uniones con primos cruzados clasificatorios?”. Y agrega, entre paréntesis: “Con toda honestidad, los actuales estudiantes de grado en antropología tampoco serían capaces” (Sahlins 1999: 400). Con más honestidad todavía (diría yo entre otros paréntesis) tampoco me consta que Sahlins haya promovido el estudio del parentesco en los buenos viejos tiempos o cuando se estaban librando las batallas decisivas. En sus quejas contra la *afterology* de posmodernos, posestructuralistas y posantropólogos, Sahlins parece olvidar que fue precisamente él, desde los días de *Cultura y Razón Práctica* (1988 [1976]: 79, 104n, 150, 166-167, 178n), quien ayudó a legitimar primero que nadie la carrera de Jean Baudrillard en América y quien aplaudió con entusiasmo su intento de deconstrucción no ya del estudio del parentesco sino de la antropología “burguesa” en su conjunto, la cual abarcaba la totalidad de la disciplina (Baudrillard 1980: 75).

Un respaldo más cristalino tienen a mi juicio las opiniones del especialista en redes John Barnes, el fundador de la idea de redes sociales en antropología, a propósito de la decadencia de los estudios de parentesco:

En el período que siguió inmediatamente al fin de la segunda guerra mundial [...] el parentesco se percibía como uno de los aspectos de la conducta humana en el cual el *expertise* de la antropología estaba a salvo de todo desafío, como algo que permanecería disponible para su estudio incluso en un mundo totalmente industrializado. En la división convencional de los temas de la antropología social, el parentesco se reconocía como uno de los constituyentes de su *quadrivium*, junto con la política, la economía y la religión. [...] En los treinta años transcurridos es mucho lo que ha cambiado. El parentesco ya no ocupa un lugar tan prominente en los estudios antropológicos. [...] A medida que los antropólogos profesionales comenzaron a prestar atención a las sociedades industriales, el supuesto de la primacía *de facto*, si es que no también *de jure*, del parentesco como un principio organizador devino cada vez más difícil de sostener (Barnes 1980: 293, 294, 296).

Viniendo de quien viene, el diagnóstico de Barnes sobre las técnicas de la analítica del parentesco presenta un interés especial. Barnes alega (y sospecho que al decirlo está pensando en modelos de extremo formalismo, como los de Paul Ballonoff o William Geoghegan) que fuera de ciertas altas matemáticas, el estudio antropológico del parentesco permanece opaco a la lectura transdisciplinaria y se ha enrarecido de manera obscura:

Hemos desarrollado un lenguaje técnico y un cuerpo de literatura [...] incomprendible para otros científicos sociales, a menudo para otros antropólogos, así como para el público en general. En sociología no se puede encontrar nada parecido. [...] Una de las diferencias más desconcertantes entre la sociología y la antropología, [...] es que mientras el parentesco se presenta tradicionalmente como la rama más dura y más árida de la antropología, el análogo más próximo en sociología, la sociología de la familia, se considera a menudo una opción *soft*, caracterizada [...] por un vínculo demasiado próximo a la teoría de bajo nivel y a la práctica circunstancial. [...] El análisis formal de las terminologías de parentesco y de las genealogías es uno de los muchos campos en las ciencias sociales en los que la creciente sofisticación de las técnicas ha llevado a sus practicantes a interesarse más en las técnicas mismas que en el mundo real para cuya elucidación se las diseñó. [...] Puede

que sólo en este ambiente intelectual enclaustrado sea posible elaborar estas técnicas sofisticadas de análisis. Pero una vez desarrolladas, no hay razón para que se las use sólo para construir acertijos intelectuales y para inventar juegos matemáticos (Barnes 1980: 297, 301).

Si se pretende comprender al menos el aspecto técnico de la cuestión, lo que se impone es indagar la notación genealógica, la analítica que le está asociada y la semántica que la fundamenta. ¿Qué pasa con ellas? En una época nadie sabía modelar el parentesco con tanta solvencia como un antropólogo; hoy esa virtud pasa por otras coordenadas disciplinares y por otras nomenclaturas: no se habla ya de parentesco sino de familia, y género significa algo distinto de lo que acostumbraba denotar. A nadie se le cruza por la cabeza ahora que los géneros disponibles sean solamente dos, y menos todavía hablar del “hombre” para referirse a lo humano. Mientras en Francia *L'Homme* conserva inexplicablemente su marca de fábrica, hasta la publicación periódica antes conocida como *Man* ha cambiado de título, restituyendo su rúbrica no menos anacrónica de *Journal of the Royal Anthropological Institute*.

De golpe se descubre que en el análisis parental mismo hay algo más que un toque de sexismo, de homofobia, de etnocentrismo, de escamoteo de lo irregular, de biologismo positivista, de sesgo colonial y de incorrección política. Pero en lugar de aprovechar el refinamiento de la perspectiva para desfacer entuertos y redefinir las técnicas, se prefirió más bien hacer abandono del terreno. Cuando esto pasaba era la época de apogeo del deconstructivismo posmoderno, de las heurísticas negativas y del descrédito de los metarrelatos legitimantes, y a nadie la pareció prioritario ni viable la redención o la puesta en valor de ese patrimonio del saber en particular.

El resultado fue previsible. A caballo de un aluvión de críticas de alta redundancia y méritos desparejos, y como en una súbita transición de fase, la analítica del parentesco terminó desapareciendo de la currícula en casi todo el mundo, igual que las metodologías comparativas o, en algunas latitudes, que el propio concepto antropológico de cultura. Otras disciplinas establecidas o prácticas nómadas ocuparon según el caso los nichos vacantes: la genealogía, la matrimonología, los estudios de la familia extradisciplinarios, la sociología de la familia, incluyendo esta última, a título de innovación, métodos etnográficos de investigación familiar (Anderson 1971; De Vos y Palloni 1989; Gottman y otros 2002; Ponzetti 2003).<sup>96</sup> En el campo del trabajo social, los estudiosos de espíritu más sistemático incluso reinventaron formas diagramáticas de representar relaciones intra e interfamiliares, conocidas como ecogramas y genogramas, vinculadas a los sociogramas y a los diagramas sistémicos de Forrester respectivamente pero sin mención de la diagramación antropológica (Scales y Blanchard 2003; Stanberry 2003). Consultorías y agencias (algunas de ellas disponibles en línea) encontraron el modo de lucrar ofreciendo el análisis familiar

---

<sup>96</sup> Hay además un nutrido almacén de publicaciones periódicas de sociología de la familia o de sus formas de divulgación, incluyendo *International Journal of Sociology of the Family*, *Journal of Family History*, *The Family Journal*, *The Journal of Family Practice*, *The Internet Journal of Family Practice*, *The Open Family Studies Journal*, *Journal of Family Issues*, *Journal of Family Planning and Reproductive Health Care*, *Journal of Comparative Family Studies* y el decano *Journal of Marriage and Family*.

como *commodity* en un campo en el que los antropólogos se consagraban sólo a escribir, gratis, para que otros antropólogos los refutaran. La analítica antropológica sólo permaneció viva, además, en aquellas periferias en las que no se alcanzó a reflexionar sobre las transformaciones sufridas por la disciplina en el último tercio de siglo al compás de la descolonización, el poscolonialismo, el multiculturalismo y los estudios de áreas (cf. Reynoso 2000). Salvo en algunos enclaves que nos ocuparán más tarde, aun allí sólo subsistió en plan de conservación nostálgica de saberes añejos, lejos de toda aventura de búsqueda de nuevas posibilidades conceptuales o tecnológicas.

Cuando las viejas artesanías desaparecieron del horizonte ninguna capacidad técnicamente equiparable ocupó su lugar. Lo lamentable es que las habilidades analíticas y comparativas se perdieron en un mal momento, justo cuando en casi todas las sociedades se manifiestan nuevas formas familiares y nuevas tecnologías de la procreación, y ante demandas técnicas, forenses e identitarias inéditas todo el mundo comienza a preguntarse dónde se puede conseguir un antropólogo a la antigua usanza que sea capaz de penetrar sistemáticamente en el asunto y operar un diagnóstico con un mínimo de profesionalismo.

Otra oportunidad desperdiciada, otro antipatrón, si cabe. Pero, perdida la inocencia, la solución no es tampoco volver a fojas cero. Aún cuando los antropólogos recuperen las solvencias olvidadas no podrían reocupar su sitio, pues hoy se conoce, a la luz de lo que nos han enseñado las redes y los grafos, que las técnicas genealógicas tradicionales que los antropólogos desplegaban sin preguntarse siquiera de dónde venían, carecían de rigor, de precisión descriptiva, de agudeza diagnóstica, aún en términos de pura antropología convencional; dejaban además el parentesco por completo separado del resto de las relaciones sociales, de la economía, de la política, de los procesos de cambio. A pesar de toda su pretensión de estado de arte eran un lastre victoriano, técnica, estética e ideológicamente. Eso ya se sabe, se sabe irreversible y lo sabe demasiada gente.

Es curioso, pero ni la crítica simbólica de David Schneider (1984) ni el enjuiciamiento de superior temple epistemológico de su “archi-antagonista” Rodney Needham (1971; 1974) habían cuestionado la herramienta de representación visual. Las impugnaciones eran de otro orden y ponían en cuestión la categoría misma de parentesco como fenómeno cultural o como objeto de estudio, y no tanto a los instrumentos circunstanciales con que se organizaban gráfica o matricialmente los datos de familia, genealogía o lo que fuese. Arremetiendo contra los intentos de síntesis de esa teoría que por la época intentaban autores como Floyd Lounsbury, Meyer Fortes, Ira Buchler y Claude Lévi-Strauss, Needham se sitúa como miembro de una gran tradición que incluye a Wake, Lang, Hocart, Kroeber, Durkheim y Leach (1971), cuyo proyecto de “repensar la antropología” toma al pie de la letra. Pero antes de hablar de Needham es necesario dar un rodeo.

Del otro lado del océano, el fundador de la antropología simbólica norteamericana, David Schneider [1918-1995] también llegó a defenestrar por completo el estudio del parentesco. Sus avances más radicales en ese sentido están plasmados en el clásico *American kinship: A cultural account* (1964) que con los años derivó en el manifiesto *A critique of the study of kinship* (1994). Pero vale la pena examinar cómo fue que la actitud deconstrucciónista de Schneider a propósito del parentesco se fue gestando poco a poco, tras haber

analizado el parentesco con la misma diligencia que cualquier otro antropólogo en sus trabajos de campo de 1947 y 1948 en los atolones de Yap. La primera publicación de Schneider sobre el parentesco (Schneider y Homans 1955) comienza poniendo en tela de juicio la distinción convencional entre términos vocativos y términos de referencia y señalando la inmensa variedad de términos comúnmente aplicados a parientes [*relatives*], muchos de ellos fuera del ámbito que los antropólogos reconocerían como parentesco propiamente dicho. La conclusión es que el parentesco es un asunto mucho más problemático de lo que se ha reconocido generalmente.<sup>97</sup>

Exactamente el mismo año Homans y Schneider (1955) (ahora en otro orden de precedencia) publican su libro *Marriage, authority and final causes*, donde se daría el puntapié inicial a una polémica sorda que involucró a antropólogos prestigiosos de todo el mundo. En ese libro Homans y Schneider cuestionan la explicación de Lévi-Strauss sobre el predominio del casamiento matrilateral entre primos cruzados sobre el patrilateral. Radcliffe-Brown ya había percibido una tendencia a que los varones en sociedades patrilineales se casaran con sus primas cruzadas matrlaterales (las hijas del hermano de la madre). La explicación de Radcliffe-Brown era del orden de la afección sentimental y la analogía: el apego con el tío materno se transfería a la hija del tío. En *Las estructuras elementales*..., Lévi-Strauss cuestionaba este aserto diciendo que el fenómeno no podía explicarse razonablemente en base a sentimientos individuales. Ateniéndose a lo que habían dicho Durkheim y Mauss, alegaba que la regla que estipula casarse con la prima matrilateral produce más solidaridad social que la inversa. Como el razonamiento funcionaba tanto para sociedades matrilineales como patrilineales, devenía con facilidad un universal que no dependía de azares estadísticos.

Desde el mismo título de su trabajo conjunto, Homans y Schneider cuestionaban que Lévi-Strauss recurriera a una causa final; objetaban que argumentara, en otras palabras, que el casamiento matrilateral entre primos existe porque es “bueno para la sociedad”. El matrimonio –dicen– es contraído por personas, no por sociedades; Lévi-Strauss no explica por qué un hombre ha de buscar casarse con su prima matrilateral. La respuesta a esa pregunta exige que se busque una causa eficiente, dicen los autores, y en ese sentido la explicación de Radcliffe-Brown queda como la más satisfactoria.

Pero el cuestionamiento sería a su vez cuestionado. En *Structure and sentiment* (1962), Rodney Needham dijo de *Marriage, authority and final causes* de Homans y Schneider que “sus conclusiones son falaces, su método infundado y el argumento literalmente ridículo”; Lévi-Strauss se refería a los sistemas prescriptivos, no a los preferenciales, protestaba, por lo que los sentimientos de cada quien son irrelevantes. Schneider respondió con

<sup>97</sup> Una afirmación deconstrutiva de este talante puede parecer rigurosa pero en lo formal establece un camino engañoso precisamente por ser demasiado fácil. Pruebe el lector aducir lo mismo de cualquier otro término (“cultura”, “religión”, “economía”, “totemismo”, “chamanismo”, “ideología”, etc.) y verá que la estructura conceptual de cualquier categoría denotativa se deshace entre los dedos. Una deconstrucción no falla jamás. Ahora bien, la falta de definiciones rigurosas y consensuadas ni posee demasiada importancia ni es un defecto peculiar a las ciencias blandas; en pocos lugares, como se verá luego (pág. 314), se encuentra una anarquía terminológica comparable a la que reina desde siempre en la teoría de grafos.

su renombrado artículo “Some muddles in the models, or how the system really works” (1965) en el que repudió las explicaciones que había elaborado con Homans pero afirmó que también Needham estaba en un error. Desde un punto de vista estructural no hay diferencia si la regla es muy rígida o no; lo que importa, aseguraba, es que la regla exista. Si Lévi-Strauss ni siquiera menciona que está tratando con sistemas prescriptivos no es porque se le haya pasado por alto la diferencia entre el casamiento prescriptivo y el preferencial, sino porque a los efectos de su sistema la diferencia es irrelevante. La arremetida contra Needham, de alto empaque retórico, constituye el foco del artículo:

Needham efectúa una distinción radical entre los sistemas prescriptivos y los preferenciales. Se mete en problemas considerables para establecer cuáles de las treinta y tres sociedades son prescriptivas y cuáles preferenciales [...] Luego procede a ocuparse sólo de los sistemas prescriptivos. No trata con sistemas preferenciales, ni ha explicado de manera comprensible por qué los sistemas preferenciales *no pueden* ser tratados como si poseyeran la misma estructura que los prescriptivos. De ninguna manera es auto-evidente que sean distintos desde el punto de vista de la teoría de la alianza. Sugiero, por cierto, que se induce de la teoría de la alianza que ellos *no* son diferentes en absoluto y que Needham fracasa en comprender su propia teoría cuando dice que lo son. [...] El hecho notable sobre la etnografía disponible para Needham hasta 1956 (y posiblemente también hasta ahora) es que de acuerdo con él ella ha estado plagada de una cantidad de errores perpetrados por los etnógrafos. [...] Needham toma los reportes etnográficos y los coteja contra su modelo, contra su tipo. Cada desviación de la etnografía de uno o de otro elemento del tipo le sugiere a Needham que la etnografía está equivocada de alguna manera. Needham nunca altera su tipo para acomodar la etnografía. Needham nunca cambia su modelo para adecuarlo a los datos (Schneider 1965: 42-43, 68-69)

El episodio que sigue continúa siendo sorprendente hoy en día. En los años cincuenta Rodney Needham [1923-2006] había sido uno de los más ardientes partidarios británicos del estructuralismo. Pero en 1969 Lévi-Strauss mismo no tuvo mejor idea que atacar (sin mucho espíritu de justicia) la interpretación de sus ideas por parte de Needham nada menos que en el prólogo de la edición inglesa de *Las estructuras elementales del parentesco*, en cuya traducción Needham había trabajado diligentemente (Lévi-Strauss 1969 [1949]). Sólo tres años antes, en el prefacio de la segunda edición francesa, Lévi-Strauss había ensalzado “los preciosos análisis de Needham” (1985, vol. 1: 27). Esa amable referencia no fue óbice para que Lévi-Strauss pulverizara, a regañadientes según aduce, las objeciones que le había hecho Needham sobre su presunta confusión entre matrimonio prescriptivo y preferencial:

Entre los desarrollos a que dio lugar este libro [*Las estructuras elementales...*] el más inesperado para mí fue, sin duda, el que supuso la distinción, que se hizo casi clásica en Inglaterra, entre las nociones de “matrimonio prescriptivo” y “matrimonio preferencial”. Me resulta molesto discutirla a causa de la gran deuda de reconocimiento que tengo hacia su autor, el señor Rodney Needham, que, con mucha penetración y vigor, supo interpretarme (y a veces también criticarme) frente al público anglosajón en un libro, *Structure and sentiment* (Chicago, 1962) y preferiría no expresar desacuerdo. [...] Como [Floyd] Lounsbury comprendió muy bien al hacer una reseña de “Structure and sentiment” (*American Anthropologist*, 64, 6, 1962, pág. 1308), el error principal [de Needham] radica en haber identificado la oposición entre “estructuras elementales” y “estructuras complejas” y la

existente entre “matrimonio prescriptivo” y “matrimonio preferencial” y, a partir de esta confusión, haberse permitido sustituir una por la otra (Lévi-Strauss 1985: 19, 22).

Pero cuando se publicó la versión inglesa llegó también el turno de una disputa más frontal con sus críticos por más reverencia que éstos le hubiesen rendido alguna vez; habrían de caer uno a uno Edmund Leach, Mary Douglas, G. S. Kirk y por supuesto Needham (Bertholet 2005: 343). El romance entre esos británicos y el estructuralismo acabó ese preciso día, pues a propósito de la polémica sobre el casamiento entre primos cruzados, Lévi-Strauss dictaminó que Schneider tenía razón y que el equivocado era Needham; lo propio hizo con los otros autores sobre asuntos y por razones que aquí no vienen al caso.

Fue así que en adelante Needham sólo se referiría a Lévi-Strauss en actitud crítica, cuestionando su retórica y llegando al extremo de tildarlo como “el más grande surrealista que ha existido”. La contingencia del choque de personalidades pudo más que la estructura del rigor de las ideas: nada más lejos de las preferencias de Needham de allí en más que la búsqueda lévi-straussiana de rasgos universales del pensamiento humano o (ya que estaba en ello) que la búsqueda de universales en general. En efecto, Needham racionalizó imaginativamente su propio cambio radical de paradigma hasta el final de su vida. Dada la magnitud del cambio que experimentó, casi se diría que en casi cuatro décadas no se dedicó a otra cosa. En los elegantes ensayos de sus últimos libros (*Against the tranquility of axioms* [1983], *Exemplars* [1985] y *Counterpoints* [1987]), se contempló en el espejo de dos de sus héroes culturales, Ludwig Wittgenstein y Lucien Lévy-Bruhl, quienes pasaron la segunda mitad de sus vidas examinando críticamente las teorías que habían promovido en la primera mitad.

Elaborando el campo analítico del parentesco desde un punto de vista semántico con un toque wittgensteiniano, Needham llegó a afirmar que conceptos tales como “matrimonio”, “descendencia”, “terminología” e “incesto” son palabras que hacen un “trabajo desparejo” [*odd job*] y que los fenómenos a los que cada una de ellas corresponde no poseen una sola propiedad en común; en consecuencia no existe tal cosa como el parentesco y por ende tampoco puede existir una teoría que se le refiera. En su más famosa conferencia magistral dictada en el encuentro de la Asociación de Antropología Social de Gran Bretaña celebrado en Bristol, Needham encuentra que el concepto de matrimonio o casamiento [*marriage*], por ejemplo, “es peor que engañoso y [que] en el análisis no posee valor en absoluto” (1974: 8). Las realidades empíricas que éste y los demás conceptos que se supone la clarifican –prosigue– son en cada sociedad demasiado imprecisos institucionalmente y demasiado variados de una sociedad a la otra como para soportar una clasificación de este talante. Pocas páginas antes escribía, como si acabara de leer a Husserl:

Lo que se necesita es un punto de partida totalmente nuevo [...] libre de todos los supuestos a priori. [...] Sólo se puede lograr si cada antropólogo busca rigurosamente en su propia mente en procura de las adicciones lingüísticas y de otros hábitos de pensamiento que desvían y distorsionan su aprensión de la realidad social (1974: xvii-xviii).

El casamiento y el matrimonio en antropología no es el estudio de la conducta humana, dice Needham, sino un estudio de reglas. Pero los resultados no son modelos, argumenta: los estudios estructurales no pueden ser por completo abstractos sino que se basan en los

hechos etnográficos, la observación empírica, el registro lingüístico. En lo que a nuestro tema concierne, Needham niega asimismo todo valor a las contribuciones de Radcliffe-Brown (un lejano precursor del enfoque de redes), aduciendo que éste jamás analizó un sistema de parentesco, que sus principios no fueron nunca demostrados y que nunca se aplicaron a hechos sociales.

Needham acaba argumentando que el esfuerzo de construir una teoría grandiosa y nomológica de la sociedad humana es probablemente fútil y en el mejor de los casos prematura, y que la antropología haría mejor en abocarse a casos particulares y en intentar extraer “el significado antes que la forma de los hechos sociales” (1974: cvi). A fin de dramatizar la regénesis conceptual y el particularismo cultural que recomienda, Needham cita el cuento de Borges sobre Funes el memorioso, quien a resultas de una caída experimentaba una percepción y una memoria tan exhaustivas que eso lo tornaba incapaz de percibir el mundo de otra manera que no fuese en sus más ínfimos detalles (pp. xviii-xix): una metáfora, acaso, del puntillismo obsesivo, tanto mejor cuanto más locuaz, que en el otro lado del océano se propondría un par de años más tarde bajo el signo de la descripción densa.

Los críticos de la propuesta de Needham no fueron demasiado amables con su intento, al cual hoy caracterizaríamos como de deconstrucción. Maurice Bloch (1973), por ejemplo, un autor serio que conoce desde dentro la semántica cognitiva, consideraba que el análisis semántico llevado a cabo por Needham era de una clase más bien pasada de moda y que su modelo no iba más allá de una invitación seductoramente escrita, pero inadmisible, a que el antropólogo se abstenga de generalizaciones sociológicas. El sociólogo Terence Evens (1974), por su parte, observó que el intento de adoptar la metáfora wittgensteiniana de “familia de significados” como alternativa semántica promovía un error categórico de clasificación, toda vez que esa metáfora emanaba de una filosofía del lenguaje ordinario mientras que los conceptos en cuestión, por inadecuados que pudieran ser, devienen extra-ordinarios toda vez que se emplean en el análisis científico. Concluye Evens:

Puede haber pocas dudas de la eficacia de la terapia wittgensteiniana de Needham y de su profunda significación para los sociólogos y los antropólogos, pero desde mi punto de vista su inclinación terapéutica hacia un particularismo solipsista es mucho menos convincente (Evens 1974: 137).

Vuelvo a insistir en el hecho de que las proclamas de Needham son casi contemporáneas del manifiesto programático de Clifford Geertz en *La interpretación de las culturas* [1973]. De más está decir que malgrado su contracción a una esfera de lo más tarde se autodenominaría pensamiento local (o pensamiento débil, o paradigma indicario) ésta habría de ser en el cuarto de siglo siguiente una de las tesituras dominantes. La antropología acabó perdiendo casi sin lamentaciones una baza esencial, como si tuviera muchas cosas más importantes de las cuales ocuparse.

[E]l estudio del parentesco, que había jugado un rol tan prominente en el desarrollo de la teoría antropológica, ahora parece una temática muerta. Su colapso puede explicarse por una variedad de factores sobredeterminantes, incluidos los cambios en la escala y visión de la antropología contemporánea, la declinación del trabajo de campo, las concepciones críticas de la comprensión científica y la emergencia del multiculturalismo posmoderno. Ciertamente, la crítica desarrollada por David Schneider fue un factor influyente, si es que

no decisivo, en la muerte de los estudios de parentesco. Sólo el tiempo dirá si el tema será revivido, reencarnado o reinventado alguna vez (Fogelson 2001: 41).

Liberados del peso de la prueba por mera referencia a los pioneros, los epígonos de Schneider y Needham fueron por supuesto más lejos, y con los años quedó flotando la impresión de que seguir estudiando el parentesco podría llegar a ser superfluo, reaccionario o hasta imbécil, además de francamente aburrido. En los noventa se volvió costumbre proclamar que no existía el parentesco, o los universales de la procreación, o los linajes, o la cultura, o que nada existía en realidad. Se comenzó a decir, en fin, (y esta forma de decir quedó instalada sin mucho examen reflexivo) que todo en este mundo es construido social, subjetiva o culturalmente, como si esa construcción, ese gesto desnaturalizador, confiriera sólo una especie de existencia o legitimidad de segundo orden.

Pero incluso los antropólogos que pensaban que la crítica era excesiva, o que obedecía a propósitos oscuros, creían que la notación centenaria y la rica nomenclatura técnica de la antropología clásica funcionaban más o menos decentemente. Cae de suyo que nunca fue así, por desdicha. Todavía se la enseñaba acríticamente no hace tanto tiempo; hoy todo el mundo se da cuenta (o debería hacerlo) que no hay un modelo semántico o una analítica robusta que sirva de respaldo a los grafismos y que como técnica de representación el diagrama genealógico deja bastante que desear. Los diagramas genealógicos son por otro lado un camino sin salida, pues están demasiado adheridos a una interpretación sustantiva en términos simples y literales de alianza, filiación y consanguinidad. Vale la pena mirarlo de cerca.

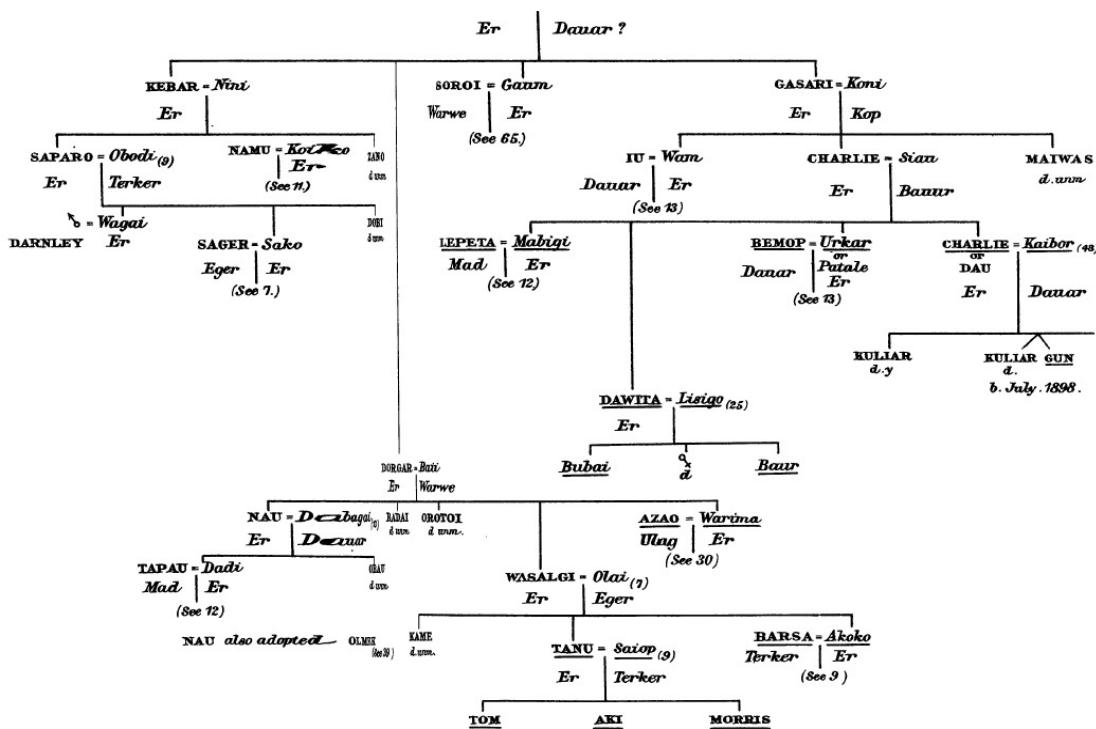


Figura 17.1 – Genealogía de la isla Murray según W. H. R. Rivers (1900: lám. § II)

Existiendo en términos de redes numerosos modelos gráficos posibles, el que se usa por defecto es una versión modificada de los grafos de Ore mapeada sobre el esquema genea-

lógico de William Halse Rivers Rivers y observada desde una perspectiva plana, estática y uniforme, omitiendo todas las relaciones que no lleven transitivamente a un Ego; no es entonces posible mirar el sistema como un grafo de resortes, o en tres o cuatro dimensiones, o agregar relaciones de otra naturaleza (demográficas, económicas, comunitarias, políticas), o dinamizarlo, o analizarlo en términos de navegabilidad o cohesión interna, u observarlo desde una perspectiva que no sea la de Ego, o commutar entre una interpretación descriptiva y otra clasificatoria, o calcular otras nociones que las que le enseñaron a pensar cuando de parentesco se trata.

Ni siquiera Lévi-Strauss, con su reconocida sensibilidad relacional, advirtió que los diagramas interactuaban de formas confusas con el lenguaje descriptivo por estar demasiado adheridos a una interpretación objetal. En capítulos anteriores hemos visto que las aristas de los grafos genéricos podían adaptarse a la representación de calles, esquinas, procesos de contagio, relaciones sociales, propiedades ontológicas, asignación de objetos a clases, organización de agendas, fenómenos de visibilidad y por supuesto parentesco. Si uno mantiene una concentración reflexiva sobre los grafos como instrumento abstracto de representación, es difícil que una capacidad tal se contamine, por ejemplo, de ideología biologicista, y que en lo sucesivo dicho sesgo impregne a los grafos a tal punto que comprometa su capacidad analítica en otros respectos. Pero los diagramas parentales se han semantizado a tal grado que ya no es posible hacerlos objeto de operaciones de generalización, isomorfismo, coloreado, planarización, transformación algebraica, análisis espectral o lo que fuere.<sup>98</sup> Ambas herramientas (grafos y diagramas genealógicos) se perciben engañosamente como dibujos de nodos y líneas entre los cuales hay cierta similitud; pero no podrían ser más distintas. Escribía hace unos años uno de los mayores especialistas actuales en redes de parentesco, Douglas R. White:

El estudio del parentesco se dificulta por la falta de un lenguaje descriptivo común para las estructuras y los procesos básicos en la formación de las relaciones de parentesco. [...] La aproximación convencional al parentesco y al casamiento, el diagrama genealógico, que representa relaciones de matrimonio y parentales entre individuos, refuerza una visión del parentesco centrada en ego y es ampliamente no operativa [*unworkable*] como medio para analizar el parentesco. Los problemas de representación y análisis de datos usando genealogías convencionales han conducido a intentos por estilizar y simplificar los patrones de parentesco y matrimonio en términos de modelos y vocabularios abstractos que a menudo están en abierta discrepancia con los datos. En consecuencia, el discurso antropo-

<sup>98</sup> Por supuesto que es posible, como lo intentó hacer Weil, definir las relaciones entre elementos de parentesco en términos de un álgebra; el problema es que una operación de transformación algebraica, igual que un efecto de *morphing* lo haría sobre una imagen, genera relaciones entre objetos para los cuales ni la teoría posee conceptos ni la realidad correlatos. Los constreñimientos ad hoc (distintos para cada caso) que agrega Weil (1985: 278) para contener el comportamiento de las operaciones algebraicas en la camisa de fuerza de los casos parentales observables o bien introduce operadores que no son algebraicos, o bien reduce el álgebra a una notación episódica innecesariamente retorcida de aquello que puede ser mejor abordado por otros medios. Salvo excepciones, la antropología constituida reaccionó malamente a las álgebras del parentesco propuestas por otros autores en la misma línea, tales como Harrison White, Pin-hsiung Liu o François Lorrain (Leach 1964; Naroll 1965; Reid 1967; Korn 1973). Aunque a veces sospecho que las críticas venían de un puñado de viejos dinosaurios que no entendían de álgebra y que veían amenazados sus fueros por una analítica que aun siendo atroz ponía en evidencia sus lagunas, igual pienso que les asistía un poco de razón.

lógico sobre el particular tiende a involucrar desacuerdo sobre la interpretación y definiciones ambiguas (White y Jorion 1992: 454).

Aunque los diagramas estándar parezcan un dispositivo neutro para representar individuos, sus matrimonios y su descendencia, están afectados por un individualismo metodológico inherente, el cual se encuentra en concordancia con las teorías sociales, políticas y económicas de una centenaria ideología conservadora del mundo anglosajón en particular. Los antropólogos las siguen usando, prosiguen White y Jorion (loc. cit.), pese a que esos diagramas resultan confusos cuando se quieren mostrar elementos de la estructura social de las comunidades o las familias que están vinculadas por matrimonios cruzados o por ancestros comunes, y pese a que no son instrumentales para implementar los cálculos, las búsquedas, las operaciones vectoriales o las modulaciones que en otras formas de representación en red son rutina.

La crítica de la posmoderna Mary Bouquet (1993) también subraya la especificidad cultural del método genealógico, argumentando que estaba imbuido de nociones inglesas de *pedigree* (explícitas en los trabajos de Rivers), muy poco parecidas, por ejemplo, a las categorías portuguesas de relación parental (ver figura 17.1). Pero aunque tengan su cuota de razón no son estas condenas morales deconstrucionistas, feministas o subalternas que saturaron el campo de discusiones en los ochenta y los primeros noventa las que me desvelan particularmente ahora.

La notación propuesta por Rivers merece una inspección más seria. En el que habría de ser el documento fundacional de los estudios de parentesco escribe éste:

Cuando me hallaba en los Estrechos de Torres con la Expedición Antropológica que salió de Cambridge bajo el liderazgo del Dr. Haddon, comencé a recolectar las genealogías de los nativos con el objeto de estudiar tan exactamente como fuera posible las relaciones mutuas de los individuos sobre los que hacíamos pruebas psicológicas. [...] Sólo fue, sin embargo, después de abandonar las islas, que me di cuenta de las muchas posibilidades que creo que el método abre a los antropólogos (Rivers 1900: 74).

Si bien el cuadro de Rivers que he incluido (fig. 17.1) se asemeja más a las genealogías tradicionales que a los diagramas de parentesco que más tarde se impusieron en la disciplina, la diferencia entre ambos es apenas diacrítica. Los varones, que luego habrían de representarse con triángulos, están siempre a la izquierda y en letras mayúsculas; las mujeres, que ahora se acostumbra notar con círculos, se encuentran a la derecha y en letra chica. Desde el comienzo, la notación del vínculo de filiación (que cuelga directamente de la arista que denota la alianza, y no de uno de los progenitores) impone el supuesto de que la filiación bilateral es la norma universal o al menos la pauta de referencia; la descendencia ambilineal, patrilineal o matrilineal, por ende, han de inferirse, inexplicablemente, a partir de información que no se refleja en el diagrama.<sup>99</sup> La semejanza del cuadro genea-

---

<sup>99</sup> Brenda Seligman (1921: 56), bregando contra las oscuridades de la notación de Rivers, propuso tempranamente “llenar el símbolo del sexo del niño de la misma manera que el de la madre en las sociedades matrilineales, o que el del padre en las patrilineales”. Pero la iniciativa, implementada aquí y allá mediante colores, texturas de puntos o rayas o sólidos, nunca cristalizó en una convención diacrítica uniforme. Tampoco se generalizaron los símbolos denotativos de sexo basados en estilizaciones caligráficas del espejo de Venus y el escudo de Marte.

lógico con los grafos de redes es en cambio de orden conceptual: Rivers estaba tratando de dar cuenta de las relaciones mutuas entre los individuos, a las que a su debido tiempo podrían aplicarse “estadísticas sociales y vitales”; la terminología es casi la misma que se encontrará medio siglo más tarde en la sociometría, en los estudios de redes sociales de la escuela de Manchester y en la sociología estructural.

Siempre me ha llamado la atención el hecho de que las búsquedas genealógicas de Rivers preanunciaban más las técnicas estadísticas de las redes sociales que los registros descriptivos y cualitativos de los ulteriores estudios del parentesco. Él creía que de las genealogías se podrían extraer elementos de juicio cuantitativos concernientes a:

las proporciones de los sexos, el tamaño de las familias, el sexo de los primogénitos, las proporciones de hijos que viven y se casan respecto del número total de hijos nacidos y otros asuntos que pueden estudiarse estadísticamente mediante el método genealógico. En los *pedigrees* tenemos una gran masa de datos de valor supremo para el estudio exacto de diversos problemas demográficos (Rivers 1910: 7).

Es curioso que los antropólogos hayan reflexionado muy poco sobre el carácter visual de las notaciones que plagan los estudios de la genealogía y el parentesco, descuidando una dimensión cognitiva, perceptual y conceptual cuya importancia subrayé desde muy temprano en el despliegue de esta tesis (pág. 61). Una notable excepción es el estudio de Mary Bouquet (1996), lamentablemente afeado por no pocas sobreinterpretaciones, argumentos conspirativos y prédicas morales tributarias del gusto posmoderno. Bouquet sugiere que la visualización del parentesco en los diagramas genealógicos refleja (en una bella expresión de Jameson) “los límites de una conciencia ideológica específica, [marcando] los puntos conceptuales más allá de los cuales la conciencia no puede ir, y en medio de los cuales está condenada a oscilar” (p. 44). Pero luego dilapida esa imagen perfecta encontrando que los diagramas de Rivers derivan su fuerza visual de precedentes bíblicos y científicos, así como de los seculares árboles de familia, y que si bien ciertas metáforas estéticas fueron exorcizadas en ellos, su visión fundamental del parentesco sigue siendo arbórea, y por ende fálica, sexista, etnocéntrica y masculina (p. 62): un diagnóstico digno de un Géza Róheim o un Bruno Bettelheim repentinamente vuelto progresistas, sólo que cincuenta años demasiado tarde.

En cuanto a la iconología del parentesco, en los lindes de la antropología es conspicua la inquietud de Pierre Bourdieu cuando planteó la pregunta sobre lo que yace detrás de la representación gráfica del parentesco, recomendando una (trunca y para mí decepcionante) historia social de la herramienta genealógica y convocando a un “estudio epistemológico del modo de investigación que se constituye en precondition para la producción del diagrama genealógico” que apenas logra levantar vuelo en el estrecho espacio que le concede (1977: 207).

Tampoco me resulta convincente (a la escala a la que aquí estoy considerando el asunto) el ulterior repudio de Bourdieu al estudio antropológico del parentesco, por cuanto la lógica que lo sostiene es inespecífica y se restringe a señalar la falta de concordancia entre la conceptualización y las prácticas, una falta que se confunde tortuosamente con las disonancias entre los puntos de vista en contienda. Bourdieu presupone que la conceptuali-

zación ha sido y ha de ser siempre *etic*, que los diagramas están supeditados al mismo sesgo que las palabras por cuanto las categorías del lenguaje los determinan, y que las categorías son monolíticas y las mismas para cualquier observador: “La indeterminación que rodea las relaciones entre el punto de vista del observador y el de los agentes –dice– se refleja en la indeterminación de las relaciones entre los constructos (diagramas o discursos) que el observador produce para dar cuenta de las prácticas y las prácticas mismas” (Bourdieu 1990: 37 o 2007: 62). Diagramas o discursos, lo mismo da: como si ambos estuvieran por igual, e inevitablemente, lastrados por una semántica parecida, incapaz de hacer justicia a las prácticas no se sabe bien por qué; como si el observador no pudiera invocar una imaginería transgresora basada en (por ejemplo) grafos, igual de filosa que los discursos que Bourdieu sigue prodigando en su batalla contra un modelo muerto, pensando quizás que sólo se trata de cambiar de palabras o de conmutar los sujetos de la enunciación mientras se describe la cosa.

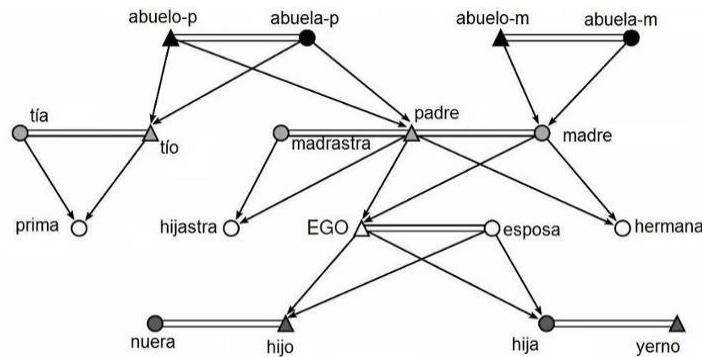


Figura 17.2 – Grafo de Ore (basado en De Nooy y otros 2005: 229)

Ninguna de estas pesquisas y miradas críticas, empero, alcanza a poner en foco la pregunta sobre los alcances técnicos del artificio representativo o sobre sus limitaciones congénitas: una pregunta que debería plantearse alguna vez yendo más allá de la fantasmagoría de los casos fallidos por razones que no les son intrínsecas y de la indignación ante el contraste, nunca menos que esperable, que media entre las visiones que se apoyan en premisas divergentes.

No pretendo negar en esta tesis el carácter incierto de la grafía usual tanto en lo técnico como en lo ideológico. Eso ya es tan incontrovertible que hasta los matemáticos se han dado cuenta:

Aunque el diagrama genealógico estándar parece un dispositivo suficientemente natural para representar individuos, sus casamientos y su descendencia, posee un individualismo metodológico inherente en consonancia con las teorías sociales, políticas y económicas dominantes del mundo anglosajón. [En la década de 1990] [I]los antropólogos siguen usando esos diagramas como herramientas primarias para resumir los datos de campo aunque ellos son altamente confusos cuando se los utiliza como medio para mostrar elementos de la estructura social de las comunidades o de las familias ligadas por *intermarriage* o ancestrías comunes. El diagrama genealógico es de algún modo análogo a la representación ptolemaica de rotación alrededor de la tierra que debió abandonarse hace siglos de cara a la evidencia conflictiva (White y Jorion 1992: 454).

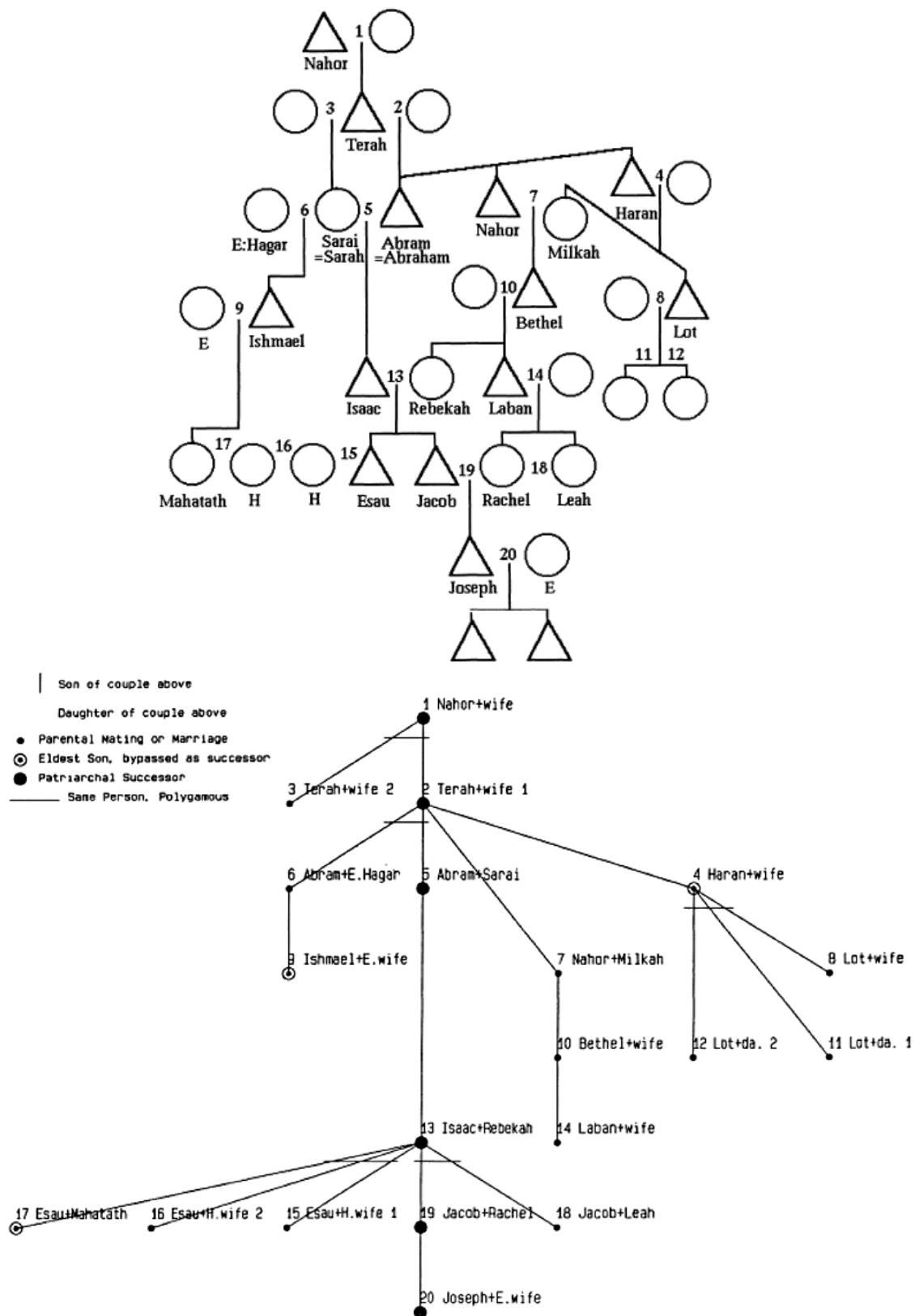


Figura 17.3 – Genealogía de Canaán – Diagrama genealógico y grafo parental  
Basado en White y Jorion (1992: 455-456)

Una primera alternativa un poco más reflexiva a los diagramas genealógicos tradicionales es la de los grafos Ore, llamados así en homenaje al matemático noruego Øystein Ore [1899-1968].<sup>100</sup> Igual que las genealogías, tienden a utilizarse desde un punto de vista egocéntrico. Los varones se representan como vértices cuadrados, las mujeres como vértices circulares, los matrimonios como líneas dobles y las relaciones de filiación como vectores apuntando a cada hij@, como siguiendo el flujo del tiempo. A diferencia de lo que es el caso en los diagramas familiares (como en la figura 4.3 del diagrama del avunculado de la pág. 32 de esta tesis), tanto el padre como la madre se conectan con sus hij@s. Aunque parezca trivial, esto permite calcular el *pedigree* de un individuo tanto por el lado del padre como por el de la madre, un cálculo fundamental que en el diagrama clásico no se ejecuta con fluidez. También es más fácil identificar *siblings* y encontrar el antecesor común más próximo de cualesquiera dos individuos. Se muestra un ejemplo de esta clase de grafismo en la figura 17.2. En su uso habitual, los grafos de Ore siguen siendo egocéntricos, pero ya no se percibe que sean tan servilmente tributarios de los aparatos ideológicos. Todavía faltaba un poco, empero, para una más plena exactitud representacional.

La solución propuesta por Douglas White frente a las eventuales fallas de los grafos convencionales derivadas de los *pedigrees* de Rivers consiste en la implementación de grafos-p, un nombre no vacante que puede llevar a confusión y que se usa con otros sentidos en mercadotecnia o en lingüística. En realidad no interesa cuál sea la técnica en particular; lo importante es que engrane con el análisis de redes, con teoría de grafos y con álgebra lineal y que posea por ende el mismo carácter de sistema analítico abierto que los instrumentos que hemos entrevisto en los capítulos precedentes.

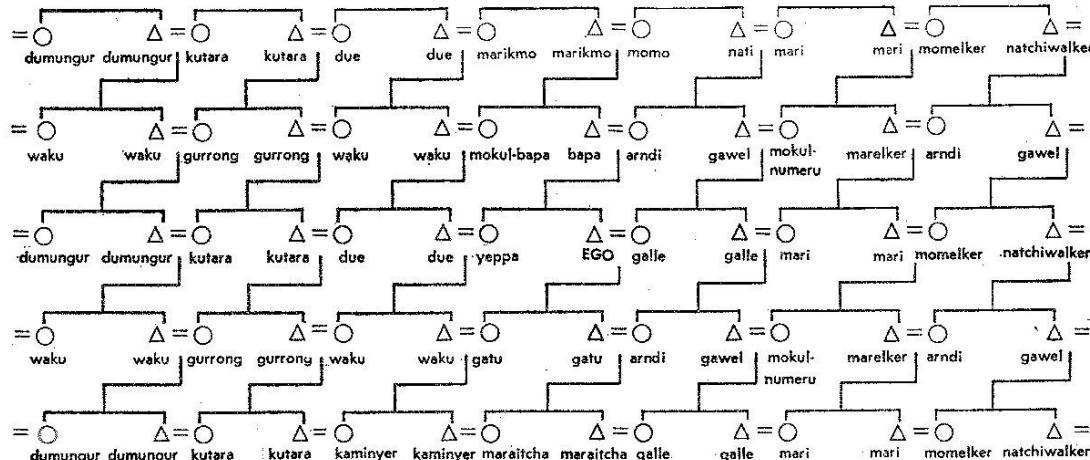


Figura 17.4 – Sistema Murngin [= Miwuit, Wulamba, Yolngu, Balamumu etc]

(según Lévi-Strauss 1985 [1949]: 234, fig. §29)

Basado en diagrama elaborado por Warner (1930: fig. §1, entre pp. 210 y 211)

<sup>100</sup> Un grafo de Ore es un grafo  $G$  en el cual la suma de los grados de los vértices no adyacentes es mayor que la suma de los nodos  $n$  para todos los subconjuntos de vértices no adyacentes. Mientras algunos grafos son paradojales y oscuros, todos los grafos de Ore son hamiltonianos y el ciclo hamiltoniano en tales grafos se puede construir en tiempo polinómico. Estas circunstancias acarrean unos cuantos beneficios a la hora del cálculo analítico en materia de parentesco o de lo que fuere.

Una vez que uno tiene una red lo demás viene por añadidura: los cálculos de propiedades, las matrices con sus álgebras, las herramientas de comparación, la minería de datos, las técnicas de descubrimiento de patrones, las prestaciones de animación, simulación y estudio diacrónico, la posibilidad de vincular la genealogía con otros datos reticulares, el análisis multidimensional, el filtrado selector de perspectivas, todas las visualizaciones imaginables. Ni hablar de lo que sucede a nivel de las prestaciones específicas de parentesco: la posibilidad de encontrar casamientos entre hermanastros o hermanastras, representar casamientos sucesivos, comparar regímenes y frecuencias de patrones de re-en cadenaamiento en las genealogías.

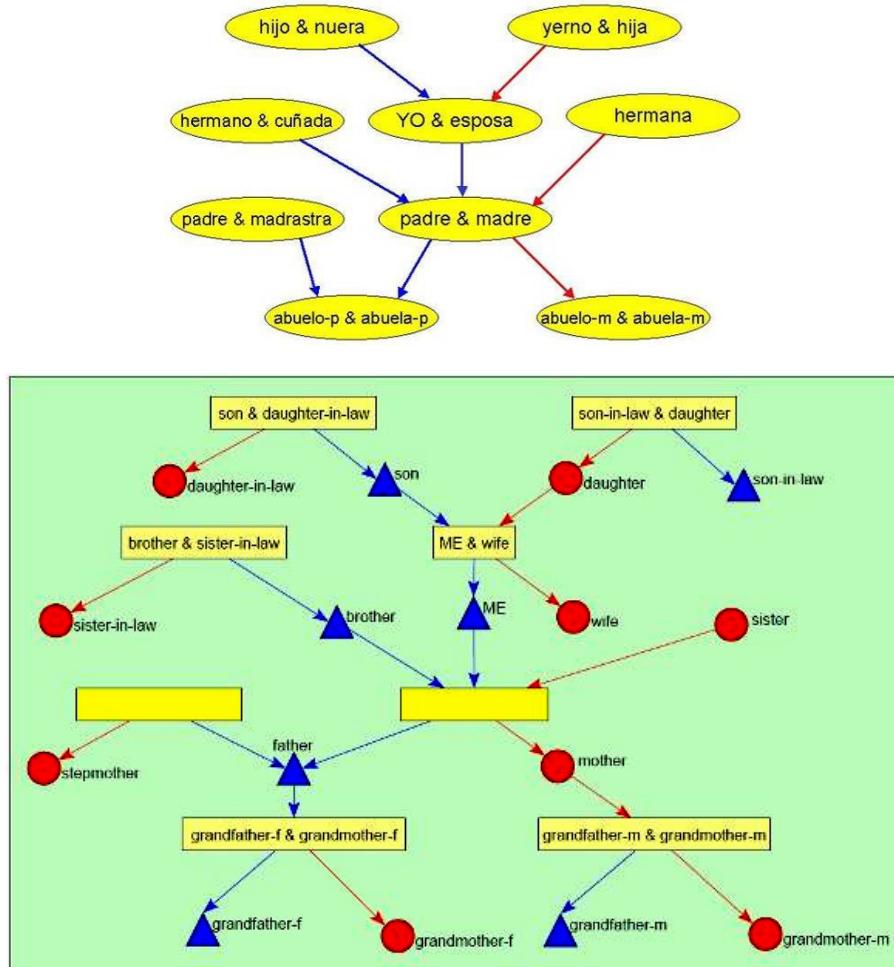


Figura 17.5 – Variante de grafo-p y grafo-p bipartito – Basado en Mrvar y Batagelj (2004: 409)

Cuando se lo comienza a usar el grafo-p puede resultar contraintuitivo porque los nodos son parejas o personas solteras; como es un grafo acíclico no hay arcos que unan a los padres, y los únicos arcos que hay van de los hijos a los padres y no a la inversa (figura 17.2). Una variante bipartita de grafo-p posee vértices rectangulares para denotar parejas, y, como en los viejos diagramas, círculos para representar mujeres solteras y triángulos para los solteros varones. A menos que se den instrucciones en contrario el grafo corre de abajo hacia arriba, al revés de lo que los antropólogos (contrariando a botánicos y matemáticos) piensan que debería ser el caso. En genealogía se piensa en árboles que crecen

de abajo hacia arriba y se localiza a los antepasados en las raíces, mientras que en antropología el proceso temporal se concibe como un proceso de *descendencia*.<sup>101</sup>

Sea como fuere, en los grafos-p la textura es tan espartana que al principio da la impresión de que hay menos datos que en los antiguos diagramas, pero no es así; en realidad los datos son más o menos los mismos. Pero las ventajas de estas metodologías son múltiples y ratifican el hecho de que una técnica robusta no aniquila la especificidad del objeto ni lo torna abstruso; si se lo orienta con algún sentido del rigor, puede descubrir en él un número crecido de nuevas perspectivas.

Por empezar, un formalismo como el grafo-p no presupone clausura generacional en el tiempo, ni la unidad del grupo parental; por el contrario, facilita el análisis longitudinal del cambio de las relaciones de parentesco y permite visualizar las redes desde tantos ángulos y en función de tantos filtros, criterios y acentuaciones como se quiera. Al costo de una noche de aprendizaje, se podrán representar con él reglas de matrimonios simples y complejas, evitación del incesto, ciclos matrimoniales, segundos, terceros o enésimos casamientos, poligamia y poliginia, grupos endogámicos y exogámicos, diferencias en tiempos generacionales entre hombres y mujeres y sus efectos en la estructura, las consecuencias del casamiento poligámico, la integración de parientes clasificatorios, las transformaciones de estatus por crianza o lactancia, el cambio histórico en la constitución de la familia, la adopción por parte de parejas hetero u homosexuales, la pluriparentalidad, los parentescos electivos, etcétera.

La justificación elaborada por White del modelo subyacente a los grafos-p es esclarecedora. El tipo de grafo que resultó estimulado por la obra de Lévi-Strauss en 1949 –y al cual le dio forma definitiva el matemático Georges Théophile Guilbaud (1970) hacia 1962, afirma White– fue sólo una de las formas ensayadas en aquella época. Los grafos de Guilbaud, como se los puede llamar, se aplicaron principalmente a modelos de grupos de permutación del parentesco; este modelo enfatizaba la repetición atemporal de las mismas estructuras transformacionales, lo cual cuadraba con el concepto lévi-straussiano del parentesco como dominio “cognoscido” [*cognized*] en el que los universales del pensamiento pueden otorgar algún sentido a la “imposible complejidad” del parentesco real. En la figura 17.4 muestro el diagrama del parentesco Murngin elaborado por Lévi-Strauss basado en el diagrama de William Lloyd Warner, el futuro antropólogo maldito (cf. más arriba pág. 69), que aquí opté por no mostrar. Comparando las figuras de uno y otro autor, se percibe que Lévi-Strauss ha homogeneizado los elementos, eliminando la nomenclatura de las relaciones parentales de cada individuo respecto de Ego; también ha colocado los símbolos de sexo que faltaban en el diagrama original, en el cual el sexo de cada quien se infería de su posición a la izquierda o derecha del vínculo.

---

<sup>101</sup> Puede que en este caso el concepto influya sobre la imagen; pero cuando se habla de árbol (contrariando a Bourdieu) parece que es la imagen lo que tiene precedencia. Todavía no he acabado de determinar cuándo fue que el diagrama comenzó a ponerse cabeza abajo. Cualquiera sea el caso, las notaciones emergentes contemporáneas han impugnado el modo antropológico de representación y otorgado la razón a la genealogía. El desarrollo de la crónica histórica de los sucesivos grafismos involucrados en los diagramas genealógicos es todavía una asignatura pendiente.

En contraste con la concepción de teoría de grupos de Weil, la utilización de los grafos-p en tanto redes se deriva de la teoría de los conjuntos ordenados y más precisamente de los conjuntos parcialmente ordenados y los enrejados de Galois. El grafo-p es un ordenamiento de las relaciones de parentesco entre parejas por parte de individuos que vinculan a sus padres con su propio acoplamiento parental. Contrasta así con los grafos ordinarios porque en la nueva convención los individuos son aristas y los acoplamientos son vértices. También difiere en el ordenamiento de las generaciones, pues los encadenamientos hacia arriba generan conjuntos de ancestros cada vez más inclusivos, mientras que las líneas descendentes convergen en sólo un miembro de cada pareja o *singleton* (siendo un *singleton* sencillamente un conjunto que contiene un solo elemento). Desmintiendo la idea de que los análisis estructurales son por necesidad a-históricos, el grafo permite incluir el flujo del tiempo. Es sólo como segundo paso que se los podría reducir a estructuras transformacionales “cognoscidas” que se repiten, representativa del “pensar sobre el parentesco” de nativos u observadores, expresado como reglas sociales o convenciones (White y Jorion 1996: 271).

La figura 17.6 compara la genealogía tradicional con el grafo-p y el grafo genético. En el grafo-p el género se denota a través del grosor de las líneas; el paralelogramo del centro expresa la relación exacta de los parientes casados, que en este caso es, para el varón, la hija del hermano de la madre.

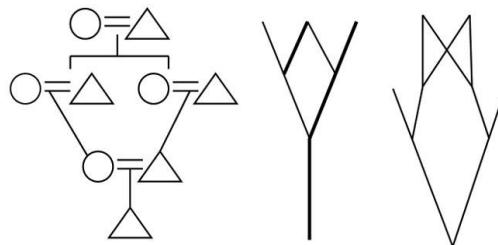


Figura 17.6 – Grafo convencional, grafo-p y grafo genético  
Basado en White y Jorion (1996: 274)

Técnicamente, los grafos-p son dirigidos y acíclicos, aunque en ellos se pueden presentar semi-ciclos de casamiento de re-vinculación [*relinking marriage*]. Más poderosos que los grafos-p comunes son los grafos-p bipartitos (figura 17.3, derecha). Ellos permiten distinguir entre un tío casado y el segundo casamiento de un parente, o entre hermanastras y primos. Con ambas clases de grafos-p se puede estimar el índice de re-vinculación, que ha demostrado tener relevancia en el tratamiento comparativo de los sistemas de matrimonio. Si  $n$  denota el número de vértices en un grafo-p,  $m$  el número de arcos y  $M$  el número de vértices máximas (que tienen grado de salida 0,  $M \geq 1$ , si tomamos una genealogía conexa) tenemos que:

$$RI = \frac{m - n + 1}{n - 2M + 1}$$

El valor de  $RI$  puede caer entre 0 y 1. Si el grafo es un bosque o un árbol,  $RI=0$ . Existen genealogías observadas cuyo  $RI=1$ . Aparte de ello, los grafos-p son insuperables en el tratamiento analítico y estadístico de los motivos de re-vinculación, de los cuales se sabe

que poseen un alto valor diagnóstico. La tabla 17.1 ilustra la distribución de motivos en diversos grupos desde las diáadas a las héxadas. Una vez que se tienen estos datos, naturalmente, se pueden normalizar los guarismos para que el análisis comparativo sea más cabal, a fin de expresar (por ejemplo) las frecuencias normalizadas de los tipos mediante gráficos de barra u otro recurso. Pero cabe aclarar que no me interesa en este contexto desentrañar las potencialidades del grafismo a nivel de detalle, ni enseñar la taxonomía íntima de los motivos de revinculación teóricos o empíricos, o sus matemáticas inherentes, o las correspondencias entre los términos de las fórmulas y los conceptos antropológicos, sino esbozar a grandes rasgos las clases de exámenes que la técnica de diagramación hace posible.

pattern	Loka	Silba	Ragusa	Tur	Royal	$\sum$
!	A2	1	0	0	0	1
!	A3	1	0	0	3	4
!	A4.1	12	5	3	65	106
!	B4	54	25	21	40	147
!	A4.2	0	0	0	0	0
!	A5.1	9	7	4	15	48
!	A5.2	0	0	0	0	0
!	B5	19	11	47	19	104
!	A6.1	28	28	2	65	140
!	A6.2	0	2	0	1	3
!	A6.3	0	0	0	0	0
!	C6	10	12	19	15	61
!	B6.1	0	1	2	0	3
!	B6.2	27	39	63	54	194
!	B6.3	47	30	82	46	218
!	B6.4	0	0	5	3	8
No. indi.		47956	6427	5999	1269	3010
Largest bic.		4095	1340	1446	250	435
RI		0.55	0.78	0.74	0.75	0.37

Tabla 17.1 – Motivos de *relinking* en Eslovenia, Croacia y Turquía y casas reales europeas  
(según Mrvar y Batagelj 2004)

Una técnica alternativa a los grafos-p es la de los modelos de bloque (White, Boorman y Breiger 1976). La idea del modelado en bloque fue creada por François Lorrain y Harrison White (1971) a partir de la tradición de análisis algebraico de parentesco iniciada por André Weil en su legendario apéndice para *Las estructuras elementales de parentesco* de Claude Lévi-Strauss (Weil 1985; Courrèges 1965). Puede decirse que estos modelos utilizan grafos casi en el sentido familiar de la palabra, pero sólo en la construcción de una nueva entidad que una vez construida deviene objeto de análisis. Eso permite no ya derivar índices como sucede en los grafos normales, sino usar algoritmos para identificar inductivamente roles a partir de los grafos. Estos roles se pueden a su vez re-articular en complejas estructuras de rol mediante técnicas algebraicas, la mayoría de las cuales gira en torno del concepto de equivalencia estructural. El objetivo del modelado en bloque es reducir una red grande, potencialmente incoherente, a una estructura menor de interpretación más sencilla. El procedimiento se basa en la idea de que las unidades de una red se pueden agrupar en la medida en que sean equivalentes, conforme a una definición significativa de equivalencia.

Una tercera técnica de recambio para diagramación de parentesco ha sido propuesta hace tiempo por Brian Foster y Stephen Seidman (1981), coordinando el modelo más rico y complejo de genealogía antropológica (que en teoría de redes se considera que es el de Meyer Fortes) con los formalismos de grafos y el análisis de redes concomitante. Otro modelo poderosísimo es el KAES (Kinship Algebraic Expert System) desarrollado por Dwight Read, capaz de construir un modelo algebraico de la lógica subyacente a un sistema de parentesco (Read y Behrens 1990; Read 2001); pensado como un modelo de Inteligencia Artificial y cálculo de predicados a la antigua usanza, su relación o su posible compatibilización con el análisis de redes en un sentido genérico es todavía incierta.

Una cuarta alternativa de análisis y graficación es la que propone el equipo TIP de París desde 2005 con estrechas relaciones con los especialistas francófonos en parentesco y con formalistas como Douglas White o los analistas de redes nucleados en torno al programa Pajek, Borgatti incluido (véase <http://www.kintip.net/>). La producción de este equipo, tecnológica y antropológicamente virtuoso, es inmensa aunque difícil de comunicar al profano y apenas se la puede referir en este contexto. Disponibles al público están las KINSOURCES (ricas y enormes fuentes de datos genealógicos creadas bajo la dirección de Michael D. Fischer de la Universidad de Kent)<sup>102</sup> y PUCK (Program for the Use and Computation of Kinship data), en el cual se ha implementado una variante formalmente robusta a los modos de representación y visualización que he estado comentando.

En la notación de grafos TIP (Traitement Informatique de la Parenté) los lazos filiales y matrimoniales se representan mediante arcos. Toda la información sobre el tipo de lazo y sobre género está contenida en los valores de líneas, de las cuales hay cinco tipos: (1) un arco de casamiento que va de la mujer al varón; (2) un arco filial que va de la madre a la hija; (3) un arco filial que va de la mujer al hijo; (4) un arco filial que va del padre a la hija; (5) un arco filial que va de varón a varón. Dado que el grafo TIP no involucra rotulado de los vértices es altamente económica como forma de representación de una red de parentesco. Su principal desventaja es que no genera grafos orientados-acíclicos, por lo que muchos análisis requieren que se lo convierta primero a grafos Ore convencionales.

•••

Hacia finales del siglo XX y comienzos del siglo actual, agotado ya el quietismo posmoderno, un puñado de obras monumentales sobre el parentesco parecieron prometer una resurrección de la temática en el seno de la disciplina. Entre ellas se encuentra, por supuesto, *Métamorphoses de la Parenté* de Maurice Godelier (2004). Pero no es esta línea de recuperación la que pretendo subrayar aquí. Basados en la necesidad de establecer una convergencia entre los estudios de parentesco convencionales, la teoría de grafos y el análisis de redes se han escrito por lo menos dos obras mayores que testimonian la productividad del método. La primera es la compilación *Kinship, networks, and exchange*, editada por Thomas Schweizer y Douglas White (1998); la segunda es el tratado de Douglas

---

<sup>102</sup> Sin relación con Michael M. J. Fischer, el antropólogo posmoderno consagrado a la antropología de la ciencia, instalado hoy en el MIT.

White y Ulla Johansen (2005) *Network analysis and ethnographic problems: Process models of a Turkish nomad clan.*

La compilación de Schweizer y White (1998) comprende 15 ensayos que vinculan el parentesco con la economía, sitúan al individuo en redes de parentesco e intercambio y contemplan problemas dinámicos derivados de la transformación de los sistemas de parentesco. Hay numerosos estudios de casos, incluyendo un artículo del eterno John Barnes sobre las corporaciones de remeros y otro probablemente póstumo de Per Hage en colaboración con Harary. La obra es estimulante y fresca, aunque ignoro si alcanzará para estabilizar el estudio reticular del parentesco en el futuro próximo. Christopher Gregory concluye su revisión de ese volumen con un diagnóstico que en general comparto:

¿Revitalizará esta variada y bien editada colección de ensayos el estudio del parentesco? Es el último de un cierto número de libros recientes que han anunciado esa intención. El parentesco, tal parece, está de nuevo en la agenda. Pero dado que la estratégica teórica y metodológica de esta colección presenta un agudo contraste con sus competidores, el debate de la revitalización promete ser ardorosamente discutido (Gregory 1999: 244).

No me atrevería a garantizar que las técnicas avanzadas de grafos y redes puedan ser un correctivo de los sesgos y escollos metodológicos que han plagado la teoría del parentesco y a los que se refieren con fruición los críticos (Porqueres i Gene 2008). El trazado de las relaciones en una red arranca en el proceso de elicitation, el cual depende de las heurísticas de alto nivel de la disciplina y la semántica que articula el campo. Si éstas son defectuosas, en el diseño de la red prevalecerá el principio que en informática llamamos GIGO: *garbage in, garbage out*. En esta coyuntura es muy poco lo que la técnica puede hacer para neutralizar los vicios de la teoría que la instrumenta.

No aseguro tampoco que la disponibilidad de estas herramientas o de otras parecidas habría podido detener el proceso de deterioro de la antropología científica formalista; hubo otros factores mucho menos ligados a los temas de interés de los investigadores o a los predicamentos internos de una disciplina que estaban globalmente en juego. Lo que sí digo es que si se deben investigar problemáticas complejas de la familia, del parentesco, de los grupos, las sociedades o las relaciones que fueren, se tiene ahora una base más diversificada y más sólida sobre la cual trabajar.<sup>103</sup> No es razonable entonces que los antro-

---

<sup>103</sup> En Estados Unidos se considera que gracias a los avances de la genética y a la disponibilidad masiva de datos en línea la genealogía se ha convertido en el tercer *hobby* a nivel nacional (Rose e Ingalls 1997: 3). No por ello es una práctica refinada; en el libro de referencia, por ejemplo, los autores alegan que 10 generaciones involucran 1.024 ancestros (p. 10). El cálculo se basa en premisas incorrectas: con ese mismo régimen de razonamiento, en apenas 40 generaciones (menos de mil años) uno tendría  $2^{40}=1.099.511.627.776$  antepasados, una cifra mucho más grande que el número de personas que ha existido jamás. Lo que sucede en realidad (y eso puede probarse fácilmente con un modelo de casamiento aleatorio, un número de hijos con distribución de Poisson y una población de algunas decenas de miles de personas) es que en unas 15 generaciones el 80% de los fundadores aparecen en el árbol genealógico de todos los individuos y que el 20% que no aparece son aquellos que no han dejado descendencia; el número de personas que señalarían a alguien como su antepasado obedece a una ley de potencia; en poblaciones relativamente cerradas, cualquier par de adultos, en suma, posee casi todos sus ancestros en común (Derrida y otros 1999). A lo que voy es a que un campo en el cual la lógica es deficitaria, en el que proliferan textos que se titulan *Genealogía en Línea para Tontos* (Helm y Helm 2008) o *Guía Genealógica para el Perfecto Idiota* (Rose e Ingalls 197) y en el que se despliegan las matemáticas que ilustré antes, está necesitado muy urgentemente de asesoramiento técnico responsable.

pólogos abandonen lo que ha sido una de sus más sólidas incumbencias justo en el momento en que las técnicas están maduras, en que por razones diversas la genealogía se ha convertido en tema de debate científico y mediático y en que surge una clara demanda de consultoría profesional. Las preguntas que urge responder son en parte las mismas; lo dice persuasivamente Richard Feinberg:

Quizá lo más dramático de todo, las nuevas tecnologías reproductivas (incluyendo donación de esperma, maternidad sustituta y, más recientemente, clonación) han traído a primer plano las preguntas de Schneider [...]: ¿Cómo se definen los parientes? ¿De qué se trata el parentesco a fin de cuentas? Irónicamente, estas preguntas se formulan ahora más en las cortes que en los salones académicos (Feinberg 2001).

La recuperación del terreno perdido no ha de ser fácil. Las nuevas técnicas de graficación y cálculo son poderosas pero opacas y la respuesta que entreguen dependerán del ingenio de las preguntas que se les formulen. Todavía no hay una colección de hallazgos impactantes que haya surgido de ellas; hay por cierto repositorios inmensos, como los elaborados por White y Johansen o los complejos sistemas articulados por Schweizer, pero fuera de los autores pioneros y de su círculo próximo a nadie se le ocurre aun formularles preguntas que vayan más allá de los confines de un caso. Algunas piezas del paquete, para mayor abundancia, reproducen con otros sesgos visiones de tratamiento algebraico que ya se han ensayado antes sin mucho éxito de público. La instancia clásica de ese tratamiento es, una vez más, el postulado que escribiera Weil para la primera parte de *Las estructuras elementales de parentesco* de Lévi-Strauss (Weil 1985) y más todavía, la celebrada axiomatización que realizaran Kemeny, Snell y Thompson (1974: 451-457) sobre ese mismo ensayo. También cabe mencionar el ambicioso tratado *An anatomy of Kinship* de Harrison White (1963) y el laborioso aunque redundantemente titulado *Réseaux sociaux et classifications sociales: Essay sur l'algèbre et la géométrie des structures sociales* de François Lorrain (1974).

Recordemos, a todo esto, la profunda afinidad entre la teoría de grafos y el álgebra, que al menos en algunos enclaves en los que ambos convergen bien pueden concebirse como dos caras de la misma moneda. Lo más que logran todas estas contribuciones, sin embargo, es demostrar que ciertas expresiones analíticas, nomenclaturas y diagramas puntuales pueden expresarse de manera algo más compacta bajo la guisa de transformaciones algebraicas. Ninguno de los textos mencionados efectuó el paso de las matrices algebraicas y sus transformaciones hacia el análisis de grafos y redes, ni ayudó a salvar a la analítica del parentesco de su descalabro; nadie advirtió tampoco que ciertos formalismos de base (la axiomática parental de los autores de *Introduction to finite mathematics*, por ejemplo) ni siquiera funcionaban como debían hacerlo. Si bien la crítica que se les hizo a los intentos de formalización fue bien pobre, resultó evidente que ellos no aportaron nada que no fuera ya conocido o cognoscible por otros medios (Reid 1976; Needham 1976).

Me detengo unos minutos en la demostración de la falla que atraviesa esta axiomática, porque es colosal hasta lo inverosímil. No importa cuál sea en rigor el conjunto de prescripciones Kariera; Kemeny y sus colegas (p. 451) lo han compactado, computándolo en los siguientes siete axiomas:

Axioma 1 – A cada miembro de la sociedad se le asigna un tipo de casamiento.

Axioma 2 – Se permite que dos individuos se casen sólo si pertenecen a la misma clase de casamiento.

Axioma 3 – El tipo de individuo está determinado por el sexo del individuo y el tipo de sus padres.

Axioma 4 – Dos varones (o dos niñas) cuyos padres son de diferentes tipos serán ellos mismos de tipos diferentes.

Axioma 5 – La regla de si se permite que un hombre se case con un pariente femenino de una clase dada depende sólo de la clase de relación.

Axioma 6 – En particular, ningún hombre puede casarse con su hermana.

Axioma 7 – Para cualesquiera dos individuos es permisible que algunos de sus descendientes se casen entre sí.

Dejando al margen la pobre especificación de los axiomas §5 y §7, el hecho es que cuando se expresan las reglas axiomáticas en (por ejemplo) un programa en lenguaje PROLOG y se echa a correr el modelo con un lote de prueba, sobreviene un tropel de eventos desagradables: cada miembro del lote se casa con él o ella mism@, con personas del mismo sexo o con parientes a cuatro, diez o veinte grados de distancia generacional; al lado de eso, las uniones que responden a las expectativas lucen marginales (Reynoso s/f). Lo triste es que ni falta hace llegar a la programación lógica para efectuar la prueba, porque la falla se percibe a simple vista aunque nadie en las matemáticas o en las ciencias sociales se haya percatado de ella; por el contrario, no faltan textos en filosofía de la ciencia o en sociología estructural que destacan esta axiomática por su valor ejemplar (cf. Liu 1973; Schuster 1982: 119-124; Fararo 1997: 79; White 1997: 54). Tal como está, sin embargo, es indefendible. De nada serviría argumentar en defensa suya que todo el mundo sabe que el casamiento no puede ser una relación reflexiva y que los cónyuges han de ser de sexo distinto: un sistema axiomático es un sistema cerrado que debe funcionar estrictamente en base a los axiomas que se especifican, sin importar lo consabidos que sean. La axiomática de Giuseppe Peano, después de todo, comienza diciendo que “Cero es un número. El sucesor de un número es otro número...” (Kennedy 1963: 262).

En este punto no sería prudente, sin embargo, arrojar el niño con el agua del baño. En el apogeo del radicalismo antiteórico en antropología llegó a parecer que el estudio del parentesco es por necesidad un ejercicio bizantino o una ilusión etnocéntrica. Está claro que no lo es; no siempre al menos. A despecho de las críticas de la época, ellas también criaturas de sus tiempos, lo concreto es que las genealogías se han transformado en una herramienta poderosa de reclamo identitario personal, cultural y territorial. En Internet se están gestando los primeros mapas genealógicos de la humanidad y en el mundo descolonizado se está redescubriendo en función de ellos parte de su historia. El método se ha manifestado crucial en estudios de etnohistoria, de historia cultural y de antropología rural no precisamente anecdóticos y hasta en la organización de archivos patrimoniales y materiales museológicos.

Un ejemplo viene particularmente al caso. El uso por parte de los nativos de las genealogías relevadas a partir de la expedición de la Universidad de Cambridge de 1898 ha modificado los patrones de tenencia de la tierra entre las comunidades aborígenes australianas y en el estrecho de Torres, que no por nada es el lugar donde se estableció la práctica

del trabajo de campo y donde el método genealógico se originó (Segalen y Michelat 1991; Bouquet 2001). Escribe Leah Lui,<sup>104</sup> nativo del estrecho:

En años recientes, el evento más significativo en el reconocimiento de los derechos indígenas en el estrecho de Torres y por cierto en Australia, está representado por la decisión de la corte suprema australiana sobre el Caso de la Tierra de Mabo que se litigó durante 10 años. En 1982 Koiki Mabo y otros cuatro isleños de la Isla Murray en el oriente del Estrecho de Torres presentaron una demanda en la Corte Suprema australiana reclamando diferentes derechos a tierras tradicionales ocupadas continuamente por el pueblo Meriam desde tiempos inmemoriales. Después de seis años, el caso sobrevivió a un intento del gobierno de Queensland para extinguir retroactivamente cualquier derecho que los isleños pudieran o no tener. En junio de 1992 la Corte Suprema reconoció por unanimidad del de-rechos de los Meriam a regir la isla Murray: "... el pueblo Meriam posee frente a todo el mundo derecho a la posesión, ocupación, uso y goce de las tierras de las islas Murray" (Eddie Mabo y Otros vs el Estado de Queensland, Orden de la Corte Suprema de Australia). [...] La doctrina de "*terra nullius*" que decía que la tierra estaba deshabitada por gente con gobierno y sistema legal fue impugnada. El juicio constituye una victoria mayor para el pueblo Meriam y posee implicancias profundas para los isleños del estrecho de Torres y el pueblo aborigen en general (Sharp 1993: 235).

El testimonio jurídico más impactante que presentaron los nativos es el denominado Prueba #117 en la documentación del caso. En él se establece que "[l]lamativamente, este material fue elevado por el querellado Estado de Queensland sin objeción de los demandantes y su contenido fue avalado por ambas partes. Al presentar evidencia concerniente a la 'cadena de títulos' de las tierras reclamadas por los querellantes, se hizo referencia a las genealogías presentadas por el Dr. W. H. R. Rivers, quien fue un miembro de la expedición conducida por Haddon.

Los querellantes también elevaron comentarios a los Reportes (particularmente al Volumen VI) referidos al parentesco y a la herencia de la propiedad para reforzar sus argumentos a propósito de la continuidad de los componentes esenciales de la organización social de Meriam".<sup>105</sup> Entre los reportes se encontraba, por supuesto, la misma exacta genealogía de la isla Murray que Rivers dibujara cien años antes y que aquí he incluido como figura 17.1. Desde entonces al menos yo percibo las copiosas críticas que los antropólogos posteriores hicieron al método de Rivers y a sus limitaciones bajo un sesgo distinto, como si a pesar del menor tiempo transcurrido estos juicios denigratorios hubieran envejecido mucho más que aquellos amarillentos diagramas victorianos o que la ingenuidad de sus propósitos.

Entre 1999 y 2000 se realizó en el Museo de Arqueología y Antropología de Cambridge una exhibición recordatoria de la expedición al estrecho de Torres a la que asistí y a la cual documenté. Respecto de ella se ha escrito:

<sup>104</sup> "Cultural identity and development in the Torres Strait islands", Indira Gandhi National Centre for the Arts, Nueva Delhi, 1996, [http://ignca.nic.in/ls\\_03009.htm](http://ignca.nic.in/ls_03009.htm).

<sup>105</sup> <http://www.mabonativetitle.com/info/documentaryEvidence.htm>. Véanse también los documentos de Eddie Mabo en <http://www.nla.gov.au/cdview/nla.ms-ms8822-8> y el pequeño libro de Sandi Kehoe-Forutan (1988).

Quizá el legado más famoso de la expedición es el uso de las genealogías de Rivers en respaldo de los reclamos de tierras, especialmente el Caso de las Tierras de la Isla Murray, que sentó precedentes. Esta fue la primera vez que los testimonios orales de la historia fueron aceptados en una corte australiana y que el concepto de *terra nullius* se rechazó. Uno de los querellantes, Eddie Mabo, no vivió para escuchar el veredicto a su favor pero de muchas maneras su historia conecta las diversas partes de la exhibición, desde las genealogías de Rivers hasta la fotografía de los Beizam-boai (hombres-tiburón) caminando por Townsville para la inauguración de una lápida en la tumba de Eddie Mabo (Edwards 1999: 18).<sup>106</sup>

A la luz de lo que he registrado, la necesidad de preservar la capacidad de trabajar con el mayor rigor posible sobre relaciones sociales en general y relaciones de parentesco en particular no es algo respecto de lo cual quepa abandonar el terreno sólo porque globalmente prevalece una actitud nihilista, o porque localmente hemos ignorado los hechos. El impacto de las nuevas tecnologías genealógicas y los nuevos usos forenses de las genealogías desarrolladas por los antropólogos son dos de los elementos de juicio que, a despecho de todas las críticas del método, los sesgos de la época, las ingenuidades de la epistemología, las limitaciones de las técnicas y lo soporífero que él mismo se haya tornado a veces, deberían situar el estudio del parentesco más como una posibilidad que se abre a la disciplina en el futuro inmediato que como un mal recuerdo que nos llega del pasado distante.

**Consecuencia n° 14:** Es palpable entonces que las técnicas bien empleadas, más allá de sus imperfecciones y de las objeciones científicas o posmodernas de la que fueron objeto, pueden resultar útiles no sólo para registrar los acontecimientos sino para dar la razón a quien la tiene y hasta para cambiar la historia. Pero las herramientas no califican como teorías, aunque puedan estar al servicio de ellas. No importa lo seductor y fructífero que parezca un instrumento, una técnica novedosa está muy bien en el lugar que le cabe pero no satisface un rol teórico, como aprendimos por la vía cruel en nuestra disciplina cuando se intentó la aventura del análisis componencial (Reynoso 1986a).

Aunque ahora se sabe, por ejemplo, que los diagramas de parentesco usados durante un siglo en antropología constituyen una técnica limitada y que hay otros formalismos reticulares de recambio mucho más adecuados al objetivo, esas herramientas todavía están esperando que fuera del círculo de sus promotores originales alguien haga con ellas siquiera una pequeña parte de lo que nuestros antepasados antropólogos hicieron con lápiz, papel, una red de intercambio inexistente, ningún genio sobre cuyos hombros encaramarse y una notación atroz (Foster y Seidman 1981; Collard 2000).

---

<sup>106</sup> Los Beizam-boai, miembros del mismo clan de Eddie Mabo, son bailarines enmascarados que conservan hoy las mismas ceremonias Bomai Malu que filmara en su día Alfred Haddon. Hay abundante documentación de Cambridge y del estrecho de Torres (incluyendo la filmografía completa de Haddon en la isla Murray) en mi sitio de web (Haddon 1912: 281-313).

Véase <http://carlosreynoso.com.ar/mapa-de-cambridge/> y <http://carlosreynoso.com.ar/ciencia-cognitiva-02-la-expedicion-al-estrecho-de-torres-y-los-esquemas-de-bartlett/>.

Las viejas y nuevas herramientas están ahí y no son poca cosa, a juzgar por lo que la posibilidad de su uso nos ha enseñado. Pero cualquiera sea ahora la capacidad técnica y la enseñanza epistemológica a las que ella nos ha abierto, el verdadero trabajo teórico está todavía por hacerse. A examinar esa inflexión se consagra el apartado siguiente.

## 18 – Metacrítica: Alcances y límites de la teoría de redes (y de la complejidad)

Mientras que las ciencias sociales son vistas por los investigadores de las ciencias exactas como vagas y por ello necesariamente inconcluyentes, el análisis de redes debería satisfacer a todos como una de las ramas más formalizadas de las ciencias sociales. [...] Conceptos que antes se definían con vaguedad, como rol social o grupo social pueden definirse ahora sobre un modelo formal de redes, permitiendo llevar a cabo discusiones más precisas en la literatura y comparar resultados a través de los estudios.

Peter Mika (2007: 29)

La abstrusa terminología y la sofisticación matemática en estado de arte de esta estrategia única para el estudio de la estructura social parece haber impedido a muchos “*outsiders*” aventurarse a cualquier cosa que se le acerque. El resultado ha sido una infortunada falta de diálogo entre analistas de redes, teóricos sociales y sociólogos históricos, y un empobrecimiento subsiguiente de sus respectivos dominios de investigación social. En términos de redes, los tres campos han permanecido como cliques aislados entre sí por vacíos estructurales, con estilos subculturales imposibles de ligar y discursos mutuamente incomprensibles.

Emirbayer y Goodwin (1994: 1446)

Aunque dista de ser representativo del modelo dominante en su propio ámbito de especialización, estimo que ha quedado constancia suficiente de la significación de la convergencia entre el ARS y las teorías de la complejidad para el conjunto de las disciplinas. Sin que sea preciso proclamar que ha ocurrido un giro tecnológico de escala civilizatoria o que existe ahora un nuevo paradigma en cierne, es innegable que la productividad de las herramientas complejas en la práctica y las instancias reflexivas que ellas establecen tienen pocos parangones en la historia reciente. En cuanto al lado negativo, como bien reza uno de mis artículos favoritos en ingeniería de software, ha llegado a ser axiomático tanto en tecnología como en ciencia que “no hay balas de plata” (Brooks 1975). En un terreno tan móvil y creativo como la computación científica y la programación Brooks afirmaba persuasivamente que era imposible que sobreviniese una innovación que mejorara las cosas siquiera un orden de magnitud. Sería entonces una vana ingenuidad creer que en las ciencias humanas sí pueden suceder semejantes portentos.

Al igual que sucede con cualquier otro principio algorítmico, el análisis de redes no garantiza resultados si el diseño investigativo no está a la altura de lo que se requiere, lo cual sucede con tan inquietante frecuencia que en este libro he reprimido la tentación de revisar ciertas regiones de la literatura de estudios empíricos de redes en antropología pa-

ra no ensombrecer la perspectiva de los avances potenciales con el registro de los retrocesos documentables. Muchos de éstos, tal vez demasiados, tienen que ver con malentendidos de carácter técnico. El dominio de la algorítmica de redes y grafos sólo acontece al cabo un aprendizaje de cuesta empinada y de dificultad casi prohibitiva. Buena parte del álgebra, de la programación lineal y de las teorías de la complejidad y el caos ha venido a agregarse a lo que hay que aprender. No puede apostarse que ese aprendizaje vaya a rendir fruto en todos los casos, ni que todo lo que se enseña en la academia esté en sintonía con lo que hoy es posible realizar, ni que las herramientas disponibles implementen estrictamente las operaciones que hacen falta. Por conveniente que resulte la metáfora reticular, no son pocas las problemáticas que (por el momento al menos) resultan mejor tratadas de algunas de las muchas otras formas que por fortuna existen.

Una fuente adicional de problematicidad se instaura en el momento en el que, sintomáticamente, estas muchas otras formas en contienda coagulan como una ortodoxia monolítica que alienta posturas protecciónistas del *status quo*. Con justicia o sin ella, el análisis de redes ha sido objeto de resistencia en la disciplina y no sólo por parte de quienes la desconocen. Lo triste es que no siempre esta repulsa carece de razón. La acerba crítica que realizara Jeremy Boissevain a fines de los setenta incurre en gestos gastados y afirmaciones sobre la facilidad del análisis reticular que hoy se evaluarían de otra forma, pero en sus mejores momentos parece escrita ayer y todavía se mantiene:

El análisis de redes no ha realizado su potencial por un número de razones. Entre ellas se encuentra una sobre-elaboración de técnica y datos y una acumulación de resultados triviales. Básicamente, el análisis de redes es más bien simple: formula preguntas sobre quién está vinculado con quién, la naturaleza de ese vínculo, y cómo la naturaleza de éste afecta la conducta. Son preguntas relativamente directas, cuya resolución es bastante simple. Por diversas razones, han generado un arsenal de conceptos, términos y manipulaciones matemáticas que aterroriza a los usuarios potenciales.

[...] La batería de técnicas con las que se han equipado los científicos sociales para contestar las preguntas limitadas que el análisis de redes puede resolver produce exceso [*overkill*]. Se matan moscas con dinamita. Por cierto, se necesita ayuda de estadísticos y especialistas en computación si el número de los informantes y las variables hace que el cálculo manual sea problemático. La mayor parte de los cálculos, sin embargo, tienen que ver con simple conteo de narices y tabulación cruzada. Ni las preguntas que se formulan ni el tipo y confiabilidad de los datos justifican normalmente el uso de las técnicas y conceptos que nos han venido de la teoría de grafos. A medida que los entusiastas practicantes se esfuerzan por un rigor aún mayor, el análisis de redes corre el riesgo de devenir aún más alejado de la vida humana y más hundido en la ciénaga de la involución metodológica (Boissevain 1979: 393).

Un gesto característico en torno al análisis de redes, manifiesto tanto en sus adversarios como en sus practicantes, es el de no percibir que el ARS gira en torno de una técnica y no de una teoría; este equívoco es concomitante a la identificación de lo “teórico” como algo que se refiere fundamentalmente al dominio empírico antes que a la dimensión epistemológica. A propósito de la colección de Boissevain y Mitchel (1973), por ejemplo, escribe Christine Inglis:

La colección indica una creciente sofisticación metodológica en el uso del análisis de redes. [...] Por desdicha, la colección de artículos no revela un desarrollo teórico equivalente. Muchos autores conciben el análisis de redes como una respuesta teórica potencial al estructural-funcionalismo, aunque admiten que este potencial no se ha realizado en plenitud. Dado que Barnes utilizó redes por primera vez en sus análisis de 1954, y dado que el campo de la sociometría, estrechamente relacionado, se estableció hace todavía más tiempo, no es razonable argumentar, como lo hacen algunos autores, que el potencial no realizado resulta del desarrollo reciente del análisis de redes. Una lectura de esta colección sugiere que hay una explicación más importante, la cual yace en contradicciones del análisis de redes establecidas hace mucho tiempo y mayormente no cuestionadas. Éstas resultan sobre todo evidentes en las perspectivas y supuestos divergentes que se encuentra en los usuarios del análisis de redes. Algunos lo han usado como una forma de dar cuenta de la existencia de patrones en las normas y los roles donde las agrupaciones sociales y las categorías exclusivas están ausentes. Otros lo han usado para estudiar la movilidad de los individuos para algún propósito especial. A pesar de los reclamos teóricos en pro del análisis de redes, el primer uso no involucra un rechazo de la importancia de la estructura social sino que meramente utiliza una forma estructural distinta a través de la cual se estudia el proceso del control social. [...] Kapferer va más lejos y niega la capacidad del análisis de redes para proporcionar una alternativa teórica a la teoría estructural-funcional. Él argumenta convincentemente que el análisis de redes no es una teoría sino una técnica de recolección de datos que es inservible a menos que se la coordine con una formulación teórica apropiada. En su prefacio, Boissevan indica que el simposio discutió, a menudo inconcluyentemente, muchas cuestiones que en apariencia se vinculaban con las divergencias que aquí se discuten. Es una pena que en la colección no se haya incluido una reseña de ese debate, dado que la impresión que subsiste en la de una frustrante falta de diálogo sobre cuestiones teóricas entre los usuarios del análisis de redes (Inglis 1975: 113-114).

En el otro extremo del registro, han habido formas veladas de glorificación del ARS fingiendo que se está condenando su diversidad, partiendo del supuesto de ésta es tan inherentemente provechosa que si siquiera sus extremismos son condonables. Hace más de veinte años escribía Barry Wellman:

El análisis estructural (o de redes) ha sido mixtificado por muchos científicos sociales. Algunos lo han rechazado como una mera metodología que carece de debida consideración por los asuntos sustantivos. Algunos le han escapado a sus términos y técnicas inusuales, pues no han jugado con bloques y grafos desde la escuela primaria. Algunos lo han despreciado tomando la parte por el todo y diciendo, por ejemplo, que su estudio de la estructura de clases no tiene necesidad de poner foco en los lazos de amistad enfatizados por el análisis de redes. [...] Algunos incluso han usado “*network*” como verbo y “*networking*” como sustantivo para abogar por la creación deliberada y el uso de redes sociales para fines deseados tales como conseguir trabajo o integrar comunidades. [...] Estos malentendidos surgieron porque demasiados analistas y practicantes han mal utilizado el análisis de redes como una bolsa de métodos y técnicas. Algunos lo han endurecido como un método, otros lo han ablandado como una metáfora (Wellman 1988: 19-20).

Una porción importante de lo que se ha dado en llamar análisis de redes no es analítico en el sentido propio de los modelos que describen mecanismos, sino que deriva más bien en correlaciones estadísticas que desde siempre han sido propias de los modelos de caja negra. Esto ha generado una oleada de críticas por parte de estudiosos para quienes los modelos mecánicos son siempre preferibles a los estadísticos; en ARS los principales promoto-

tores de esta línea de pensamiento han sido el marxista noruego Jon Elster (1983; 1998) y el dinamarqués y teórico de la desigualdad Aage Bøttger Sørensen [1941-2001]. Según el sociólogo de Pittsburgh Patrick Doreian, quien ha reflexionado en términos más lúcidos de lo común sobre la epistemología inherente al ARS, la imagen que Elster y Sørensen (1998) alientan de los mecanismos sociales vendría a ser algo así como:  $e_1 \rightarrow [M_1] \rightarrow s_1$  donde  $e_1$  y  $s_1$  son entradas y salidas, respectivamente, mientras que  $M_1$  es una caja negra. En el modelado estadístico  $e_1$  y  $s_1$  son variables y la caja negra está presente como objeto mágico; en el análisis de mecanismos, en cambio, uno se mete dentro de la caja negra y procura explicar los fenómenos:

El ataque sobre el aspecto de caja negra del modelado causal orientado hacia variables es más bien obvio. De acuerdo con Elster (1998) en su comentario sobre el uso de estadísticas, es difícil discernir causalidad a partir de correlaciones (algo que los modeladores causales no negarían), y es por esa razón que las explicaciones estadísticas son débiles y vulnerables. A él se une Sørensen (1998) en una crítica extendida del uso (ciego) del análisis de regresión que confunde las ecuaciones con teorías. [...] Los mecanismos como fragmentos de teoría o de comprensión son piezas sustantivas del conocimiento. El compromiso con los mecanismos sociales no excluye la idea de variables o de análisis de datos construidos en términos de variables. Si éste es el caso, gran parte de los ataques sobre el modelado causal, la regresión y el SEM por el hecho de que involucran variables se encuentra equivocado (Doreian 2001: 98).

Es patente que en esta querella ninguna de las partes tiene una clara noción sobre los alcances de los diversos tipos de modelos que hemos deslindado al principio de esta tesis (ver Doreian 1995 y más arriba, pág. 12). Doreian utiliza de manera peculiar la expresión “modelado causal” en lugar de “modelado estadístico” y sostiene que los modelos estadísticos brindan alguna clase de explicación, como si ésta fuera la única operación conceptual digna de respeto en un método científico. Como quiera que se los llame, exceptuando el *path analysis* y otras técnicas específicas de regresión los modelos estadísticos ni demuestran relaciones causales ni están diseñados con vistas a la explicación. Alguna razón le asiste a Doreian, sin embargo, en su defensa de los modelos estadísticos como un género de indagación que merece su lugar bajo el sol.

Buena parte de las evaluaciones positivas del ARS y su área de influencia, mientras tanto, está sistemáticamente cualificada. En un artículo de enciclopedia que escribió a mediados de los 90 afirma el antropólogo especialista en redes Roger Sanjek:

Desde la década de 1970 los antropólogos han publicado pocos estudios de redes. El análisis de redes requiere trabajo de campo diligente e incluso entonces necesita contextualizarse e interpretarse junto a otra clase de información. En sociología, un vasto vocabulario técnico relacionado con mediciones formales marca hoy en día al análisis de redes (Scott 1990); en el discurso antropológico, las redes aparecen hoy más utilizadas como metáforas (cuando se habla sobre *networking*) que como método. Pero cuando se formulan preguntas teóricas que pueden ser resueltas con datos reticulares, el análisis de redes sigue siendo una herramienta de investigación valiosa aunque sub-utilizada (Sanjek 2002: 598).

En algún momento prevaleció un impulso excesivamente formalista en la corriente principal del ARS; autores de preeminencia llegaron a decir que “las actuales descripciones de la estructura social [en sociología], mayormente categoriales, no poseen un fundamento

teórico sólido” y que “los conceptos de redes pueden ofrecer la única forma de construir una teoría de la estructura social” (White, Boorman y Breiger 1976: 732).

Pero así como la reflexión epistemológica de carácter positivo fue a veces penosa, una porción generosa de la autocrítica no resultó mucho mejor. Con frecuencia se diluyó en un amontonamiento de estereotipos ya suficientemente desplegados en otras ocasiones a propósito de otras técnicas, achacando a éstas desviaciones que sólo la teoría tiene por misión enderezar:

[Muchos de los estudiosos de redes] están por completo involucrados en problemas técnicos. Están ocupados refinando conceptos existentes y agrandando el arsenal; tratan de armar clasificaciones más elaboradas, e intentan inyectar en el análisis de redes conceptos y procedimientos matemáticos para darle un tono más “científico”. Evidentemente estos “técnicos” de redes no han tenido mucho tiempo para darse cuenta que el análisis de redes está hecho para resolver problemas antropológicos (Bax 1999: 3).

Es imposible no percibir el parecido entre estas clases de expresiones y las de los teóricos que, tal como lo hizo Pierre Bourdieu, han mantenido distancia de las técnicas reticulares para abrazar otras a las que la mayoría de los lectores en el campo discursivo no presta atención pero que matemáticamente son por lo menos igual de abstrusas. Me refiero en particular al análisis de correspondencias múltiples. Escribía Bourdieu:

La propia inmensidad de la tarea hace que debamos resignarnos a perder elegancia, parsimonia y rigor formal, es decir, a abdicar a la ambición de rivalizar con la economía más pura, sin renunciar pese a ello a proponer modelos, pero fundados en la descripción más que en la mera deducción, y capaces de ofrecer antídotos eficaces al *morbus mathematicus*, del que los pensadores de la escuela de Cambridge [como Ernst Cassirer] ya hablaban a propósito de la tentación cartesiana del pensamiento deductivo (Bourdieu 2001: 26)

La economía norteamericana, según el mismo autor, “se defiende de cualquier implicación política mediante la altura ostentosa de sus construcciones formales, de preferencia matemáticas” (p. 23). En este punto se me hace lastimoso encontrar en la escritura de un autor tan influyente expresiones de retórica y analiticidad tan rudimentarias a propósito de técnicas que son, matemáticamente hablando, bastante menos morbosas que las que él mismo prodiga en sus apologías del tipo de análisis por el cual ha decidido dejarse tentar (cf. Bourdieu 1984: 73, 107, 111, 287-290). También me parece a mí que en el contraste entre deducción y descripción es claramente esta última la más primitiva y la más *mera* de ambas, y la que menos se concilia con las razones que justifican la construcción de un modelo; pero así es como son las cosas.

Si bien en toda ciencia parecería haber una distribución 20/80 entre los trabajos productivos y los que no lo son, un número significativo de entre los estudios que utilizan técnicas de redes ha resuelto problemas antropológicos y sociológicos en la misma proporción, o acaso en una un poco más alta, que los que han usado técnicas de otra naturaleza. Dejando a un lado los complicados razonamientos de Bourdieu (merecedores de un análisis más detenido que el que aquí puedo concederle) la crítica de Bax, como tantísimas otras, confunde el valor formal de una técnica con su uso contingente, niega el derecho de elaborar instrumentos de propósito general y deja el campo expedito a un vaciamiento metodológico.

co como el que efectivamente se materializó a lo largo del cuarto de siglo subsiguiente. Lo mismo se aplica a esta observación de Price:

Los supuestos sobre las reglas y recursos sociales que se emplean en la producción y reproducción de patrones sociales rara vez se discuten explícitamente en los estudios socio-lógicos de redes. [...] Muchos estudios de redes [...] toman como punto de partida una visión de la cultura como sistema coherente de símbolos y significados. Aparentemente prevalece una concepción de la agencia humana pasiva, adaptativa, receptiva. [...] El análisis de redes esotérico puede resultar profundamente engañoso cuando se lo traspone a agendas de investigación aplicadas sin que se especifiquen los supuestos en que esos trabajos se fundan (Price 1981: 304)

También Wellman (1988: 23) reprocha a los métodos tomados de una teoría elemental de grafos el hecho de que los diagramas se vuelvan indescifrables cuando hay que representar más de una docena de nodos, lo cual es claramente una exageración. Por un lado, las prestaciones de alta resolución de hoy en día (NetView, Visone, Walrus, ORA) permiten tratar visualmente redes de algunos centenares o miles de nodos con cierta comodidad; las guías de usuario de Walrus, por ejemplo, aconsejan armarse de paciencia cuando los nodos a tratar son (digamos) más de noventa mil; un lote de prueba para el programa CFinder, a su vez, incluye 2.070.486 nodos con 42.336.692 vínculos. En segundo lugar, en todo programa de computación evolucionado existen filtros y mecanismos selectores que consideran algunos elementos (regiones, jerarquías, comunidades, cliques, subgrafos, motivos, clanes o linajes) postergando o sacando de foco la visualización del resto; en tercer lugar, un grafo no es sino una forma eventual de representación de una matriz. Su función no es analítica sino sintética, *for your eyes only*: aunque a menudo parezca lo contrario, los cálculos se realizan sobre los datos matriciales y sólo muy de tarde en tarde a partir de la configuración gráfica; hay finalmente infinitas graficaciones posibles de una misma matriz.

Es verdad que la visión humana se especializa y alcanza un rendimiento superlativo en el descubrimiento de patrones a los cuales ni siquiera una batería coordinada de análisis puede sacar a la luz; pero hoy en día los algoritmos de reconocimiento de patrones a partir de datos numéricos, matrices algebraicas o series temporales pueden emular o hasta suplir con ventaja las capacidades artesanales del golpe de vista. Algunos de esos recursos algorítmicos, de hecho, constituyen aplicaciones de referencia de la propia teoría de grafos y del álgebra lineal (Theodoridis y Koutroumbas 2003; Vijaya Kumar, Mahalanobis y Judday 2005; Conte y otros 2007; Kandel, Bunke y Last 2007). Por otro lado (y tal como se comprueba en la figura 15.4), sólo cuando el grafo está graficado de unas pocas maneras específicas, convenientes e improbables la mirada puede descubrir en él alguna clase de patrón, palpar una estructura, inferir sus propiedades, situarlo en una clase.

Otros cuestionamientos del análisis pueden haber sido atendibles en un principio pero ya claramente no lo son:

Demasiado a menudo el análisis de redes niega en la práctica la noción crucial de que la estructura social, la cultura y la agencia humana se presuponen las unas a las otras; o bien conceptualiza inadecuadamente la dimensión crucial del significado subjetivo y la motivación –incluidos los compromisos normativos de los actores– y por ende falla en mos-

trar cómo es que la acción humana intencional, creativa, sirve en parte para constituir esas mismas redes sociales que a su vez construyen tan poderosamente a los actores. En sus versiones menos matizadas, de hecho, la estrategia de redes emerge como la imagen invertida de sus contrapartes interpretativas y hermenéuticas (Emirbayer y Goodwin 1994: 1413).

Una vez más hay que insistir en que la analítica reticular es y seguirá siendo un instrumento parcial al servicio de una teoría más envolvente; en consecuencia, será tanto o tan poco adecuada frente a la dimensión crucial del significado subjetivo (sea ello lo que fuere) como pueden serlo cualesquiera otras operaciones formales o discursivas. Por otro lado, el objeto empírico de una red y de sus algoritmos de cálculo puede ser tanto *relacional* (refiriéndose a las conexiones observables entre los miembros de una sociedad) como *ideacional* (referida a las identificaciones y percepciones de los actores en el seno de una colectividad) (cf. Moody y White 2003: 104). Sus datos bien pueden provenir de lo más hondo de la perspectiva del actor y estar imbuidos de toda la subjetividad y emocionalidad que haga falta. De hecho, las técnicas de elicitation de redes sociales más utilizadas (las redes egocéntricas) toman como punto de partida, necesariamente, la visión que los sujetos tienen del conjunto desde sus propias coordenadas (Wasserman y Faust 1994: 43-56; Knoke y Yang 2008: 15-44). Tampoco cabe imponer a todo modelo la obligación de contemplar un aspecto específico del fenómeno (ni aun algo de tan alta reputación como la subjetividad) si el investigador decide soberanamente no tomarlo en consideración.

Otra crítica frecuente, que viene de los días de la sociometría, atañe a la heterogeneidad de los enfoques y a las variaciones tácticas en la formalización:

El uso de medidas sociométricas ha ido acompañado por una incidencia razonable de estudios que han procurado contribuir a una mejor comprensión de las propiedades de medición de esos instrumentos. Por el otro lado, los cálculos de atracción interpersonal que se han empleado han sido típicamente de naturaleza ad hoc, y ha habido pocos intentos sistemáticos de explorar las consecuencias de muchas variaciones en los procedimientos que fueron asistemática o contingentemente introducidos por diversos investigadores, o incluso por el mismo investigador en diversas ocasiones (Burt 1980: 85).

En la vida real, sin embargo, ninguna ciencia se encuentra estandarizada al grado de la uniformidad ni hay en ello un valor agregado perceptible; no hay dos manifestaciones idénticas, por ejemplo, de las concepciones que articulan la mecánica cuántica, de los cálculos que se despliegan en la sintaxis del espacio, de las notaciones de las funciones matemáticas o de los algoritmos que conforman la dinámica no lineal (cf. v. gr. Landau y Lifschitz 1977 *versus* Stapp 2007). La teoría de grafos, la expresión más avanzada y genuinamente teórica de los formalismos reticulares, carece de la más mínima huella de estándares nomenclatorios; casi nadie llama a las primitivas fundamentales de la misma manera. Los puntos se han llamado vértices, nodos, conexiones, empalmes, actores, 0-simplex, sitios, elementos; las líneas se conocen como aristas, bordes, arcos, ramas, 1-simplex, interacciones, ligaduras, elementos. Ni remotamente estos lexemas son sinónimos, en el sentido de significar todos *lo mismo*; cada cual posee denotaciones y connotaciones distintas en cada texto que habla de ellos y un sentido diferente para cada observador que los interpreta (Lawler 1976: 20). El mismo carnaval terminológico se aplica, natural-

mente, al álgebra de matrices (Harary 1969: 8-9). La clave de las matemáticas implicadas pertenece al orden del sistema sintáctico, por así decirlo, antes que al orden de la referencia semántica; mientras en las disciplinas humanas un mismo término encubre muchos sentidos, en las matemáticas distintos nombres convergen en los alrededores de un mismo sintagma o de otros que ocupan posiciones más o menos parecidas. Es el propio Harary quien a propósito de ello se sirve de un epígrafe shakespereano (*Romeo y Julieta*, II, II, 1-2) que algunos han encontrado enigmático en este contexto:

*What's in a name? That which we call rose  
By any other name would smell as sweet.*

No debe verse en la inestabilidad terminológica la fuente de un dilema. En el otro extremo del espectro disciplinario, tampoco existen dos definiciones parecidas del círculo hermenéutico, de la deconstrucción, del sujeto foucaultiano, del inconsciente, del chamanismo, de la crítica cultural o de la crisis de la representación.

Como quiera que sea, la indefinición conceptual no ha sido obstáculo ni para la gestación de una teoría formal ni para la súbita resurrección de la idea de redes (Buchanan 2002; Kelsey 2010). Pese a las objeciones que se han montado, si se observa la relevancia que el análisis de redes ha tomado en el seno de las teorías de la complejidad y el caos, se comprobará que incluso las manifestaciones de ARS que en antropología son marginales se han vuelto temas de punta y favoritas en la carrera por financiación en la escena transdisciplinaria (cf. White 2001; Mitchell 2006; Durrett 2007; Mika 2007; Abraham, Hassanién y Snášel 2010; Furht 2010; Ting, Wu y Ho 2010).

Debido al hecho de que se está viviendo una etapa de deslumbramiento comprensiblemente acrítica, la reflexión epistemológica devino una especie rara. En ocasiones se trata al ARS como si fuera la única técnica a la vista cuando sería mejor que cumpliera un papel más discreto, como un recurso entre otros; no ha sido infrecuente tampoco que el ARS y la complejidad (juntos o por separado) prohijaran memorablemente algunos de los *papers* más letárgicos y rutinarios que se hayan dado a la imprenta. En muchos de ellos y en ambos bandos en contienda las prédicas axiológicas se prodigan de manera desproporcionalada, como si la exaltación o la condena del método fuesen las únicas opciones disponibles.

Eso sí, no todos los veredictos condenatorios obedecen a la necesidad de quienes piensan distinto: recién en los últimos años los estudiosos de redes han comenzado a elaborar de manera reflexiva el problema de los alcances, los constreñimientos, los usos fetichistas de la tecnología, la diagramación y la publicación de matrices del tamaño de sábanas como fines en sí mismos; y más tarde que eso todavía están aprendiendo a desarrollar la autocrítica requerida sin impugnar indebidamente el valor formal de los instrumentos que se utilizan (Granovetter 1990; Emirbayer y Goodwin 1994; Miceli 2010).

La crítica y la autocrítica, de todos modos, deben ser miradas a su vez críticamente. El hecho es que la comunidad de las redes y los grafos se encuentra hoy en día dividida en dos, en una escisión tan honda como la que funda la dicotomía entre las ciencias duras y las blandas, o las cualitativas y las cuantitativas. La Gran División tiene que ver esta vez con

el valor que se otorga al descubrimiento de Barabási y otros y a la irrupción de las ideas de la complejidad en el seno de las teorías de redes. Entre los estudiosos que todavía se empeñan en no integrar radicalmente la noción de distribución de ley de potencia y todo lo que ella trae aparejado (no linealidad, sensitividad extrema a las condiciones iniciales, pequeños mundos, impropiedad de las operaciones de muestreo, puesta en crisis de la distribución normal o gaussiana como el modelo de referencia, necesidad de examinar el concepto de prueba estadística de la hipótesis nula, imposibilidad de comparar distribuciones regidas por escalas incommensurables, puesta en evidencia de la linealidad inherente al álgebra de matrices, dinamicidad intrínseca, fractalidad, criticalidad, transdisciplinariidad constitutiva) se manifiesta una actitud de irritación que con frecuencia se traduce en sarcasmo. Analizando la bipartición de las citas bibliográficas en las dos comunidades, escribe por ejemplo Linton Freeman:

A partir de la imagen resulta claro que este fenómeno [las redes sociales] está siendo hoy estudiado por dos conjuntos distintos de individuos. Las consecuencias de esta partición son infortunadas. Necesariamente conducen a dilapidar esfuerzos: reinventar herramientas existentes y redescubrir resultados empíricos establecidos. Los físicos Barabási y Albert (1999), por ejemplo, reportaron un “nuevo” resultado que tiene que ver con la tendencia de los nodos de una red a manifestar gruesas desigualdades en el número de otros con los que están vinculados. Ellos se consagraron a desarrollar un modelo diseñado para explicar esa tendencia. Pero Lazarsfeld había descripto la misma tendencia en 1938 (Moreno y Jennings 1938) y Derek de Solla Price había desarrollado esencialmente el mismo modelo tan tempranamente como en 1976 (Freeman 2004: 166).

Ante esta reacción son varias las preguntas que vienen a la mente. Si los analistas de redes conocían esa distribución desde tan antiguo ¿por qué siguieron apegados a modelos gaussianos y a las distribuciones normales, de Bernoulli o de Poisson? ¿Por qué las encyclopedias de la línea Wasserman-Faust no incluyeron ni una palabra sobre los pequeños mundos, la evolución de grafos aleatorios, los procesos de auto-organización y *attachment* preferencial, los modelos dinámicos, la fractalidad, las transiciones de fase, la percolación, los procesos de difusión o las distribuciones que se remontan ya no a de Solla Price sino al mismo Vilfredo Pareto, a quien –dicho sea de paso– tampoco mencionan?

En fin, ¿encarnan las redes un *hype* condenado a marchitarse más temprano que tarde? No hace falta ningún dictamen emanado de los estudios culturales de la ciencia o de la sociología del conocimiento para advertir que en toda corriente incluso los descubrimientos genuinos, las intuiciones poderosas, corren el riesgo de disolverse en (o de confundirse con) la marejada de la producción que acata los estilos de moda debido a la dinámica misma de la actividad científica y a sus modos coactivos de producción.

Tempranamente en el desarrollo de esta tesis he documentado hasta qué extremo la metodología de la prueba de significancia de la hipótesis nula (NHST) degeneró en un ritual académico alentado exclusivamente en las ciencias humanas (ARS inclusive) creyendo tal vez que se trataba de un precepto que nos venía impuesto desde las ciencias formales. Este ritual decidió la política de publicación o exclusión de cientos de ensayos y libros científicos sin que existiese en torno de ese procedimiento un fundamento conceptual consistente (véase más arriba, pág. 11, nota 3, así como Sterling 1959; Cowger 1984; Ser-

lin y Lapsley 1993; Cohen 1994; Sterling 1995; Gill 1999). Aunque se conocen sus fallas y se ha tomado nota de la polémica (Cowgill 1977; Chibnik 1985: 140), la moda imperial de la NHST se ha extendido a las estadísticas antropológicas y arqueológicas, perdurando sus malos usos hasta tiempos recientes, sin que nadie en toda la profesión, hasta donde la vista alcanza, se haya ocupado de comunicar la noticia y elaborar una alternativa (p. ej. Thomas 1976: 459-468; Pelto y Pelto 1978: 162-164).

Al lado de los silencios inexplicables están las modas, no necesariamente incomprensibles. En materia de redes la moda del momento sin duda tiene que ver con la ubicuidad de la distribución [de ley] de potencia en los procesos y fenómenos complejos. Sucede como si sólo en presencia de esa pauta pudiera justificarse hablar de la complejidad del objeto que a uno le ha tocado en suerte, o como si en el trabajo científico se ganaran tantos más puntos cuanto más astronómico y menos lineal resulte ser el espacio de fases del problema que se tuvo la lucidez de plantear. En un *blog* en la Universidad de Harvard se ha escrito recientemente:

Mientras que el descubrimiento de que los sistemas pueden describirse como líneas rectas en gráficos log-log siempre tendrá su lugar en la literatura, parece haber escasez de trabajos que realmente apliquen estos *insights* a problemas reales  
[\(http://www.iq.harvard.edu/blog/netgov/powerlaws/\)](http://www.iq.harvard.edu/blog/netgov/powerlaws/).

Sin duda el planteo es atinente, por cuanto se corre el riesgo de que nos arrojemos todos en el vórtice de una numerología de regresión infinita, un giro parecido al que en su momento (vale decir, demasiado tarde) definió el destino de la semiótica: todo es una red auto-organizada o un fractal autosimilar ahora, igual que unas décadas atrás todo era signo, sin que ni en uno ni en otro caso siempre esté claro a qué fines sirve establecer semejante cosa, a qué finalidad ideológica o narrativa resulta funcional y qué es posible hacer metodológicamente desde esa constatación en adelante.

Aun cuando los más simples programas de análisis de redes de dominio público nos proporcionen todo un repertorio de valores de cálculo resta todavía una tarea formidable de depuración algorítmica y conceptual. En la actualidad, el grueso de los guarismos usuales sufre la impronta de una estadística extravagante que presupone distribuciones cercanas a la normalidad, espacios convexos, regímenes temporales monótonos y correspondencias eternamente lineales entre parámetros y variables. El carácter problemático de las distribuciones empíricas se conoce desde hace tiempo; escribía el antropólogo Michael Chibnik una década antes del (re)descubrimiento de la ley de potencia:

Las pruebas estadísticas paramétricas usualmente presuponen que las variables en la muestra y en la población están distribuidas normalmente. Sin embargo, las variables de interés para los antropólogos a menudo están distribuidas no-normalmente. Las distancias de matrimonio son a veces leptokúrticas, [...] casi todas las medidas de fortuna son log-normales [...] y el número de esposas que tienen los hombres en las sociedades africanas usualmente tiene una distribución binomial negativa [...]. Más todavía, los antropólogos socioculturales frecuentemente poseen poca información sobre la forma de la distribución de una variable en particular (Chibnik 1985: 138).

En esta coyuntura, ni siquiera las herramientas más apreciadas por la comunidad de los especialistas proporcionan la asistencia que deberían. Muchos de los procedimientos algorítmicos incluidos en las operaciones analíticas del software de redes convencional distan de ser ya sea matemática o antropológicamente satisfactorios. Las medidas de pertenencia a comunidades, cliques, clanes,  $k$ -plexos o clubes que se basan en distancias, por ejemplo, no se concilian para nada con las redes que poseen la propiedad de pequeños mundos (Reichardt 2009: 19). A su vez, el cálculo de *closeness centrality* no funciona adecuadamente para grafos que no están plenamente conectados; diferentes técnicas de medición de una misma cosa (como la distancia euclíadiana y CONCOR para la equivalencia estructural de grafos) arrojan mediciones aparatosamente discordantes, con una sensitividad exacerbada frente a las imprecisiones del cálculo; estrategias que son claras y legítimas para el cálculo multivariado (como el *squared error*) no lo son cuando se trata de redes; los modelos de costo de flujo en redes que no son lineales y convexos sino cóncavos y no lineales desembocan invariablemente en la intratabilidad, excepto para los casos más triviales; y así hasta el éxtasis. Las matemáticas subyacentes a buena parte del modelado en bloque y de otras estrategias alternativas se saben además particularmente incorrectas (Doreian 1988; Faust 1988; Wasserman y Faust 1994: 380-381, 392; Reichardt 2009: 34; Brandes y Erlebach 2005: 30; Bernot, Caselles y Morel 2009: 2; Miceli 2010).

Enmendar estos errores no es tampoco cosa fácil: un alto número de operaciones cuya implementación sería beneficiosa en la investigación empírica (determinar el isomorfismo o comparar elementos de distintos grafos, por ejemplo, o averiguar si en un grafo existe un circuito hamiltoniano, o un clique de determinada cardinalidad, o hallar cuál es el *path* más largo dentro suyo) resultan pertenecer a la clase de los problemas NP-duros o NP-completos (Cvetković, Rowlinson y Simić 1997: 6-10; Hochbaum 2003: 23; Brandes y Erlebach 2005: 86; Dasgupta, Papadimitriou y Vazirani 2006: 247-305). Los equivalentes antropológicos de esas operaciones o de otras análogas se encuentran en la misma situación. En el estructuralismo lévi-straussiano todavía se podía esconder el hecho de que las aseveraciones que lo constituyan no estaban apoyadas en pruebas susceptibles de consenso, que el método analítico era por completo indecidible, que el espacio de fases no estaba siquiera definido o (como hemos comprobado ya en la pág. 32) que los mismos datos aportados por el autor refutaban su teoría; en la técnica de redes, con sus procedimientos computarizados en el sentido lógico de la palabra, tal género de astucia se ha tornado casi impracticable; si algo está definitivamente claro es que en la disciplina que fuere gran número de problemas no admite una solución fácil y en muchas ocasiones no admite una solución en absoluto.

No todo está pre-codificado, sin embargo. Hay extensas áreas de vacancia e innumerables tareas pendientes: la clarificación de las relaciones entre los conceptos reticulares, las teorías de la jerarquía y los procesos e interacciones que definen las clases sociales; el desarrollo analítico y algorítmico de redes multimodales, grafos pesados, digrafos y grafos bipartitos; la integración plena de la teoría de grafos en las herramientas de ARS; la inclusión en ellas de recursos bien articulados de programación lineal, programación dinámica y programación no lineal; la exploración de nuevos campos combinatorios, como la geo-

metría combinatoria (o teoría de matroides); la revisión drástica de las normativas de muestreo en objetos cuya distribución estadística requiera de otras tácticas de elicitación de datos; la elaboración de las relaciones de complementariedad o antagonismo entre el análisis de redes, el análisis multivariado en general y el análisis de correspondencias múltiples en particular; el mapeado cuidadoso de los conceptos disciplinares sobre los términos de la algorítmica de redes y grafos y sobre todo el sinceramiento respecto de las categorías antropológicas que no puedan sustanciarse matemáticamente y deban por ello imaginarse de otra manera, así como de las propiedades matemáticas abstractas que no posean un significado manifiesto y un efecto posible, respectivamente, en la comprensión y en la transformación de la realidad social.

De todas las tareas pendientes recién nombradas acaso la opción entre la imposición y la deslegitimación del muestreo implique una dicotomía más extrema que la diferencia entre (digamos) las cualitatividades difusas del posmodernismo y los rigores intransigentes de la cuantificación a ultranza. Muestrear o no muestrear, ése es el dilema. El hecho es que operando sobre un conjunto que posee una distribución exponencial (ley de potencia incluida) el muestreo genera un subconjunto que ha de responder (con máxima probabilidad) a una distribución gaussiana o de Poisson, situando a los ejemplares tratados como protagonistas de la encuesta de campo en la cúspide absoluta de una curva inexistente (Lawler 1976: 5-8; Taleb 2007). El subconjunto deviene una caricatura de la totalidad; caricatura que, por desdicha, se encuentra consagrada por el uso y que se presume válida por defecto tanto en los cuarteles laplacianos del cálculo transcultural en Yale como en las oficinas donde se promueve el paradigma hermenéutico del conocimiento local.

Mientras algunos autores excluyen el muestreo como una operación legítima en el análisis de redes (Hanneman 2005), otros recomiendan diferentes técnicas de *sampling* más o menos refinadas (Frank 1971; Wasserman y Faust 1994: 30-35; Knoke y Yang 2008: 15-20). Mi juicio es que no se puede imponer una operación de inducción que se sabe groseramente distorsiva a un modelo en el que impera una bien conocida y extrema sensibilidad a las más pequeñas diferencias en los valores iniciales, y que gira en torno de un constructo cuya sistematicidad caería en pedazos de ser incompleta la representación de sus relaciones estructurales.

Ya no estamos en los tiempos de Jeremy Boissevain (1974), quien con las herramientas a su alcance se quejaba de la enormidad de sus pequeñas redes maltesas; ya no es creíble tampoco la figura del explorador solitario, munido de una libreta y un lápiz y librado a su imaginación y a sus propias fuerzas en el corazón de las tinieblas. Si la red a estudiar resulta ser muy grande hoy en día es posible pensar en otras opciones de censo, de foco, de segmentación, de trabajo en equipo, de modelado adaptativo, de inferencia colectiva, de captura de datos por analogía con las operaciones de *crawlers* y *bots* en la Web (p. ej. Hill, Provost y Volinsky 2007; Abraham, Hassanien y Snášel 2010; Furht 2010; Ting, Wu y Ho 2010). Una mala aproximación a la distribución correcta es mil veces preferible a un valor exacto inscripto en una ley estadística equivocada. Éste es al menos mi punto de vista; pero la disputa no está zanjada.

A pesar de estas lagunas y ambigüedades, el ARS se ha consolidado al punto de cristalizar en una ortodoxia y un modo burocrático característico, centrado en el despliegue más o menos rutinario de un ejercicio técnico. Por eso mismo convendría también reformular los principios rectores del trabajo analítico desde la raíz, comenzando por una discusión epistemológica todavía más sistemática y radical que las que aquí me encuentro desarrollando, pues la rutina a la que me refiero y que se percibe cada vez con mayor asiduidad y abandono no hace justicia al potencial innovador de las ideas en juego.

El problema, creo, finca en que la excelencia de las técnicas desplegadas no resuelve el dilema de la posible falta de vuelo teórico de una investigación ni es capaz de corregir una estrategia fallida. El trazado de la visualización de la red cuando se acaban de volcar a la máquina los datos elicidos y el listado de las infinitas estadísticas que se desencadenan por poco que se presione un botón virtual no deberían constituir más que un paso en el proceso metodológico, un paso sobre cuyo carácter preliminar y parcial nunca se podrá insistir demasiado. El deslinde de una determinada distribución en los parámetros, variables y conductas de un objeto reviste entonces una importancia fenomenal pero no debería señalar el final de la búsqueda; tendría que ser apenas un indicador heurístico sobre la clase de asuntos que uno tiene entre manos y sobre lo que todavía resta afrontar.

Para avanzar a partir de allí no se requiere un instrumento de procesamiento de datos sino un método al amparo de una teoría, y es evidente que en el corto y mediano plazo nunca habrá sustitutos mecánicos para llevar a cabo esa labor, ni recursos mágicos para obtener (cualquiera sea la calidad de las preguntas que se formulen) una representación única y definitiva de las cosas tal cual son por poco que se aplique un procedimiento. Aun contando con montones de señales cualitativas o cuantitativas sobre la naturaleza de la estructura y los procesos inherentes al objeto (y cualquier programa de computación puede proporcionar una cifra astronómica de ellas) la circunstancia nos remite al principio de René Thom que había propuesto al principio de esta tesis: no tiene sentido hablar de fluctuación, de *alea*, de desorden, de emergencia, de medida e incluso de evento, excepto en relación con la descripción epistemológica en cuyo seno esas conductas se manifiestan como tales. En el mismo registro, es palpable que “la cantidad (como decía una vez más Gregory Bateson 1980: 47-48) no determina la pauta”.

Dado que el tema está sobrecargado de consecuencias y moraleja, invito a pensar en estos factores y a interrogarlos con el detenimiento que merecen.

## 19 – Conclusiones

Nadie ha sugerido que la tarea sea simple, o que el punto de inicio más estratégico se identifique fácilmente, o que el analista será necesariamente capaz de comenzar en este punto aun si logra identificarlo, o que retendrá su carácter estratégico una vez que él haya arrancado en forma promisoria. Las situaciones cambian, los grupos se forman y se disuelven, las interrelaciones mutan; las redes permanecen. Lo que importa es comenzar.

Whitten y Wolfe (1973: 740).

A veces conviene saber cuán grande es tu cero.

Citado en Salkind y Rasmussen (2007: 1)

En el momento de recapitular la andadura de este trabajo es oportuno referir las inflexiones epistemológicas más salientes en las que se ha puesto en evidencia la oportunidad de pensar de nuevo (aunque de muy otra manera) unas cuantas problemáticas de la investigación social en general y de nuestra disciplina en particular. A este respecto, considero que los puntos de mayor impacto metodológico que se han manifestado a lo largo del ensayo conciernen a:

- 1) La existencia de posibilidades y constreñimientos estructurales que afectan incluso a planteos que se presentan como cualitativos, in-determinados y singularizadores y con ello la posibilidad, anunciada por Hage y Harary (1983: 68) y Tjon Sie Fat (1998: 59), de redefinir un amplio subconjunto de las matemáticas no ya como un discurso heterónomo, indescifrable y alienado, sino como inevitablemente implicado en el tratamiento del objeto y como herramienta de elección del científico social en el trabajo de des-naturalización del mismo. A mi juicio, el compromiso con este punto de inflexión no debería llevarse al extremo de alentar un nuevo imperialismo teorético, en la tesitura de (por ejemplo) el “giro interpretativo” o la “condición posmoderna”, normatividades ecuménicas y excluyentes que ni siquiera fueron conscientes de haberlo sido. Lejos de la desmesura de pretender que trasunta un giro radical del saber, el escenario de la complejidad merece una enunciación de firmeza suficiente pero de alcance moderado: los dispositivos reticulares complejos desvelan procesos que constituyen una parte sustancial de del objeto como tal, establecen límites a lo que puede predicarse sobre él y capturan pautas que permanecerían escondidas de no existir un modelo que las ponga de relieve. Procesos, límites y pautas sobre los que no se puede delegar la pretensión de resolver todos los dilemas, pero que han sido y seguirán siendo de ayuda para comprender mejor configuraciones muy diversas y precisas de problemática, prestando auxilio a la tarea de distinguir entre los modelos que podrían ser sostenibles y los que no lo son.

- 2) La conveniencia de considerar y poner en primer plano el carácter no lineal de los fenómenos complejos, un hecho complicado por la evidencia de que la abrumadora mayoría de los problemas antropológicos concebibles son taxativamente problemas inversos. Aunque no nos salgamos del pequeño mundo de las reglas de juego de una algorítmica cualquiera, el número de soluciones de un problema inverso, incluso si éste es de extrema simplicidad, es, a los efectos prácticos, infinito. Esta constatación, así como el hallazgo formal (que conjura tanto a mi definición de problema como al “principio de Goodman” estipulado al principio de este libro [cf. pág. 15]) en cuanto a que problemas que parecen cuantitativamente casi idénticos requieren modos de solución de distinta escala y naturaleza,<sup>107</sup> constituyen formulaciones epistemológicas de cierta entidad que jamás se han hecho públicas en antropología, al menos en el campo teórico que aquí se ha examinado, que es acaso aquél donde debió manifestarse en primer lugar.
- 3) La comprobación de que las herramientas y algoritmos complejos revelan en el seno de los problemas situaciones que desafían el sentido común y que demuestran cuánto le falta a éste para ser un buen sentido. Los ejemplos abundan: allí están los digrafos signados que, atrapados en la brutalidad de una opción dicotómica que se deriva de la imposibilidad de cuantificar con exactitud, arrojan no obstante resultados de altísima precisión conceptual. O los procesos que lucen parecidos (recorrer las calles sin que los servicios se encuentren el mismo día en las mismas cuadras, barrerlas en el menor tiempo posible) pero que exigen planteos totalmente distintos, aun apelando a herramientas de la misma familia. A la inversa, objetivos que no parecen tener nada en común (distribuir recorridos de camiones, escoger entre alternativas de retorno de inversión financiera) se resuelven mediante procedimientos que difieren en muy poco. E igualmente, problemas que imaginábamos simples (como el del vendedor viajero, o la planificación de trayectorias en un entramado urbano, o un sistema de voto o decisión

<sup>107</sup> Un circuito que toque media docena de lugares puede diseñarse de manera óptima; otro que pase por apenas treinta, en cambio, deviene insoluble a menos que se empleen métodos computacionales intensivos o metaheurísticas avanzadas. Cuando los lugares están (digamos) en el Océano Pacífico, en Melanesia o en la Ruta de la Seda, el carácter subóptimo de su trazado puede que involucre la impracticabilidad de su recorrido. En matemática discreta una “pequeña diferencia” puede resultar ominosa; si se trata de organizar agendas y programas, en ciertas condiciones un constreñimiento que establezca una realización en cuatro períodos es susceptible de resolverse con facilidad (“todo grafo planar es 4-coloreable”); si los períodos son 3, en cambio, la cuestión acarrea una dificultad enorme, si es que no se torna del todo intratable. Paradójicamente, agregar requisitos (tales como definir cuántos colores son necesarios para que países limítrofes sean de color diferente y –en un mundo colonizado– que las colonias sean del mismo color que las potencias coloniales [la respuesta es 12, sin que importe el número de metrópolis o de colonias]) resultan de muy fácil resolución. E igualmente, mapas con infinitos países no son mucho más difíciles de 4-colorear que los mapas con simplemente muchos de ellos (Barnette 1983: 160-161). Lo contrario sucede cuando se pretende pasar de problemas de Ramsey de tipo  $R(4,4)$  a otros de tipo  $R(4,5)$ . Ni siquiera hay proporcionalidad entre una aserción y la negación correspondiente: al revés de lo que pensaría un Gregory Bateson, usualmente es más difícil determinar que dos grafos *no* son isomorfos que encontrar un isomorfismo cuando efectivamente lo son (Kocay y Kreher 2005: 5). De más está decir que la importancia antropológica de estas cuestiones no finca en la capacidad de resolver TSPs o de posar palomas en sus nidos, sino, como se ha visto, en el exquisito isomorfismo entre esas metáforas formales y las estructuras subyacentes a un número significativo de problemáticas empíricas, políticas o de gestión de muy alta relevancia.

social con un puñado de opciones, o la organización jerárquica de datos demográficos) resultan estar al borde de lo intratable, mientras que aspiraciones que pensábamos simbólicas de lo imposible (encontrar comunidades en redes inmensas, determinar la planaridad de un grafo gigante, abordar espacios de fase no convexos en los lindes de lo infinito, minimizar eficientemente costos, tiempos y recursos en la ejecución de procesos masivamente multivariados) resultan en cambio de materialización comparativamente trivial (Lawler 1976; Bazaraa y Jarvis 1977; Ahuja, Magnanti y Orlin 1993; Bóna 2009: ix; Sierksma y Ghosh 2010).

- 4) La necesidad de superar la tentación de trazar los grafos conforme a las contingencias de la enunciación discursiva del problema y de las tradiciones conceptuales de las disciplinas. El principal aporte de las técnicas reticulares, a mi modo de ver, no finca en su capacidad para otorgar precisión descriptiva a conceptos ya bastante fatigados de rol, centralidad y prestigio, sino en que renueva la clase de preguntas que es posible formular. Mi intuición (a la luz del progreso de la teoría de grafos en los últimos treinta años) es que el modelado debería desenvolverse con un ojo puesto en la clase estructural de problemas que convendría plantear, lo cual a su vez está en función de la clase de complejidad que el problema involucra y/o la clase de distribuciones, grafos, matrices o matroides cuyas propiedades albergan las mejores perspectivas de tratabilidad y resolución (cf. Brandstädt, Le y Spinrad 2004; Golumbic 2004). Algunas veces la táctica de resolución para una clase de problemas será bien conocida; otras, en cambio, convendrá invitar a los pensadores matemáticos para que participen en su búsqueda; y otras más, finalmente, habrá que pensar en formular el problema de otro modo, en instrumentar un tipo distinto de modelo o en resignarnos a sacar el jugo que se pueda de la buena y vieja ciencia convencional.
- 5) El advenimiento de una concepción iconológica complementaria a los modos de discursividad pura y la posibilidad de articular y operar sobre el dominio visual con procedimientos matriciales y espectrales que instauran al fin, como lo entrevieron Lewin, Bourdieu y Lévi-Strauss (pero sin sus eventuales esencialismos), un régimen de relacionalidad al cual el lenguaje natural probablemente no tiene llegada. Adicionalmente, la posibilidad de usar el plano iconológico como etapa intermedia para ganar acceso a un nivel de abstracción más puramente relacional todavía, liberado de toda sujeción a las estrategias de representación *imaginables* (en el pleno sentido de la expresión) y a las limitaciones de resolución, rudezas perceptuales e impedimentos operativos que se manifiestan en ellas.
- 6) El descubrimiento, demorado por siglos, de patrones cuantitativos de distribución que ponen en crisis los supuestos de la distribución normal y sus estadísticas concomitantes, permitiendo conocer la estructura e inferir la génesis de los objetos reticulares, valorar su adecuación y sostenibilidad y accionar sobre ellos de maneras empíricamente apropiadas. A esto se suma la posibilidad correlativa de establecer hipótesis de trabajo que no sean en forma encubierta hipótesis

nulas y de elaborar razonamientos que vinculen el plano de la agencia con las estructuras globales. Correspondientemente, la necesidad de pensar en la creación de pruebas estadísticas de validez que en la evaluación de la significancia no estén sesgados hacia supuestos de distribuciones monotónicas, mecanismos aleatorios y relaciones lineales entre parámetros y variables. Ahora se percibe con claridad que las pruebas del  $\chi^2$ , la de Student y tantas otras son tributarias de ese sesgo. Por más que algunos puristas y ortodoxos del ARS las consideren esenciales y protesten con vehemencia cuando no se las despliega, en tiempos recientes las pruebas de significancia han sido objeto de una crítica devastadora, no sólo porque se las sepa engañosas o imposibles de administrar en contextos de no-linealidad sino por razones lógicas variadas, muchas, precisas y profundas.<sup>108</sup> Tras el fracaso de grandes proyectos de cuantificación de caja negra (como la “revolución cuantitativa” en geografía, el análisis espacial de los GIS arqueológicos o la corriente principal de nuestra antropología matemática) algunos han comenzado a mirar con sospecha a la estadística irreflexiva, no tanto en las ciencias sociales como fuera de ellas. Pero todavía resta mucho por hacer en este terreno: no alcanza con sustituir el “azar dócil” por el “azar salvaje”, ni con mantener en vida vegetativa métodos de muestreo y de prueba de hipótesis que los científicos sociales han elevado a la categoría de ortodoxias pero que carecen de una fundamentación matemática rigurosa.

- 7) En concordancia con modelos de percolación, criticalidad auto-organizada y transiciones de fases, la elaboración de métodos y técnicas genuinamente procesuales que permiten reformular los modelos convencionales de interacción, difusión, cambio, innovación y epidemiología en el marco de la complejidad. Habiendo sido el difusionismo uno de los movimientos canónicos de la teorización antropológica, llama la atención que hoy no exista inquietud por desarrollar teorías que den cuenta de los mecanismos culturales y de los aspectos materiales de la difusión, ni siquiera en campos (la antropología médica, la antropología aplicada, los estudios de globalización, las dinámicas migratorias, los modelos epidemiológicos mismos) donde dichas teorías deberían constituir el marco primario de referencia, el conjunto de los saberes que se dan por sentados antes de ponerse a trabajar (cf. Trostle y Sommerfeld 1996; Ember y Ember 2004; Rao, Miller y Rao 2008).
- 8) La incorporación de una nueva concepción reticular del espacio que permite nuevamente integrar saberes antropológicos de excelencia a las metodologías transdisciplinarias que estudian lugares, ciudades, paisajes y contextos (Reynoso 2010). Por poco que se libere de la premisa de que existen objetos tan peculiares y distintos que requieren (literalmente) una disciplina *aparte*, la antropología podría aportar a aquellas metodologías sus logros en materia de analíticas compara-

---

<sup>108</sup> Compárese Wasserman y Faust (1994: 15-16, 194-195, 605-607), Nunkesser y Sawitzki (2005) o Kryssanov (2008) con la bibliografía crítica reseñada más arriba en la pág. 11, nota 5.

tivas de alcance transcultural, su foco en la puesta en valor de las diversidades y sus variadas experiencias en el campo cognitivo, al lado –por supuesto– del hecho de haber imaginado no pocas de las ideas que articulan el fundamento mismo del pensamiento reticular complejo, las redes sociales egocéntricas en primer lugar.

- 9) La necesidad de recuperar las capacidades antropológicas perdidas en general y las técnicas analíticas del parentesco en particular como una de las más poderosas contribuciones de la disciplina al conocimiento científico, en sincronía con una nueva era de las genealogías, con relaciones familiares inéditas y con el auge de tribus urbanas, clanes, alianzas y comunidades reales y virtuales que impregnan segmentos irreductibles de la episteme, la vida cotidiana, la blogósfera en particular y la semiósfera en general (Ponzetti 2003; Abraham, Hassanien y Snášel 2010; Furht 2010). Correspondientemente, la posibilidad de enriquecer y precisar la analítica parental, situándola además en el contexto mayor de las relaciones sociales y en el género de los procesos relationales en el más amplio sentido, moderando una especificidad que la convirtió no pocas veces en un dominio autónomo, infecundo y carente de consecuencias para todo proyecto que no estuviera centrado en su misma temática puntual.
- 10) La generalización de un modelo alternativo de tratabilidad, minimización de costos y gestión sustentable a través del encuentro y fusión de dos familias de modelos que son, a saber, las metaheurísticas evolucionarias y la optimización combinatoria basada en matemática discreta en general y teoría de grafos en particular (Evans y Minieka 1992; Michalewicz y Vogel 1996; Papadimitriou y Steiglitz 1998; Capasso y Périaux 2000; Chong y Źak 2001; Sarker, Mohammadian y Yao 2003: 399-414; Golden, Raghavan y Wasil 2005; Kocay y Kreher 2005; Ashlock 2006: 349-380; Dréo y otros 2006; González 2007; Doerner y otros 2007; Blum y otros 2008; Cotta y van Hemert 2008: 243-294; Lee y El-Sharkawi 2008; Siarry y Michalewicz 2008; Xhafa y Abraham 2008; Floudas y Pardalos 2009). Abstracta como puede parecer en un primer análisis, esta práctica está llamada a complementar o sustituir estilos metodológicos más convencionales tales como la investigación operativa y la programación lineal (Yang 2008). Por árida que sea la lectura de sus textos y por más que el antropólogo no haya de ser la mano ejecutora de estos formalismos en el trabajo de equipo multidisciplinario, la relevancia metodológica de esta línea de acción para una antropología sostenible en cualquier terreno complejo de aplicación está, como creo haber mostrado, más allá de toda duda.
- 11) La mutación, al parecer definitiva y con seguridad definitoria, de las concepciones estructurales sincrónicas de las redes en modelos dinámicos, incorporando el universo de metáforas y algoritmos que pueblan las teorías transdisciplinarias de la complejidad, y abriendo el camino a nuevos modelos para el conocimiento teórico y la intervención práctica sin negar ni la robustez ni la relevancia (pero sí la suficiencia) de los saberes preexistentes.

- 12) En cuanto a los usos políticos y a la explotación lucrativa de los saberes de alta demanda,<sup>109</sup> la exigencia de operar de modo genuinamente reflexivo, elaborando herramientas que estén a la altura de lo que ahora puede hacerse, fundando o recuperando por cierto tantas incumbencias profesionales como se pueda, pero sin alentar expectativas desmesuradas ni arrogarse (en nombre de complejidades, claves escondidas y no-linealidades ingénitas a los paradigmas emergentes) solvencias de consultoría imposibles de satisfacer.
- 13) Un interrogante que queda flotando concierne a la adecuación del contexto antropológico de cara a la eventual (re)adopción de las herramientas reticulares por parte de la disciplina. Cabe preguntarse si, olvidado ya hace décadas el método genealógico, los antropólogos de hoy en día (que vienen de un prolongado letargo interpretativo o posmoderno) dominan alguna técnica disciplinaria distintiva asociada a un régimen de trabajo abierto al examen público como el que las redes exigen constitutivamente. Dejando al margen la aplicación de técnicas débilmente articuladas, o desencadenantes de procedimientos indecidibles, o cuyos mejores cultores se encuentran en otros campos del saber, de las compulsas que he hecho en incontables mesas redondas y seminarios de posgrado, surgen indicios que me llevan a pensar que la respuesta es que no. Nuestra generación no ha sabido enseñar aquellas cosas; posiblemente ni siquiera las haya aprendido cuando estuvo en el trance de hacerlo. Las nuevas herramientas llegan entonces en un momento en que el estado de vaciamiento técnico en antropología se ha tornado particularmente agudo. Cuando Roy D'Andrade (2000) realizó hace poco un balance de la situación, encontró que los antropólogos ya no están aprendiendo técnica alguna en su formación académica y que algunas teorías hostiles a las técnicas que se auguraban fructuosas resultaron no serlo. Los juicios sombríos sobre el estado de la disciplina en tanto emprendimiento científico son por cierto masivos (Sahlins 1993; 2002; Salzman 1994; 2002; Ahmed y Shore 1995; Wade 1996; Knauft 1996; Kuznar 1997; Lett 1997; Lewis 1998; Basch y otros 1999; Harris 1999; SAS 2002; Bashkow y otros 2004; Bunzl 2005; Calvão y Chance 2006; Rylko-Bauer, Singer y Van Willigen 2006; Schneider 2006; Menéndez 2009). Es posible, sin embargo, que aunque la disciplina haya decaído tanto en las dos últimas décadas, las técnicas de redes puedan ser acogidas con cierta desenvoltura en el campo en el que se tramaron algunas de las intuiciones que les dieron origen. En esta inflexión particularmente delicada, esas técnicas se presentan como una alternativa de recuperación de los saberes perdidos un poco más asimilable y conceptualmente afín que otras en las que es posible pensar. En este sentido, la metáfora de las redes puede contemplarse como el asiento de un conjunto de instrumentos que permitiría reformular una parte acotada pero significativa del perfil profesional, retomando un camino que se abandonó (como hemos visto) por motivos más contingentes que estructurales, más ligados a los

---

<sup>109</sup> Véase más adelante, pág. 334.

conflictos entre ciertas ideologías e intereses que a la calidad y robustez de las ideas en juego. Ahora como antes, estas formas de pensar constituyen un desafío al cual en el pasado no se respondió adecuadamente por razones que probaron ser espurias. Sin que ello implique excluir ninguna otra estrategia, aventuro que las redes podrían permitirnos poner a prueba una vez más, en el despliegue del trabajo empírico, con los vejamenes y las transformaciones que han sufrido pero con todos los resortes conceptuales a plena luz, la pretensión de fecundidad de nuestras teorías.

Cualesquiera hayan sido los altibajos de la relación tripartita entre la antropología, el ARS y la complejidad, y aunque las capacidades de las herramientas entrevistas no se agotan en ello, es un hecho que una cantidad creciente de conceptos disciplinares han sido reformulados en términos reticulares y complejos con una ganancia operativa por lo menos aceptable. Sin pretender agotar el inventario de los cruzamientos conceptuales que se han dado, la tabla 19.1, tomada con modificaciones de un trabajo reciente de Douglas White, ilustra algunos de los mapeados que se han realizado entre conceptos reticulares, complejos y antropológicos, así como sus responsables más reconocidos.

Conceptos y principios	Aspectos reticulares	Medidas de la estructura de red	Métodos y autores	Obras clásicas: Autores o principios
<b>A - Solidaridad</b>	<b>Intragrupo</b>	<b>Patrón 1</b>		Durkheim
Grupo	Cohesión	<i>k-connectedness</i>	Harary & White	Lewin
Encuentros al azar	Oportunidad	exponencial	Erdős & Rényi	Blau
Cultura	Consenso	Variancia unidimensional	Romney & Batchelder	Taylor
Economía moral	Afecto y división	<i>k</i> -equilibrio	Harary, Davis	Heider
<b>B - Mundos sociales</b>	<b>Intergrupo</b>	<b>Patrones 2-3</b>	Harary & Batell	Multi-nivel
Encuentros casi-azarosos	Mezcla sesgada	Distribuciones de ley de potencia	De Solla Price	San Mateo; el rico se vuelve más rico
Pequeños mundos	Alcanzabilidad, buscabilidad	<i>Clustering</i> y baja distancia promedio	Watts & Strogatz, Kleinberg	Milgram (PM)
Economía y economía amoral	Intercambio; conflicto	Homomorfismo de grafo	Harary; Coser	Weber, Simmel, Gluckman
Ley y control social	Mediación	Homomorfismo condicional	Harary	Simmel, Lévi-Strauss, Nadel
<b>C - Especialización</b>	<b>Actividad</b>	<b>Patrones 4-5</b>		
Posición	Estructural	Estructural	H. White	Homans
Analogía	Equivalencia regular	Homomorfismo regular; enrejado superpuesto	D. White & Reitz; Ganter & Wille	Merton, Goodenough
Alocación especializada	División del trabajo	Alocación de tareas; homomorfismo	Oeser & Harary	Durkheim
<b>D - Desigualdad</b>	<b>Ordenamiento</b>	<b>Patrón 6</b>		
Distribucional	Preferencial	Ley de potencia	De Solla Price; Barabási	Pareto
Centralidad	Influencia	<i>Betweenness</i>	Freeman	Bavelas
Autoridad supervisora	Poder	<i>Interlock</i> triádico	J. Davis; D. White	Nadel
Jerarquía	Autoridad	Medida de niveles	Reitz	Lewin
<b>E - Resiliencia</b>	<b>Transformación redistribuida</b>	<b>Patrón 7</b>		

Tabla 19.1 – Conceptos de redes, complejidad y ciencias sociales.

Tabla basada en Douglas White (2001)

Ignoro si estamos o no en presencia de un nuevo paradigma radical, como algunos han pretendido, pero es seguro que unos cuantos de los desafíos que he planteado hasta aquí

requieren una discusión detenida. Por el lado de las redes, habrá que repensar ideas tan solidificadas como las de sistema, modelo, problema, pregunta, elicitation, técnica, solución y muestreo; por el lado de la complejidad, habrá que formular de nuevo las cuestiones aparejadas por la auto-organización, la dimensión fractal, las distribuciones [de ley] de potencia y la no-linealidad, así como sus dialécticas, ajustes y conflictos con la problemática disciplinaria. Por ambos lados, es palpable que hay muchas ideas por integrar a nuestras prácticas. En contraste, una teoría reductora, como la autopoiesis (que por definición sólo debería aplicarse a cosas vivas) no serviría de mucho en este contexto, como ya han probado no servir organicismos, fisicismo y mecanismos diversos, sinergética, termodinámica y dinámica de sistemas inclusive.

Mientras que en las teorías reticulares de Harrison White (1997) o en los modelos termodinámicos de un Richard Adams (1978; 1983; 2001), por ejemplo, se proyectaban categorías de la física directamente sobre el objeto social, en las nuevas estrategias se sabe que esas correspondencias deben elaborarse en el plano de los modelos. Una vez que tenemos un grafo que representa un conjunto de relaciones sociales se pueden buscar en él los indicios de estructura que se manifiestan en propiedades y medidas de información, entropía, simetría, (des)equilibrio, probabilidad de interacción, comparabilidad, semejanza, segregación, ocurrencia de motivos, relaciones entre reglas locales y propiedades globales emergentes, etcétera, que son comunes a todas las configuraciones modélicas topológicas y discretas, con independencia de lo que el modelo represente (Dehmer y Emmert-Streib 2009; Turner 2009). Las características puntuales del modelo de una red en materia de su distribución estadística, su paisaje de fases y sus procesos evolutivos concomitantes determinarán qué principios de la mecánica estadística pueden ser o no más o menos directamente aplicables.

En otras palabras, los isomorfismos epistemológicos se saben ahora más definitorios que las afinidades ontológicas, pues entre tanto hemos caído en la cuenta que tras un leve esfuerzo de abstracción aquéllos son susceptibles de expresarse bajo formas metodológicamente más productivas. Esto involucra, como ya lo he expresado con otros términos, pasar del plano ontológico de las metáforas ligadas a objetos particulares (textos, juegos, dramas, incluso estructuras) al plano epistemológico de los modelos (gramáticas, teoría de juegos, dinámica evolucionaria, grafos/redes, respectivamente), capitalizando así lo que se lleva hecho en disciplinas que se consagran a objetos distintos, tal como ha sido posible hacer desde que Euler imaginara grafos cuando se le planteó el dilema de los puentes de Königsberg.

Pero la novedad tampoco radica en el hecho de hablar de redes, tema de conversación que ya es de data muy antigua. La diferencia esencial entre los modelos clásicos de redes (desde Barnes hasta Wasserman-Faust) y los nuevos modelos complejos (desde Barabási a la fecha) reposa en que estos últimos son constitutivamente dinámicos. Para emplear una metáfora que los propios complejólogos interpretativos de escuela moriniana han usado alguna vez, podría decirse que lo que cuenta ahora son los verbos, no los sustantivos, pues a menudo son los verbos los operadores relationales primarios que permiten activar

los modelos.<sup>110</sup> Este ha de ser un giro drástico para una disciplina que ha estado mayormente saturada de sustantividades y cualidades, tanto más valoradas cuanto más singulares, más subjetivamente plausibles y de más bajo nivel de abstracción.

En este espacio no hay lugar tampoco para la vieja jerarquía de las ciencias, con aquellas que son más exactas o formales en la cúspide de la jerarquía. La nueva concepción ha sido persuasivamente descripta por el sociólogo australiano Duncan Watts:

Las matemáticas de los físicos abren nuevos caminos hacia regiones antes inexploradas. El crecimiento aleatorio, la teoría de la percolación, las transiciones de fase y la universalidad [...] han definido un maravilloso conjunto de problemas abiertos en materia de redes. Pero sin los mapas de la sociología, la economía e incluso la biología para guiarlos, la física bien puede construir caminos que no lleven a ninguna parte (Watts 2004a: 303).

En el campo interdisciplinario del análisis de redes, los estudiosos de las ciencias sociales han tenido las más de las veces la iniciativa, como instanciando una vez más lo que George Gadamer definiera como la prioridad hermenéutica de la pregunta:

[M]uchos de los conceptos fundamentales (tales como la propiedad de pequeños mundos) y muchas de las herramientas usadas actualmente por los físicos en el análisis de redes complejas tienen su origen en la sociometría. Es el caso, por ejemplo, del *índice de clustering* [...] o de las diferentes medidas de *centralidad de nodo* propuestas en sociometría para cuantificar la importancia de un individuo dado en una red [...]. Las centralidades basadas en el grado o en el *betweenness* son algunos ejemplos de esos índices [...]. Algunos problemas actuales en análisis de redes, tales como la caracterización de un nodo por sus relaciones, también han sido propuestas en estudios sociométricos: se han desarrollado muchos métodos para cuantificar la similitud entre actores, basados exclusivamente en la topología [...]. Conceptos como el *rol* o la *equivalencia* de individuos se desarrollaron para ubicar actores situados en forma parecida en una red social con respecto a su conjunto de relaciones. Incluso otros problemas tales como la buscabilidad en redes [...] han comenzado en experimentos sociológicos, y medidas como la *integración* y la *radialidad* se han propuesto para cuantificar el grado de conexión de un individuo en una red determinada (Boccaletti 2006: 251).

No solamente el concepto de *edge betweenness* fue introducido por Michelle Girvan y Mark Newman (2002) a la física y la biología procedente de las ciencias sociales, sino que el algoritmo de partición recursiva para la detección de comunidades que se deriva de ese concepto se origina también en un caso célebre propuesto por el antropólogo Wayne Zachary (1977) en la tardía edad de oro de la primera generación de ARS: los vínculos de amistad de un club universitario de karate en un pueblo cuyo nombre jamás fue revelado (figura 19.1). En el curso de la observación de una disputa entre el gerente (nodo 34) y el instructor del club (nodo 1), el club se escindió en dos facciones: casi la mitad de los miembros se fue con el instructor y fundó un club aparte; el resto se quedó con el gerente,

<sup>110</sup> Esta expresión debe tomarse a la luz de las precauciones respecto de la enunciación discursiva que estipulé en capítulos precedentes. A fin de cuentas, la lengua no es un espejo de la naturaleza; en toda lengua la asociación de un significante con una u otra categoría sintáctica (sustantivo, verbo, adjetivo, preposición, morfema) se debe por lo general a una cadena de contingencias históricas. Ninguna teoría semántica de la referencia justificaría, por ejemplo, mapear fenómenos dinámicos tales como los colapsos financieros, los intercambios de bienes o mujeres o los actos de habla como “sustantivos” en lugar de “verbos”.

quien contrató a un nuevo instructor. Igual que los mineros de Bruce Kapferer (ver más arriba, pág. 111), las redes de colaboración bibliográfica y las familias florentinas, los karatecas de Zachary son conocidos como piedra de toque de las técnicas de minería de datos o a través de los archivos de ejemplo que acompañan a programas de análisis de redes y grafos utilizados en un número crecido de disciplinas.<sup>111</sup>

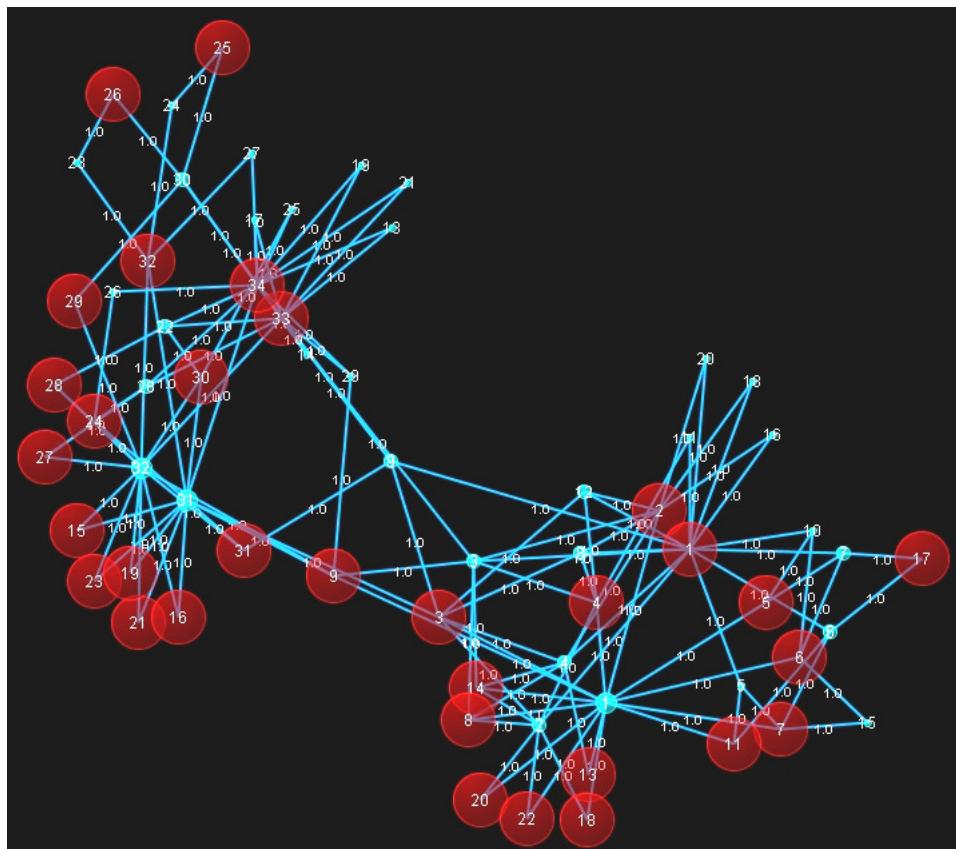


Figura 19.1 – Club de Karate de Zachary analizándose en ORA Network Visualizer

El modelo GN (de Girvan y Newman) se agregó a un repertorio creciente de herramientas de partición de redes y descubrimiento de comunidades que aquí no puedo siquiera referir sin que desborde la bibliografía: el algoritmo de centralidad de *betweenness* de arista del mismo Newman, el modelo de resistores de Wu y Huberman, el algoritmo de remoción de comunidades por método de aproximación de Radicchi y otros, el mecanismo de sincronización de osciladores acoplados de Arenas y otros, la búsqueda de correlación ferromagnética basada en el modelo de Potts de Blatt y otros (parecido al proceso de simulación de templado), el método de percolación de cliques de Palla y otros, el análisis de caída en procesos de difusión de Eriksen, el método de movimiento browniano de Zhou,

<sup>111</sup> Por ejemplo, UCINET en <http://vlado.fmf.uni-lj.si/pub/networks/data/Ucinet/UciData.htm>; CMU-CA-SOS en [http://www.casos.cs.cmu.edu/computational\\_tools/datasets/external/karate/index.php](http://www.casos.cs.cmu.edu/computational_tools/datasets/external/karate/index.php). Véase también el repositorio de datos reticulares de la Universidad de California en Irvine, sobre todo la página publicada en <http://networkdata.ics.uci.edu/data.php?id=105>. Muy recomendable es el estudio de Ernesto Estrada (2009) sobre la importancia del modelo de Zachary en teoría espectral de redes.

la estrategia espectral de Muños y Donetti, la técnica de optimización combinatoria extrema de Duch y Arenas y un amplio etcétera (Reichardt 2009: 13-30; Abraham, Hassanien y Snášel 2010: 32-45; Dehmer y Emmert-Streib 2009).

Cualquiera sea la apariencia de mecanicidad, la distancia geodésica entre disciplinas y el carácter intimidante de las metáforas raíces, la inspiración primaria respecto de qué es lo que se debe detectar y las mejores elicitaciones de datos para las pruebas críticas de performance han sido y seguirán siendo iniciativa de las ciencias humanas. Con esta reserva, mediando una adecuada reflexión teórica ya no es tampoco sensato desechar el resultado de la ejecución de los algoritmos como mera numerología circunstancial: cuando se aplican algunos de estos u otros principios métricos a data sociocultural viene a cuento de inmediato la reflexión del psicólogo matemático Clyde Coombs [1912-1988]: “una medición o un modelo de escala es en realidad una teoría sobre la conducta, reconocidamente al nivel de una miniatura, pero teoría al fin” (Coombs 1964: 5). Muchas de estas mediciones, modelos y teorías no son ya fragmentos de formalización matemática que debemos agregar sin motivo a nuestros repertorios metodológicos, sino respuestas que nos llegan en el circuito dialógico a partir de preguntas que nosotros mismos hemos formulado.

Casi todas esas teorías tienen además, como se ha dicho, la cultura en mente. Ya no es el caso que las ciencias sociales deban resignarse a importar dócilmente conceptos originados en disciplinas mejor consolidadas. En el escenario actual lo contrario es tanto probable como usual. Por otra parte, cada vez son menos los que piensan en términos de contraste entre prácticas de diversa sostenibilidad o calidad inherente. En las nuevas disciplinas de redes y complejidad las ciencias sociales tienen hoy una considerable cuota de iniciativa. Tal vez la tuvieron siempre y lo que falló fue una reflexión epistemológica que le hiciera justicia, una mirada que supiera ver más allá de las narrativas alentadas por el común de las crónicas.

La gesta del análisis de redes, después de todo, no comenzó ni en las matemáticas abstractas, ni en la práctica de los métodos formales, ni en las ciencias de la computación; comenzó, sin dudas, en la psicología, e incluso en formas de la psicología (psicodrama, teoría de campo) que unos cuantos puristas tildaron de seudocientíficas (v. gr. Faris 1951; Eysenck 1952; Gardner 1988: 574). Aun cuando estas proclamas sean un acto de justicia (por el momento es irrelevante que lo sean o no) nadie puede negar a este capítulo de las ciencias mal llamadas blandas la agudeza de no pocas de sus intuiciones, por más ingenua que fuese su implementación formal o su expresión por escrito. Hoy se pueden reconocer ideas parecidas avivando no pocas discusiones en el seno de las ciencias de la complejidad: la sociedad de la mente de Marvin Minsky (1988) en ciencia cognitiva, la robótica basada en la conducta, la idea misma del aprendizaje de máquina, los efectos de comunidad y cooperación en inteligencia de Web e inteligencia computacional, las estrategias de optimización cooperativas, las metaheurísticas inspiradas en la cultura o en una “naturaleza” descaradamente sociomórfica en optimización de procesos (Zhong 2000; Palioras, Karkaletsis y Spyropoulos 2001; Engelbrecht 2002; Hales y Edmonds 2004; Zomaya 2006; Floreano y Mattiussi 2008; Jain y otros 2008; Smola y Vishwanathan 2008; Mumford y Jain 2009; González y otros 2010; Peper y otros 2010).

Lo cierto es que familias enteras de algoritmos en tecnología de punta y métodos formales han recibido inspiración en las ciencias sociales, la cual les ha venido hasta hoy bajo la forma de algoritmos culturales, ingeniería del conocimiento para la Web semántica, heurísticas de sentido común para la inteligencia artificial en estado de arte, computación existencial heideggeriana o fenomenológica, métodos de enjambres de partículas [*particle swarms*] que se nutren de etología humana, códigos genéticos de la biomatemática calcados de la semiótica, jerarquías de la complejidad (y fundamentaciones de lenguajes formales) creadas por lingüistas, *shape grammars* que replican procedimientos arquitectónicos documentados en otras culturas, sistemas de posicionamiento global que emulan el *etak* nativo de Micronesia, ideas de invariancia de escala surgidas en el estudio de los conflictos humanos, nociones de arquitectura de software que vienen de la estética y, por supuesto, teoría de redes sociales, entre otros muchos objetos de intercambio bien conocidos en ciencias exactas cuya paternidad las corrientes principales en las ciencias humanas histórica e inaceptablemente se han obstinado en no reconocer.

Como lo ha documentado Duncan Watts (2004b: 263), la inspiración que las ciencias duras y las disciplinas formales han tomado de los estudios sociales es perceptible y significativa:

Por ejemplo, la intuición de que unos pocos “atajos” al azar en el medio de vecindades localmente densas puede generar una estructura de mundos pequeños (Watts y Strogatz 1998) posee una notable similitud con el análisis de [Anatol] Rapoport (1957) de las redes sesgadas al azar, que inspirara a Granovetter (1973) sus investigaciones sobre la fuerza de los lazos débiles. Los recientes experimentos de búsqueda social basados en Internet (Dodds y otros 2003) explícitamente reconocen su deuda con los estudios seminales de Milgram (1967). El hallazgo de que la vinculación preferencial en redes en crecimiento puede conducir a lo que ahora se llama redes independientes de escala [...] viene a ser un caso especial de la implementación del principio de Gibrat<sup>112</sup> por [Herbert] Simon [...], mejor conocido en sociología como el Efecto de [San] Mateo (Merton 1968) y aplicado por primera vez a redes por [Derek J. de Solla] Price (1976). [...] El tópico de los motivos de redes, que está ganando atención en las ciencias biológicas (Milo y otros 2002) es, en principio, idéntico a la estrategia de censo de tríadas de Holland y Leinhardt (1976). Y el trabajo reciente sobre la estructura de redes ultra-robustas (Dodds y otros 2003) engrana en una larga línea de trabajo en sociología organizacional comenzando con la descripción de [Tom] Burns y [G. M.] Stalker (1961) de las organizaciones orgánicas.

Al menos una rama entera de las matemáticas más prestigiosas, la teoría de los grafos signados, fue inventada por Frank Harary (1954) para resolver un problema de dinámica de grupos en psicología social que estaba investigando junto a Dorwin Cartwright. Que los

<sup>112</sup> Esto es, la regla de crecimiento proporcional del economista Robert Gibrat [1904-1980], la cual establece que el cambio proporcional en el crecimiento de una empresa es el mismo en todos los casos, independientemente de su dimensión. La ley de Gibrat se aplica también a las ciudades y puede dar lugar a una distribución de tamaños que satisface la ley de Zipf (la cual, como ya hemos visto, es una ley de potencia). Algunos autores han encontrado sin embargo que la distribución del crecimiento de firmas recientes se approxima a una distribución lognormal, lo cual induce a creer que las empresas más pequeñas tienen un potencial de crecimiento mayor que las empresas mayores (Almus 2004). Ultimamente se ha aclarado la dificultad de distinguir entre las distribuciones de Pareto y lognormal y se ha zanjado la discusión... a favor de la primera (Malevergne, Pisarenko y Sornette 2009).

grafos signados hayan sido re-descubiertos muchas veces en varias disciplinas, o que se los encuentre por doquier en teoría topológica de grafos, en teoría de grupos o hasta en el modelo de Ising en mecánica estadística no debe llamar a engaño: la iniciativa nació, rotundamente, en una ciencia social (Zaslavsky y Pratt 1998). Sin contar, por cierto, con el hecho de que aunque los diagramas avunculares de Lévi-Strauss distan mucho de ser grafos formalmente prolíficos y aunque yo mismo los he impugnado con acrimonia y lo seguiré haciendo, la idea de grafo signado ya estaba ínsita en ellos tan temprano como en agosto de 1945, unos nueve años antes que en cualquier otra disciplina.

Ejemplos como éstos abundan no sólo en el viejo registro histórico sino y sobre todo en las crónicas recientes de la transdisciplina. En el largo intercambio entre las ciencias a uno y otro lado de la divisoria nunca antes se tuvo a la mano una lectura de semejante contundencia. Por eso es que no cabe resignarse a que entre las ciencias se perpetúe un extrañamiento que es hoy más profundo que el que ha mediado entre cualesquiera realidades culturales. Más allá de sus fallas y retrocesos, la antropología, en particular, puede aportar a las perspectivas que se están abriendo su sensibilidad única para interrogar diversidades, su práctica en la búsqueda y reconocimiento de pautas que conectan elementos dispares, su tolerancia a la convivencia de visiones alternativas, sus hábitos de puesta en crisis de los propios supuestos, su orientación comparativa, su experiencia en la integración de discursos que se rigen por lógicas disonantes, su vocación irrenunciable a poner los pies en el terreno y hasta la necesidad de recuperar para sí el protagonismo perdido en el diálogo entre las disciplinas.

•••

Para finalizar, no quisiera dejar de lado el tema de las aristas políticas del asunto. Sin ánimo de dramatizar, está claro que el campo de las redes sociales es uno de los muchos en los cuales está en juego (y tiene oportunidad de manifestarse) la relevancia que podría tener la antropología en la comprensión de la dinámica del mundo actual. Saber, por ejemplo, cuál es la distancia geodésica entre George W. Bush y Osama Bin Laden (o la díada que sea), o determinar qué es lo que debe hacerse para tornar insostenible o impulsar con efectividad la difusión de un virus, un rumor, una campaña, una moda, un secreto diplomático o una política de cooptación, o cómo debe actuarse para la puesta en valor de un recurso o para hacer que colapse un sistema, todo esto es cualquier cosa menos trivial.

Algunos personajes emergentes difíciles de catalogar han hecho fama y fortuna en este campo, brindando servicios de consultoría cuyo valor oscila, a ojos vista, en un rango que va de la razonabilidad a la estafa, con un leve énfasis en esto último. Uno de los más conocidos entre los gurús reticulares del momento es Valdis Krebs, quien ha examinado a la luz de estas ideas la posibilidad de desentrañar la organización de Al Qaeda. No implico que Krebs (cuya solvencia técnica es manifiesta) encarne el ejemplo a seguir, ni que las ciencias sociales devendrán un nuevo semillero de oráculos, pero lo cierto es que estamos más cerca que antes de comprender algunos mecanismos que pueden resultar importantes en el corto plazo y que esta capacidad no sólo tiene importancia conceptual sino

también fuerza política y valor de mercado. Esta nueva comprensión, concomitante a nuevas posibilidades prácticas, puede servir a los buenos y a los malos usos, como independientemente ha concluido también Jorge Miceli (2010).

La figura 19.2 muestra un ejemplo incluido en Network Workbench ilustrando en forma de grafo radial la red del 11 de setiembre, un recurso didáctico que al lado del gráfico *log-log* del número de atentados *versus* su magnitud se ha tornado habitual en ensayos y piezas de software, y que no estoy seguro de saber cómo interpretar (Sageman 2004; Clauset y Young 2005; Jonas y Harper 2006; Clauset, Young y Gleditch 2007; Johnson y otros 2006; Sageman 2008; Yang y Sageman 2009). La hermenéutica que salta a la cara es que con los recursos que se ofrecen hasta el horror se domestica, y que para un instrumento que se siente fuerte para acometer semejante desafío resultará trivial dar cuenta de las familias florentinas, los mineros de Kapferer, el club de karate de un pueblo de provincias o el problema sociocultural de orden cotidiano que se le ponga por delante. La diversidad sin duda resalta la generalidad y la fuerza del modelo; pero la pedagogía luce un poco drástica.

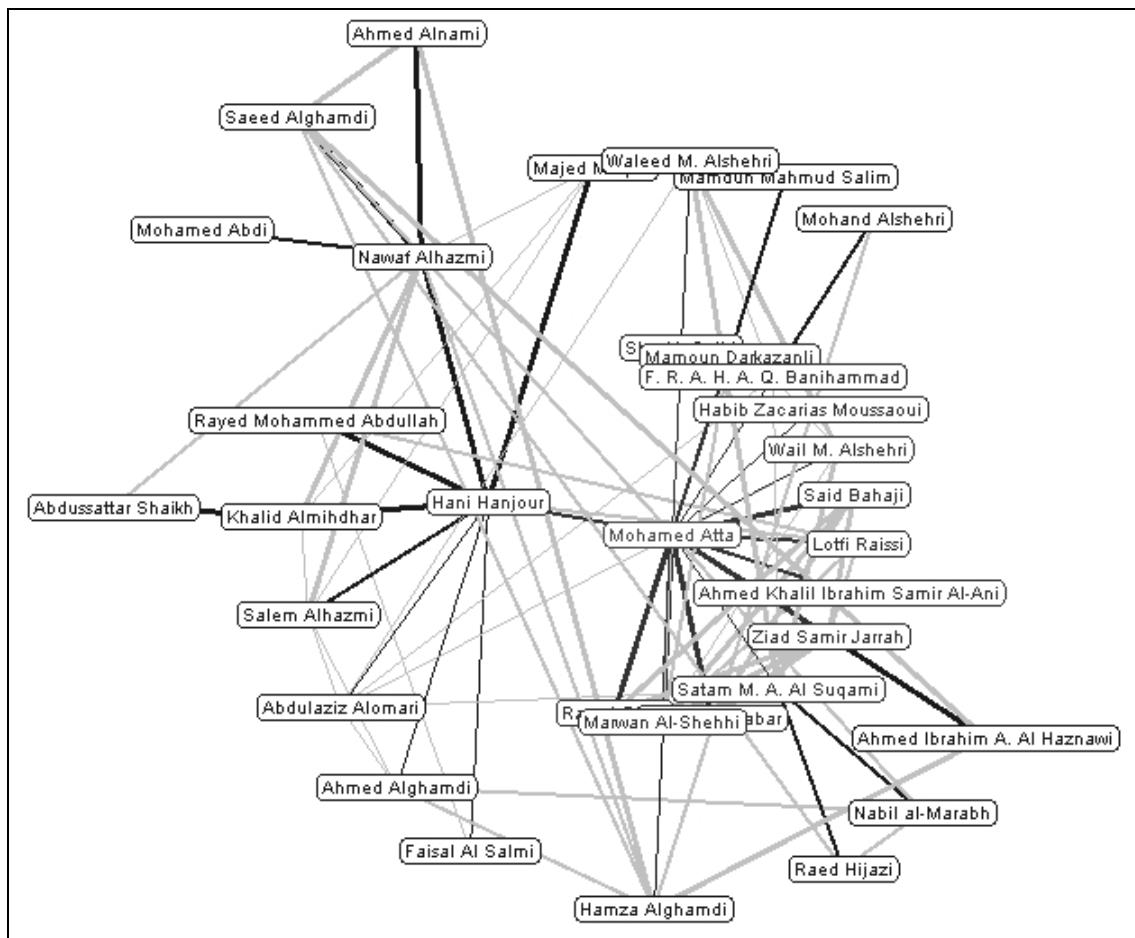


Figura 19.2 – Red de complotados del 11 de setiembre – Generado por el autor en Network Workbench

Como sea, hay quien asegura que se ha llegado a saber bastante sobre la organización de grupos de terror o como se los llame; por lo pronto, dicen, esos grupos no constituyen pe-

queños mundos ni se configuran según distribuciones independientes de escala: entre los 19 miembros del atentado del 11 de setiembre, el número promedio de pasos era de 4,5, una cifra muy grande para una red tan pequeña (Csermely 2006: 208). También se estima que los atentados terroristas, igual que las guerras en el modelo de Richardson, obedecen a una distribución de ley de potencia, y que si dicho patrón no es alterado sustancialmente cabe una alta posibilidad de un atentado de igual o mayor severidad que el de las Torres Gemelas para algún día del año 2012 (Clauset y Young 2005; Csermely 2006: 209). Pero ¿no suena esto demasiado parecido, fecha crítica inclusive, a las profecías de los Mayas, de Nostradamus o del History Channel sobre el próximo apocalipsis?

Quien dice terrorismo dice además tráfico de sustancias ilegales, de órganos, de niños y de armas, redes de drenaje en zonas inundables, redes de tratamiento de residuos al filo del desastre ecológico, redes de transporte masivo en megápolis sumidas en el colapso, redes de prostitución infantil y de trata de blancas, redes del crimen organizado y de gestión de las fuerzas de choque, redes inculpadas por la muerte en la maquila, por los falsos positivos y por la desaparición de personas en más lugares de lo que es posible enumerar; y, en último lugar pero sin detrimento, también dice asesoramiento profesional de alto nivel sobre esos tópicos y otros más: la puesta en venta de las claves de la condición posmoderna, la globalización, la galaxia informática, el control político, el mercado virtual, el retorno de inversión, el planeamiento sostenible, la civilización del *twitting*, las técnicas que hacen posible un WikiLeaks o lo que devenga urgente poner en primer plano (Baker y Faulkner 1993; Xu y Chen 2005a; 2005b).

Tal vez haya una pizca de oportunismo en la elección de estos temas por parte de los oferentes, o un componente de apuesta de alto rédito y riesgo mínimo en las predicciones fácilmente olvidables que cada tanto salen a la luz. Aunque no faltan unos cuantos trabajos académicos serios y los temas en sí no carezcan de legitimidad, tal vez lo esencial de la táctica no conste en los textos que se escriben sino que se insinúa entre líneas, en el plano del metamensaje: las redes y la complejidad están en todas partes; no hay nada que no sea complejo y reticular; los técnicos de redes complejas tienen (tenemos) las claves de lo que realmente cuenta, y conocemos las pautas que conectan los campos del saber, los métodos que permiten ligar, al fin, la práctica con la teoría, los regímenes axiomáticos con la sostenibilidad, el éxito material con la eficacia simbólica.

Honestamente no sé si esa literatura de lo tremendo juega este juego de insinuaciones o si sólo lo parece. También ignoro si estos casos exhiben una versión apenas un poco más teatral de un gesto de engreimiento y propaganda que subyace de manera inevitable a todo posicionamiento en materia de teoría, métodos y técnicas. No seré yo quien lo dictamine. Cada quien decidirá qué carácter darle y a qué propósito servir con las capacidades de diagnóstico y las promesas de intervención que acompañan a esta ciencia, en una dimensión que constituye, yendo un poco más allá de la docena planeada al principio del ensayo, el desafío de más alta criticalidad entre los que hemos discutido hasta ahora.

## Referencias bibliográficas

- Abed, Eyad H. (compilador). 2005. *Advances in control, communication networks, and transportation systems. In honor or Pravin Varaiya*. Boston-Basilea-Berlín, Birkhäuser.
- Abell, Peter. 1970. “The structural balance of the kinship systems of some primitive peoples”. En: M. Lane (compilador), *Structuralism*. Nueva York, Basic Books, pp. 359-366.
- Abraham, Ajith, Aboud-Ella Hassanien y Václav Snášel (compiladores). 2010. *Computational social network analysis: Trends, tools and research advances*. Londres, Springer Verlag London.
- Aczel, Peter, David Israel, Yasuhiro Katagiri y Stanley Peters (compiladores). 1993. *Situation theory and its applications*. Stanford, Center for the Study of Language and Information.
- Adams, Richard Newbold. 1978. *La red de la expansión humana*, México, La Casa Chata.
- Adams, Richard Newbold. 1983 [1975]. *Energía y estructura. Una teoría del poder social*. México, Fondo de Cultura Económica.
- Adams, Richard Newbold. 2001. *El octavo día. La evolución social como autoorganización de la energía*. México, Universidad Autónoma Metropolitana.
- Afshar, M. H. 2006. “Application of a genetic algorithm to storm sewer network optimization”. *Scientia Iranica*, 13(3): 234-244.
- Afshar, M. H. 2009. “Application of a compact genetic algorithm to pipe network optimization problems”. *Scientia Iranica. Transaction A: Civil Engineering*, 16(3): 264-271.
- Agosta, Federica, Roland Henry, Raffaella Migliaccio, John Neuhaus, Bruce Miller, Nina Dronkers, Simona Brambati, Massimo Filippi, Jennifer Ogar, Stephen Wilson y María Luisa Gorno-Tempini. 2009. “Language networks in semantic dementia”. *Brain*, 133(1): 286-299.
- Ahmed, Akbar y Chris Shore. 1995. *The future of anthropology: Its relevance to the contemporary world*. Londres, Athlone.
- Ahuja, Ravindra, Thomas Magnanti y James Orlin. 1993. *Network flows: Theory, algorithms, and applications*. Upper Saddle River, Prentice-Hall.
- Aiello, Marco, Ian E. Pratt-Hartmann y Johan F. A. K. van Benthem (compiladores). 2007. *Handbook of spatial logics*. Dordrecht, Springer.
- Akiyama, Jin, Yoshimi Egawa y Hikoe Enomoto. 1986. *Graph theory and applications*. Amsterdam, North-Holland.
- Akiyama, Jin, William Chen, Mikio Kano, Xueliang Li y Qinglin Yu (compiladores). 2005. *Discrete theory, combinatorics, and graph theory*, 7<sup>th</sup> China-Japan Conference, CJDGCGT 2005, Tianjin-Xi'an, China, noviembre, Berlín-Heidelberg, Springer.
- Alander, Jarmo. 2009. “An indexed bibliography of genetic algorithms in civil, structural, and mechanical engineering”. Universidad de Vaasa, Report Series, n° 94-1-CIVIL, <http://garbo.uwasa.fi/pub/pub/cs/report94-1/gaCIVILbib.pdf>. Visitado en enero de 2011.
- Alba, Richard A. 1982. “Taking Stock of Network Analysis: A Decade’s Results”. *Research in the Sociology of Organizations*, 1: 39-74.
- Albert, Réka y Albert-László Barabási. 2002. “Statistical mechanics of complex networks”. *Review of modern physics*, 74: 47-97.
- Aldous, Joan y Murray Straus. 1966. “Social networks and conjugal roles: A test of Bott’s hypothesis”. *Social Forces*, 44(4): 576-580.

- Aldous, Joan y Robin Wilson. 2000. *Graphs and applications: An introductory approach*. Londres, Springer Verlag.
- Alkemade, Floortje. 2004. *Evolutionary agent-based economics*. Eindhoven, Technische Universiteit, IPA Dissertation Series 2004-15. <http://alexandria.tue.nl/extra2/200412820.pdf>. Visitado en marzo de 2008.
- Alkemade, Floortje y Carolina Castaldi. 2005. “Strategies for the diffusion of innovations on social networks”. *Computational Economics*, 25(1-2): 3-23.
- Almus, Matthias. 2004. “Testing ‘Gibrat’s law’ for young firms: Empirical results for West Germany”. *Small Business Economics*, 15(2): 1-12.
- Alon, Uri. 2006. *An Introduction to Systems Biology: Design Principles of Biological Circuits*. Boca Raton, Chapman & Hall/CRC.
- Amaral, L. A. N. y J. M. Ottino. 2004. “Complex networks: Augmenting the framework for the study of complex systems”. *European Physical Journal B*, 38: 147-162.
- Anderson, Michael (compilador). 1971. *Sociology of the family*. Harmondsworth, Penguin.
- Antiqueira, Lucas, Maria das Graças Nunes, Osvaldo N. Oliveira y Luciano da F. Costa. 2006. “Strong correlations between text quality and complex network features”. *Physica A: Statistical and Theoretical Physics*, 373: 811-820.
- Anton, Howard y Chris Rorres. 2005. *Elementary linear algebra. Applications version*. 9<sup>a</sup> edición, Nueva York, Wiley.
- Appel, Kenneth y Wolfgang Haken. 1977. “Every planar map is four colorable. Part I: Discharging”. *Illinois Journal of Mathematics*, 21: 429-490..
- Appel, Kenneth, Wolfgang Haken y John Koch. 1977. “Every planar map is four colorable. Part II: Reducibility”. *Illinois Journal of Mathematics*, 21: 491-567.
- Arcangelis, Lucilla de y Hans J. Hermann. 2002. “Self-organized criticality on small-world networks”. *Physica A*, 308: 545-549, cond-mat/0110231.
- Armstrong, Scott. 2007a. “Significance tests harm progress in forecasting”. *International Journal of Forecasting*, 23: 321-327.
- Armstrong, Scott. 2007b. “Statistical significance tests are unnecessary even when properly done”. *International Journal of Forecasting*, 23: 335-336.
- Arnold, Ludwig. 1967. “On the asymptotic distribution of the eigenvalues of random matrices”. *Journal of mathematical analysis and applications*, 20: 262-268.
- Arrow, Kenneth. 1950. “A difficulty in the concept of social welfare”. *Journal of Political Economy*, 58(4): 328-346.
- Ascher, Marcia. 1988. “Graphs in cultures: A study in ethnomathematics”. *Historia mathematica*, 15(3): 201-227.
- Ascher, Marcia. 1991. *Ethnomathematics: A multicultural view of mathematical ideas*. Boca Raton, Chapman & Hall/CRC.
- Ascher, Marcia. 2005. “Malekula sand tracing: A case in ethnomathematics”. *Proceedings of BRIDGES: Mathematical connections in art, music and science*, pp. 57-64.
- Ashlock, Daniel (compilador). 2006. *Evolutionary computation for modeling and optimization*. Nueva York, Springer Science+Business Media.
- Ashworth, Michael y Kathleen M. Carley. 2003. “Critical Human Capital”. Carnegie Mellon, Pittsburgh, CASOS Working Paper.
- Assayag, Gerard, Hans Georg Feichtinger y José Francisco Rodrigues (compiladores). 2002. *Mathematics and music. A Diderot Mathematical Forum*. Berlín y Heidelberg, Springer.

- Atkins, John. 1966. Revisión de *Applications of graph theory to group structure* de Claude Flament. *American Anthropologist*, 68(6): 1583-1584.
- Auerbach, Felix. 1913. “Das Gesetz der Bevölkerungskonzentration”. *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 59: 74-76.
- Austin, T. L., R. E. Fagen, W. F. Penney y John Riordan. 1959. “The number of components of random linear graphs”, *Annals of Mathematical Statistics*, 30: 747-754.
- Awtuch, Anna. 2009. “Spatial order and security: Case study of two housing estates”. *Proceedings of the 7<sup>th</sup> Space Syntax Symposium*, Estocolmo, pp. 005.1-005.10.
- Axtell, Robert. 2001. “Zipf distribution of U.S. firm sizes”. *Science*, 293: 1818-1820.
- Bäck, Thomas, David Fogel y Zbigniew Michalewicz (compiladores). 1997. *Handbook of evolutionary computation*. Oxford, Oxford University Press.
- Bäck, Thomas, David Fogel y Zbigniew Michalewicz (compiladores). 2000a. *Evolutionary computation 1: Basic algorithms and operators*. Bristol y Filadelfia, Institute of Physics Publishing.
- Bäck, Thomas, David Fogel y Zbigniew Michalewicz (compiladores). 2000b. *Evolutionary computation 2: Advanced algorithms and operators*. Bristol y Filadelfia, Institute of Physics Publishing.
- Bahr, David B. y Eve Passerini. 1998a. “Statistical mechanics of opinion formation and collective behavior: Micro-sociology”. *Journal of Mathematical Sociology*, 23(1): 1-27.
- Bahr, David B. y Eve Passerini. 1998b. “Statistical mechanics of collective behavior: Macro-sociology”. *Journal of Mathematical Sociology*, 23: 29-49
- Bak, Per. 1994. “Self-organized criticality: A holistic view of nature”. En: G. Cowan, D. Pines y D. Meltzer (compiladores), *Complexity: Metaphors, Models, and Reality*, Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity, Vol. 19, Reading, Addison-Wesley, pp. 477–495.
- Bak, Per. 1996. *How Nature Works: The Science of Self-Organized Criticality*. Nueva York, Springer.
- Bak, Per y Kan Chen. 1991. “Self-organized criticality”. *Scientific American*, 264(1): 46–53.
- Bakan, David. 1966. “The test of significance in psychological research”. *Psychological Bulletin*, 66: 423-437.
- Baker, Wayne E. y Robert R. Faulkner. 1993. “The Social Organization of Conspiracy: Illegal Networks in the Heavy Electrical Equipment Industry.” *American Sociological Review*, 58: 837–60.
- Balakrishnan, Narayanaswami y Valery B. Nevzorov. 2003. *A primer on statistical distributions*. Hoboken, Wiley.
- Balakrishnan, V. K. 1997. *Theory and problems of graph theory*. Londres, McGraw-Hill.
- Balanov, Alexander, Natalia Janson, Dmitry Postnov y Olga Sosnovoitseva. 2009. *Synchronization: From simple to complex*. Berlín-Heidelberg, Springer.
- Ballard, Dana. 1997. *An introduction to natural computation*. Cambridge (USA), The MIT Press.
- Ballonoff, Paul. 1974. “Structural statistics: Models relating demography and social structure with applications to Apache and Hopi”. *Social biology*, 20: 421-426.
- Baltz, Andreas y Lasse Kliemann. 2005. “Spectral analysis”. En: U. Brandes y T. Erlebach (compiladores), *Op. cit.*, pp. 373-416.
- Banerjee, Anirban y Jürgen Jost. 2009. “Spectral characterization of network structures and dynamics”. En: N. Ganguly, A. Deutsch y A. Mukherjee (compiladores), *Op. cit.*, pp. 117-132.

- Bang-Jensen, Jørgen y Gregory Gutin. 2009. *Digraphs: Theory, algorithms and applications*. 2<sup>a</sup> edición, Londres, Springer.
- Banning, Edward B. 1996. “Houses, compounds, and mansions in the prehistoric Near East”. En: G. Coupland y E. B. Banning (compiladores), *People who lived in big houses: Archaeological perspectives on large domestic structures*. Monographs in World Archaeology 27, Madison, Prehistory Press, pp. 165-185.
- Banning, Edward B. y Brian F. Byrd. 1989. “Alternative approaches for exploring Levantine neolithic architecture”. *Paléorient*, 15: 154-160.
- Barabási, Albert-László. 2000. “Topology of evolving networks: Local events and universality”. arXiv:cond-mat/0005085v1, <http://arxiv.org/pdf/cond-mat/0005085.pdf>. Visitado en abril de 2010.
- Barabási, Albert-László. 2003. *Linked: How everything is connected to everything else and what it means*. Nueva York, Plume Books.
- Barabási, Albert-László y Réka Albert. 1999. “Emergence of scaling in random networks”. *Science*, 286(5440): 509-512.
- Barabási, Albert-László y Eric Bonabeau. 2003. “Scale-free networks”. *Scientific American*, 288(5): 50-59.
- Barbosa de Almeida, Mauro W. 1990. “Symmetry and Entropy: Mathematical metaphors in the work of Lévi-Strauss”. *Current Anthropology*, 31(4): 367-385.
- Barbosa de Almeida, Mauro W. 1992. “On Turner on Lévi-Strauss”. *Current Anthropology*, 33(1): 60-63.
- Barbosa, Álvaro. 2003. “Displaced soundscapes: A survey of network systems for music and sonic art creation”. *Leonardo Music Journal*, 13: 53-59.
- Bari, Ruth y Frank Harary (compiladores). 1974. *Graphs and combinatorics*. Proceedings of the Capital Conference on Graph Theory and Combinatorics at the George Washington University. Berlín-Heidelberg-Nueva York, Springer.
- Barkowsky, Thomas, Marcus Knauff, Gérard Ligozat y Daniel R. Montello (compiladores). 2006. *Spatial cognition: Reasoning, action, interaction*. Berlín, Heidelberg y Nueva York, Springer.
- Barnard, Alan. 2004. *History and theory in Anthropology*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Barnes, John Arundel. 1954. “Class and Committees in a Norwegian Island Parish”. *Human Relations*, 7(1): 39-58.
- Barnes, John Arundel. 1969. “Networks and political processes”. En: J. C. Mitchell (compilador), *Op. cit.*, pp. 51-76.
- Barnes, John Arundel. 1972. *Social networks*. Module in Anthropology nº 26. Reading, Addison-Wesley.
- Barnes, John Arundel. 1974a. Revisión de J. Boissevain y J. C. Mitchell (compiladores), *Op. cit. Man*, nueva serie, 9(3): 497-499.
- Barnes, John Arundel. 1974b. Revisión de J. Boissevain, *Op. cit. The American Journal of Sociology*, 8(6): 1542-1544.
- Barnes, John Arundel. 1980. “Kinship studies: Some impressions of the current state of play”. *Man*, n. s., 15: 293-303.
- Barnes, John Arundel. 1984. “Modelling: For real or for fun?”. *Second Annual Sunbelt Network Conference*. Tampa, 12 de febrero.

- Barnette, David. 1983. *Map coloring, polyhedra, and the four-color problem*. Washington, D. C., Mathematical Association of America.
- Barry, Laurent. 2000. “Argument”. *L'Homme*, 154-155: 9-20.  
<http://lhomme.revues.org/index19.html>. Visitado en abril de 2010.
- Barth, Fredrik. 1992. “Towards greater naturalism in conceptualizing society”. En: A. Kuper (compilador), *Conceptualizing society*. Londres, Routledge, 17-33.
- Barthélemy, Marc y Alessandro Flammini. 2008. “Modeling urban street patterns”. arXiv:0708.4360v1. *Physical Review Letters*, 100(13), 138702
- Basch, Linda, Lucie Wood Saunders, Jagna Wojcicka Sharf y James Peacock (compiladores). 1999. *Transforming academia: Challenges and opportunities in an engaged anthropology*. American Ethnological Society Monograph Series. Washington, American Anthropological Association.
- Bashkow, Ira, Matti Bunzl, Richard Handler, Andrew Orta y Daniel Rosenblatt. 2004. “A new boasian anthropology: Theory for the 21<sup>st</sup> Century”. *American Anthropologist*, 106(3): 433-434.
- Bateson, Gregory. 1936. *Naven*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Bateson, Gregory. 1980. *Espíritu y naturaleza*. Buenos Aires, Amorrortu.
- Bateson, Gregory. 1985 [1972]. *Pasos hacia una ecología de la mente*. Buenos Aires, Carlos Lohlé.
- Bateson, Gregory. 1991. *Sacred unity: Further steps to an ecology of mind*. Nueva York, Harper Collins.
- Baudrillard, Jean. 1980 [1973]. *El espejo de la producción*. México, Gedisa.
- Bavelas, Alexander. 1948. “A mathematical model for group structures”. *Applied Anthropology*, 7(1): 16-30. [Traducción castellana: “Un modelo matemático para las estructuras del grupo”. En: Alfred G. Smith (compilador), *Comunicación y cultura*, vol. 2, Buenos Aires, Nueva Visión, 1977, pp. 91-98].
- Bavelas, Alexander. 1950. “Communication patterns in task orientated groups”. *Journal of the Acoustical Society of America*, 22: 271–288.
- Bax, Mart. 1999 [1977]. “Figuration Analysis: A Better Perspective for Networker; With an Illustration from Ireland”. *American Quarterly*, 56(4): 221-230, diciembre. Citado en Susan Graham (1981: 112) [¿erróneamente?] como “Network structuralists and network actionists: An old dichotomy under a new cover (1977)”.
- Baxter, Michael J. 1994. *Exploratory multivariate analysis in archaeology*. Edinburgo, Edinburgh University Press.
- Bazaraa, Mokhtar y John Jarvis. 1977. *Linear programming and network flows*. Nueva York, John Wiley & Sons.
- Bazaraa, Mokhtar, Hanif Sherali y C. M. Shetty. 2006. *Nonlinear programming: Theory and algorithms*. 3<sup>a</sup> edición, Hoboken, Wiley Interscience.
- Beineke, Lowell y Robin Wilson (compiladores). 2004. *Topics in algebraic graph theory*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Bell, Michael (compilador). 1998. *Transportation networks: Recent methodological advances*. Amsterdam, Elsevier Science.
- Beltrami, E. y L. Bodin. 1973. “Networks and vehicle routing for municipal waste collection”. *Networks*, 4: 65-94.

- ben-Avraham, Daniel y Shlomo Havlin. 2000. *Diffusion and reaction in fractals and disordered systems*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Bender-deMoll, Skye y Daniel A. McFarland. 2006. "The art and science of dynamic network visualization". *Journal of Social Structure*, 7(2), <http://www.cmu.edu/joss/content/articles/volume7/deMollMcFarland>.
- Benedikt, Michael. 1979. "To take hold of space: isovists and isovist fields". *Environment and Planning B: Planning and Design*, 6: 47-65.
- ben-Menahem, Ari. 2009. *Historical encyclopedia of natural and mathematical sciences*. Berlín, Heidelberg y Nueva York, Springer.
- Bentley, Peter y David Corne (compiladores). 2002. *Creative evolutionary systems*. San Diego, Academic Press.
- Berge, Claude. 1963. "Perfect graphs". En: *Six papers on graph theory*. Calcutta, Indian Statistical Institute, pp. 1-21.
- Berge, Claude. 1968. *Principes de combinatoire*. París, Dunod.
- Berge, Claude. 1973. *Graphs and hypergraphs*. Nueva York, American Elsevier.
- Berge, Claude. 1991. *Graphs*. 3<sup>a</sup> edición revisada, Amsterdam, North Holland.
- Berkowitz, Stephen. 1982. *An introduction to structural analysis: The network approach to social research*. Toronto, Butterworth.
- Berkson, Joseph. 1938. "Some difficulties of interpretation encountered in the applications of the chi-square test". *Journal of the Americal Statistical Association*, 33(203): 526-542.
- Berliner, Joseph. 1962. "The feet of natives are large: An essay on anthropology by an economist". *Current Anthropology*, 3(1): 47-77.
- Bernard, Russell. 1995. *Research methods in anthropology. Qualitative and quantitative approaches*. Walnut Creek, Altamira Press.
- Bernard, Russell (compilador). 1998. *Handbook of methods of cultural anthropology*. Walnut Creek, Altamira Press.
- Bernard, Russell, Gene Ann Shelley y Peter Killworth. 1987. "How much of a Network does the GSS and RSW dredge up?". *Social Networks*, 9: 49-63.
- Bernard, Russell. 2006. "Honoring Peter Killworth's contribution to social network theory." Trabajo presentado en la Universidad de Southampton, setiembre, <http://nersp.osg.ufl.edu/~ufruss/>. Visitado en abril de 2010.
- Bernot, Marc, Vicent Caselles y Jean-Michel Morel. 2009. *Optimal transportation networks: Models and theory*. Berlín y Heidelberg, Springer.
- Bertuglia, Cristoforo Sergio y Franco Vaio. 2005. *Nonlinearity, chaos, and complexity: The dynamics of natural and social systems*. Oxford, Oxford University Press.
- Bharati, Akshar, Vineet Chaitanya y Rajeev Sangal. 1995. *Natural language processing: A Paninian perspective*. Nueva Delhi, Prentice-Hall of India Private Ltd.
- Bianconi, Ginestra y Albert-László Barabási. 2001a. "Competition and multiscaling in evolving networks". *EuroPhysics Letters*, 54(4): 436-442.
- Bianconi, Ginestra y Albert-László Barabási. 2001b. "Bose-Einstein condensation in complex networks". *Phys. Review Letters*, 86: 5632. <http://arxiv.org/pdf/cond-mat/0011224>. Visitado en abril de 2010.

- Biemann, Chris, Monojit Choudhury y Animesh Mukherjee. 2009. “The syntax is from Mars while semantics from Venus! Insight from spectral analysis of distributional similarity networks”. *Proceedings of the ACL-IJCNLP 2009 Conference Short Papers*, Association for Computational Linguistics. <http://www.aclweb.org/anthology/P/P09/P09-2062.pdf>. Visitado en abril de 2010.
- Biemann, Chris, Irina Matveeva, Rada Mihalcea, y Dragomir Radev (compiladores). 2007. *Proceedings of the Second Workshop on TextGraphs: Graph-Based Algorithms for Natural Language Processing*. Rochester, Association for Computational Linguistics.
- Biemann, Chris y Uwe Quasthoff. 2009. “Networks generated by natural language texts”. En: N. Ganguly y otros (compiladores), *Op. cit.*, pp. 167-188.
- Biggs, Norman. 1974. *Algebraic graph theory*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Biggs, Norman, E. Keith Lloyd y Robin J. Wilson. 1983. *Graph theory, 1736-1936*. Oxford, Oxford University Press.
- Büyükoğlu, Türker, Joseph Leydold y Peter Stadler. 2007. *Laplacian eigenvectors of graphs: Perron-Frobenius and Faber-Krahn type theorems*. Berlín-Heidelberg, Springer Verlag.
- Blair, Douglas y Robert Pollack. 1999. “La logique du choix collectif”. *Pour la Science – Dossier: Les mathématiques sociales*, Julio, pp. 82-89.
- Blanchard, Philippe y Tyll Krüger. 2008. “The ‘Cameo principle’ and the origin of scale-free graphs in social networks”. <http://arxiv.org/pdf/cond-mat/0302611v2>. Visitado en mayo de 2010.
- Blanchard, Philippe y Dimitri Volchenkov (compiladores). 2009. *Mathematical analysis of urban spatial networks*. Berlín y Heidelberg, Springer.
- Blasius, Bernd, Jürgen Kurths y Lewi Stone. 2007. *Complex population dynamics: Nonlinear modeling in ecology, epidemiology and genetics*. Singapur, World Scientific.
- Bloch, Maurice. 1973. Review de Rodney Needham, *Rethinking kinship and marriage. The British Journal of Sociology*, 24(3): 390-391.
- Blum, Christian, María José Blesa Aguilera, Andrea Roli y Michael Sampels (compiladores). 2008. *Hybrid metaheuristics: An emerging approach to optimization*. Berlín y Heidelberg, Springer-Verlag.
- Boccaletti, Stefano. 2008. *The synchronized dynamics of complex systems*. Amsterdam, Elsevier.
- Boccaletti, Stefano, Vito Latora, Yamir Moreno, Mario Chavez, Dong-Uk Hwang. 2006. “Complex networks: Structure and dynamics”. *Physics Reports*, 424: 175-308.
- Boguñá, Marian, Romualdo Pastor-Satorras y Alessandro Vespignani. 2002. “Absence of epidemic threshold in scale-free networks with connectivity correlations”. Preprint cond-mat/0208163. <http://arxiv.org/pdf/cond-mat/0208163>. Visitado en abril de 2010.
- Boissevain, Jeremy. 1974. *Friends of friends: Networks, manipulators and coalitions*. Nueva York, St. Martin’s Press.
- Boissevain, Jeremy. 1979. “Network analysis: A reappraisal”. *Current Anthropology*, 20(2): 392-394.
- Boissevain, Jeremy y J. Clyde Mitchell. 1973. *Network analysis: Studies in human interaction*. La Haya, Mouton.
- Bollobás, Béla. 1993. “The future of graph theory”, en J. Gimbel, J. Kennedy y L. Quintas (compiladores), *Op. cit.*, pp. 5-11.
- Bollobás, Béla. 1998. *Modern graph theory*. Nueva York, Springer Verlag.
- Bollobás, Béla. 2001. *Random graphs*. 2<sup>a</sup> edición, Cambridge, Cambridge University Press.

- Bollobás, Béla. 2002. “The Erdős-Rényi theory of random graphs”. En Gábor Halász, László Lovász, Miklós Simonovits y Vera Sós (compiladores), *Paul Erdős and his mathematics II*. Berlín, Springer.
- Bollobás, Béla. 2004. *Extremal graph theory*. Nueva York, Dover.
- Bollobás, Béla y Oliver Riordan. 2003. “Mathematical results on scale-free random graphs”. En: S. Bornholdt y H. G. Schuster (compiladores), *Op. cit.*, pp. 1-34.
- Bollobás, Béla y Oliver Riordan. 2006. *Percolation*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Bóna, Miklós. 2006. *A walk through combinatorics: An introduction to enumeration and graph theory*. Singapur, World Scientific.
- Bonacich, Philip. 1978. “Using boolean algebra to analyze overlapping memberships”. *Sociological methodology*, 9: 101-115.
- Bonacich, Philip. 1987. “Power and centrality: A family of measures”. *American Journal of Sociology*, 92: 1170-1182.
- Bonacich, Philip y Maureen McConaghy. 1980. “The algebra of blockmodeling”. *Sociological methodology*, 11: 489-532.
- Bonanno, Anthony, Tancred Gouder, Caroline Malone y Simon Stoddart. 1990. “Monuments in an island society: The Maltese context”. *World Archaeology*, 22(2): 189-205.
- Bonchev, Danail y Dennis Rouvray. 1991. *Chemical graph theory. Introduction and fundamentals*. Amsterdam, OPA.
- Bondy, John Adrian y U. S. R. Murty. 1976. *Graph theory with applications*. Nueva York, North-Holland.
- Boorman, Scott y Phipps Arabie. 1980. “Algebraic approaches to the comparison of concrete social structures represented as networks: Reply to Bonacich”. *The American Journal of Sociology*, 86(1): 166-174.
- Borgatti, Stephen. 2006. “Identifying sets of key players in a network”. *Computational, Mathematical and Organizational Theory*, 12: 21-34.
- Borgatti, Steve y Martin Everett. 1999. “Models of core/periphery structures”. *Social Networks*, 21: 375-395.
- Borgatti, Steven y Martin Everett. 2006. “A graph-theoretic perspective in centrality”. *Social Networks*, 8(4): 466-484.
- Borgatti, Steve, Martin Everett y Linton Clarke Freeman. 2002. *Ucinet for Windows: Software for Social Network Analysis*. Harvard, Analytic Technologies.
- Bornholdt, Stefan y Hans Georg Schuster (compiladores). 2003. *Handbook of graphs and networks. From the genome to the Internet*. Weinheim, Wiley.
- Borovik, Alexandre. 2007. *Mathematics under the microscope: Notes on cognitive aspects of mathematical practice*. Creative Commons, <http://eprints.ma.man.ac.uk/844/>. Visitado en abril de 2010.
- Bortkiewicz, Ladislaus von. 1898. *Das Gesetz der Kleinen Zahlen*. Leipzig, Teubner.
- Bott, Elizabeth. 1957. *Family and Social Network: Roles, norms and external relationships in ordinary urban families*. Londres, Tavistock.
- Bott, Elizabeth. 1971. *Family and Social Network: Roles, norms and external relationships in ordinary urban families*. 2<sup>a</sup> edición, Londres, Tavistock.
- Bouquet, Mary. 1993. *Reclaiming british kinship: Portuguese refractions of british kinship theory*. Manchester, Manchester University Press.

- Bouquet, Mary. 2001. “Genealogy in anthropology”. En: N. Smelser y P. Baltes (compiladores), *Op. cit.*, pp. 6029-6032.
- Bourdieu, Pierre. 1977. *Outline of a theory of practice*. Oxford, Oxford University Press.
- Bourdieu, Pierre. 1982. *Leçon sur la leçon*. París, Éditions du Minuit.
- Bourdieu, Pierre. 1984. *Homo academicus*. París, Éditions du Minuit.
- Bourdieu, Pierre. 1985. “The genesis of the concepts of habitus and of field”. *Sociocriticism*, 2: 11-24.
- Bourdieu, Pierre. 1990 [1980]. *The logic of practice*. Stanford, Stanford University Press.
- Bourdieu, Pierre. 1993. “La lógica de los campos”. *Zona Erógena*, 16, <http://pierre-bourdieu.blogspot.com/2006/07/la-lógica-de-los-camposentrevista.html>. Visitado en abril de 2009.
- Bourdieu, Pierre. 2001. *Las estructuras sociales de la economía*. Buenos Aires, Manantial.
- Bourdieu, Pierre. 2007 [1980]. *El sentido práctico*. Buenos Aires, Siglo XXI.
- Bourdieu, Pierre y Loïc J. D. Wacquant. 1992. *Réponses: Pour une anthropologie réfléxive*. París, Seuil.
- Bourdieu, Pierre y Loïc J. D. Wacquant. 2008 [1992]. *Una invitación a la sociología reflexiva*. 2<sup>a</sup> edición, Buenos Aires, Siglo XXI.
- Bourdieu, Pierre y Monique de Saint Martin. 1982. “La sainte familie. L’épiscopate français dans le champ du pouvoir”. *Actes de la recherche en sciences sociales*, 44-45: 2-53.
- Box, George y Gwilym Jenkins. 1970. *Time series analysis: Forecasting and control*. San Francisco, Holden-Day.
- Boyd, John P. 1965. “The algebra of group kinship”. *Journal of Mathematical Psychology*, 6: 139-167.
- Boyd, John, William Fitzgerald y Robert Beck. 2004. “Computing core/periphery structures and permutation tests for social relations data”. Universidad de California en Irvine, Reporte, [http://www.imbs.uci.edu/tr/abs/2004/mbs04\\_13.pdf](http://www.imbs.uci.edu/tr/abs/2004/mbs04_13.pdf). Visitado en abril de 2009.
- Bradley, Bruce. 1992. ‘Excavations at Sand Canyon Pueblo’. En: W. Lipe (compilador), *The Sand Canyon Archaeological Project*, Occasional Paper 2, Cortez, Crow Canyon Archaeological Center.
- Bradley, Bruce. 1993. “Planning, growth, and functional differentiation at a prehistoric Pueblo: A case study from SW Colorado”. *Journal of Field Archaeology*, 20: 23-42.
- Brameier, Markus y Wolfgang Banzhaf. 2007. *Linear genetic programming*. Nueva York/Berlín, Springer Science+Business Media.
- Brandes, Ulrik y Dorothea Wagner. 1999. “Contextual visualization of actor status in social networks”. *Konstanzer Schriften in Mathematik und Informatik*, nº 104. <http://www.informatik.uni-konstanz.de/schriften>. Visitado en abril de 2009.
- Brandes, Ulrik y Thomas Erlebach (compiladores). 2005. *Network analysis: Methodological foundations*. Berlín, Springer Verlag.
- Brandes, Ulrik, Patrick Kenis y Jörg Raab. 2006. “Explanation through network visualization”. *Methodology*; 2(1): 16-23.
- Brandes, Ulrik y Thomas Willhalm. 2002. “Visualization of bibliographic networks with a reshaped landscape metaphor”. *Konstanzer Schriften in Mathematik und Informatik*, 170. <http://graphics.uni-konstanz.de/publikationen/>. Visitado en julio de 2010.

- Branstädt, Andreas, Van Bang Le y Jeremy Spinrad. 2004. *Graph classes: A survey*. Filadelfia, SIAM.
- Brauer, Fred, Pauline van den Driessche y Jianhong Wu (compiladores). 2008. *Mathematical epidemiology*. Berlín y Heidelber, Springer-Verlag.
- Breiger, Ronald, Kathleen Carley y Philippa Pattison (compiladores). 2003. *Dynamic social networks modeling and analysis*. Washington, Committee of Human Factors, National Research Council.
- Broadbent, Simon R. y John Michael Hammersley. 1957. “Percolation processes, 1. Crystals and mazes”. *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 53: 629–641.
- Brooks, Frederick. 1975. *The mythical man-month: Essays on software engineering*. Reading, Addison-Wesley.
- Brösamle, Martin y Christoph Hölscher. 2007. “How do humans interpret configuration?: Towards a spatial semantics”. *Proceedings, 6<sup>th</sup> International Space Syntax Symposium*, İstanbul, pp. 130.01-130.06.
- Brown, James Robert. 1999. Philosophy of mathematics. An introduction to the world of proofs and pictures. Londres, Routledge.
- Brualdi, Richard. 2007. “Combinatorial matrix theory”. En: Leslie Hogben (compilador), *Op. cit.*, pp.27.1-27.12.
- Buchanan, Mark. 2002. *Nexus: Small Worlds and the Groundbreaking Science of Networks*. Nueva York, Norton.
- Buchler, Ira y Henry Selby. 1968. *Kinship and social organization*. Nueva York, Macmillan.
- Bunke, Horst, Peter Dickinson, Miro Kraetzel y Walter Wallis. 2007. A graph-theoretic approach to enterprise network dynamics. Boston-Basilea-Berlín, Birkhäuser.
- Bunzl, Matti. 2005. “Anthropology beyond crisis: Toward an intellectual history of the extended present”. *Anthropology and Humanism*, 30(2): 187-195.
- Burns, Tom y G. M. Stalker. 1961. *The management of innovation*. Londres, Tavistock.
- Burt, Ronald S. 1980. “Models of network structure”. *Annual Review of Sociology*, 6: 79-141.
- Burt, Ronald S. 1987. “Social contagion and innovation: Cohesion versus structural equivalence”. *American Journal of Sociology*, 92: 1287-1335.
- Burt, Ronald S. 1992. *Structural holes: The social structures of competition*. Cambridge, Harvard University Press.
- Bustard, W. 1996. *Space as place: Small and great house spatial organization in Chaco Canyon*. Disertación de doctorado, Universidad de New Mexico en Albuquerque. Ann Arbor, UMI Dissertation Services.
- Cajori, Florian. 1993 [1928, 1929]. *A history of mathematical notations*. Nueva York, Dover.
- Caldarelli, Guido y Alessandro Vespignani (compiladores). 2007. *Large scale structure and dynamics of complex networks: From information technology to finance and natural science*. Singapur, World Scientific.
- Callon, M. 2001. “Actor Network Theory”. En: Neil Smelser y Paul Baltes (editores), *International Encyclopedia of the Social and Behavioral Sciences*. Londres, Elsevier.
- Calvão, Filipe y Kerry Chance. 2006. “On the absence of the metaphysical field: An interview with Marshall Sahlins”. *Exchange*. University of Chicago, <http://ucexchange.uchicago.edu/interviews/sahlins.html>. [*Etnográfica*, X(2): 385-394].

- Camazine, Scott, Jean-Louis Deneubourg, Nigel Franks, James Sneyd, Guy Theraulaz y Eric Bonabeau. 2003. *Self-organization in biological systems*. Princeton, Princeton University Press.
- Campbell, Jamie (compiladora). 2005. *Handbook of mathematical cognition*. Nueva York, Psychology Press.
- Cano, Pedro, Oscar Celma y Markus Koppenberger. 2005. “The topology of music recommendation networks”. arXiv:physics/0512266v1, <http://arxiv.org/pdf/physics/0512266.pdf>. Visitado en abril de 2010.
- Capasso, Vincenzo y Jacques Périaux (compiladores). 2000. *Multidisciplinary methods for analysis optimization and control of complex systems*. Berlín-Heidelberg-Nueva York, Springer.
- Caplow, Theodore. 1974. *Dos contra uno: Teoría de coaliciones en las tríadas*. Madrid, Alianza.
- Capobianco, Michael y John Molluzzo. 1978. *Examples and counterexamples in graph theory*. Nueva York, Elsevier-North Holland.
- Capra, Fritjof. 1996. *The web of life: A new scientific understanding of living systems*. Nueva York, Anchor Books. [Traducción castellana: *La trama de la vida*. 5ª edición, Barcelona, Anagrama, 2003].
- Cardillo, Alessio, Salvatore Scellato, Vito Latora y Sergio Porta. 2005. “Structural properties of planar graphs of urban street patterns”. arXiv:physics/0510162v1. <http://arxiv.org/pdf/physics/0510162.pdf>. Visitado en abril de 2010.
- Cardy, John. 1996. *Scaling and renormalization in statistical physics*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Carey, Henry Charles. 1858. *Principles of social science*. Filadelfia, J. B. Lippincot. <http://socserv2.mcmaster.ca/~econ/ugcm/3li3/>. Visitado en mayo de 2010.
- Carley, Kathleen. 2002. “Summary of Key Network Measures for Characterizing Organizational Architectures”. Reporte inédito, Carnegie Mellon University. <http://www.casos.cs.cmu.edu/publications/papers/MeasuresInfo.pdf>. Visitado en abril de 2009.
- Carpenter, Ann y John Peponis. 2009. “Poverty and connectivity: Crossing the tracks”. *Proceedings of the 7<sup>th</sup> Space Syntax Symposium*, Estocolmo, pp.
- Carroll, Michael. 1973. “Applying Heider’s theory of cognitive balance to Claude Lévi-Strauss”. *Sociometry*, 36(3): 285-302.
- Carsten, Janet. 2004. *After kinship*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Carsten, Janet (compiladora). 2008. *Cultures of Relatedness: New approaches in the study of kinship*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Cartwright, Dorwin y Frank Harary. 1956. “Structural balance: A generalization of Heider’s theory”. *Psychological Review*, 63: 277-292.
- Caruso, F., V. Latora, A. Rapisarda y B. Tadić. 2004. “The Olami-Feder-Christensen model on a small-world topology”. <http://arxiv.org/abs/cond-mat/0507643>. Visitado en abril de 2010.
- Carvalho, Rui y Alan Penn. 2003. “Scaling and universality in the micro-structure of urban space”. arXiv:cond-mat/0305164 v2. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.98.5415&rep=rep1&type=pdf>. Visitado en abril de 2010.
- Carver, Ronald P. 1978. “The case against statistical hypothesis testing”. *Harvard Educational Review*, 48: 378-399.

- Carver, Ronald P. 1993. “The case against statistical significance testing, revisited”. *Journal of Experimental Education*, 61: 287-292.
- Castells, Manuel (compilador). 2004. *The network society: A cross-cultural perspective*. Cheltenham, Edward Elgar.
- Castree, Noel. 2005. *Nature*. Londres y Nueva York, Routledge.
- Catani, Marco, Derek Jones y Dominic ffitché. 2004. “Perisylvian language networks of the human brain”. *Annals of Neurology*, 57(1): 8-16. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ana.20319/pdf>. Visitado en noviembre de 2010.
- Cayley, Arthur. 1889. “A theorem on trees”. *Quarterly Journal of Mathematics*, 23: 376-378.
- Černý, V. 1985. “A thermodynamical approach to the traveling salesman problem: an efficient simulation algorithm”. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 45(1): 41-51.
- Champernowne, David Gawen. 1953. “A model of income distribution”. *Economic Journal*, 63: 318-351.
- Chapple, Eliot. 1940. “Measuring human relations: an introduction to the study of the interaction of individuals”. *Genetic Psychology Monographs*, 22(1): 3-147.
- Chapple, Eliot. 1953. Discussion, “Patterns in biology, linguistics, and culture”. En: S. Tax y otros (compiladores), *An Appraisal of Anthropology Today*, Chicago, Chicago University Press, pp. 299-321.
- Chartrand, Gary y Ping Zhang. 2009. *Chromatic graph theory*. Boca Raton, CRC Press.
- Chein, Michel y Marie-Laure Mugnier (compiladoras). 2009. *Graph-based knowledge representation: Computational foundations of conceptual graphs*. Londres, Springer-Verlag London.
- Chen, Wai Kai. 1971. *Applied graph theory*. Nueva York, American Elsevier.
- Chen, Yiping, Gerald Paul, Reuven Cohen, Shlomo Havlin, Stephen P. Borgatti, Fredrik Liljeros y H. Eugene Stanley. 2006. “Percolation theory applied to measures of fragmentation in social networks”. arXiv:cond-mat/0610625v1, <http://arxiv.org/abs/cond-mat/0610625v1>. Visitado en abril de 2009.
- Chen, Yiping, Gerald Paul, Reuven Cohen, Shlomo Havlin, Stephen P. Borgatti, Fredrik Liljeros y H. Eugene Stanley. 2007. “Percolation theory and fragmentation measures in social networks”. *Physica A*, 378: 11-19.
- Chibnik, Michael. 1985. “The use of statistics in sociocultural anthropology”. *Annual Review of Anthropology*, 14: 135-157.
- Chomsky, Noam. 1956. “Three models for the description of language”. IRE Transactions for Information Theory, 2: 113-124. <http://dx.doi.org/10.1109%2FTIT.1956.1056813>. Visitado en enero de 2011.
- Chiesi, Antonio M. 2001. “Network analysis”. En: N. Smelser y P. Baltes, Op. cit., pp. 10499-10502.
- Chong, Edwin y Stanislaw Źak. 2001. *An introduction to optimization*. 2<sup>a</sup> edición. Nueva York, John Wiley & Sons.
- Choudhury, Monojit y Animesh Mukherjee. 2009. “The structure and dynamics of linguistic networks”. En: N. Ganguly y otros (compiladores). Op. cit., pp. 145-166.
- Choudhury, Monojit, Markose Thomas, Animesh Mukherjee, Anupam Basu y Niloy Ganguly. 2007. “How difficult is it to develop a perfect spell-checker? A cross-linguistic analysis through complex network approach”. En: *Proceedings of the Second Workshop on TextGraphs: Graph-Based Algorithms for Natural Language Processing*, Rochester, pp. 81-88.

- Chowell, Gerardo, James Hyman, Luís Bettencourt y Carlos Castillo-Chavez (compiladores). 2009. *Mathematical and statistical estimation approaches in epidemiology*. Dordrecht, Springer.
- Christofides, Nicos. 1975. *Graph theory: An algorithmic approach*. Londres-Nueva York-San Francisco, Academic Press.
- Chung, Fang R. K. 1997. *Spectral graph theory*. Washington, D. C., American Mathematical Society.
- Clark, Alexander. 2000. “Inducing syntactic categories by context distribution clustering”. En: C. Cardie, W. Daelemans, C. Nédellec y E. T. K. Sang (compiladores), *Proceedings of the Fourth Conference on Computational Natural Language Learning and of the Second Learning Language in Logic Workshop*, Lisboa. Somerset, Association for Computational Linguistics, pp. 91-94.
- Clark, James y Alan Gelfand (compiladores). 2006. *Hierarchical modelling for the environmental sciences: Statistical methods and applications*. Oxford, Oxford University Press.
- Claušet, Aaron y Maxwell Young. 2005. “Scale invariance in global terrorism”. <http://arxiv.org/abs/physics/0502014v2>. Visitado en febrero de 2008.
- Claušet, Aaron, Maxwell Young y Kristian Skrede Gleditsch. 2007. “On the frequency of severe terrorist events”. *Journal of Conflict Resolution*, 51(1): 51-88.
- Clifford, James. 1995. “Identidad en Mashpee”. En: J. Clifford, *Dilemas de la cultura*. Traducción de Carlos Reynoso. Barcelona, Gedisa, pp. 327-406.
- Coady, S. K., G. P. Johnson y J. M. Johnson. 1973. “Effectively conveying results: A key to the usefulness of technology assessment”. *First International Congress of Technology Assessment*, La Haya, 31 de mayo.
- Cohen, Jack e Ian Stewart. 1994. *The collapse of chaos: Discovering simplicity in a complex world*. Nueva York, Penguin.
- Cohen, Jacob. 1994. “The earth is round ( $p < .05$ )”. *American Psychologist*, 49: 997-1003.
- Cohen, Reuven y Shlomo Havlin. 2009. “Percolation in complex networks”. En: R. Meyers (compilador), *Op. cit.*, pp. 6495-6504.
- Cohen, Reuven, Shlomo Havlin y Daniel ben-Avraham. 2003. “Efficient immunization strategies for computer networks and populations”. *Physical Review Letters*, 91: 247901. <http://arxiv.org/pdf/cond-mat/0207387v3>. Visitado en abril de 2010.
- Coleman, James Samuel. 1986. “Social theory, social research, and a theory of action”. *American Journal of Sociology*, 91: 1309-1335.
- Collard, Chantal. 2000. “‘Kinship studies’ au tournant du siècle”. *L’Homme*, 154-155: 635-658. <http://lhomme.revues.org/index53.html>. Visitado en abril de 2010.
- Collins, Alan M. y M. R. Quillian. 1969. “Retrieval time from semantic memory”. *Journal of Verbal Learning and Verbal Memory*, 8: 240-247.
- Colonius, Fritz y Wolfgang Kliemann. 2007. “Dynamical systems and linear algebra”. En: L. Hogben (compilador), *Op. cit.*, pp. 56.1-56.22.
- Condorcet, Jean-Antoine-Nicolas de Caritat, Marqués de. 1785. *Essai sur l’application de l’analyse à la probabilité des décisions rendues à la pluralité des voix*. París. [Reimpresión. Nueva York, Chelsea, 1972].
- Conklin, Harold. 1967. “Some aspects of ethnographic research in Ifugao”. *Transactions of the New York Academy of Sciences*, serie 2, 30: 99-121.
- Conroy Dalton, Ruth. 2001. *Spatial navigation in immersive virtual environments*. Disertación de doctorado, Bartlett School of Graduate Studies, University of London.

- Consul, Prem y Felix Famoye. 2006. *Lagrangian probability distributions*. Boston-Basilea-Berlín, Birkhäuser.
- Conte, Donatello, Pasquale Foggia, Carlo Sansone y Mario Vento. 2007. “How and why pattern recognition and computer vision applications use graphs”. En: E. Kandel y otros (compiladores), *Op. cit.*, pp. 85-135.
- Conte, Giuseppe, Claude Moog y Annamaria Perdon. 1999. *Nonlinear control systems: An algebraic setting*. Nueva York, Berlín y Heidelberg, Springer Verlag.
- Conte, Giuseppe, Claude Moog y Annamaria Perdon. 2007. *Algebraic methods for nonlinear control systems: Theory and applications*. 2<sup>a</sup> edición, Nueva York, Berlín y Heidelberg, Springer Verlag.
- Connolly, James y Mark Lake. 2006. *Geographical information systems and archaeology*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Coombs, Clyde. 1964. *A theory of data*. Nueva York, Wiley.
- Cooper, Laurel M. 1995. *Space syntax analysis of Chacoan great houses*. Disertación de doctorado, Tucson, Universidad de Arizona en Ann Arbor.
- Cormen, Thomas, Charles Leiserson, Ronald Rivest y Cliff Stein. 2001. *Introduction to Algorithms*. 2<sup>a</sup> edición, Cambridge (USA), MIT Press.
- Corominas-Murtra, Bernat, Sergi Valverde y Ricard Solé. 2007. “The ontogeny of scale-free syntax networks through language acquisition”. Santa Fe Institute, Working Papers 07-06-012, <http://www.santafe.edu/research/publications/workingpapers/07-06-012.pdf>. Visitado en junio de 2010.
- Cotta, Carlos y Jano van Hemert (compiladores). 2008. *Recent advances in evolutionary computation for combinatorial optimization*. Berlín y Heidelberg, Springer-Verlag.
- Couclelis, Helen y Nathan Gale. 1986. “Space and spaces”. *Geografiska Annaler. Series B, Human Geography*, 68(1): 1-12.
- Courrège, Philippe. 1965. “Un modèle mathématique des structures élémentaires de parenté”. *L'Homme*, 5(3-4): 248-290.
- Covington, Michael. 1984. *Syntactic Theory in the High Middle Ages*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Cowan, George, David Pines y David Meltzer. 1993. *Complexity: Metaphors, models, and reality*. Santa Fe, Westview Press.
- Cowger, Charles. 1984. “Statistical significance tests: Scientific ritualism or scientific method?”. *Social Service Review*, 58: 358-371.
- Cowgill, George. 1977. “The trouble with significance test and what can we do about it”. *American Antiquity*, 42: 350-368.
- Cressie, Noel. 1993. *Statistics for spatial data*. Edición revisada. Nueva York, John Wiley & Sons.
- Crump, Thomas. 1979. “Trees and stars: graph theory in Southern Mexico”. En: J. Mitchell (compilador), *Numerical techniques in social anthropology*. Filadelfia, Ishi.
- Csermely, Péter. 2006. *Weak links: Stabilizers of complex systems from proteins to social networks*. Nueva York, Springer.
- Cubitt, Tessa. 1973. “Network density among urban families”. En: J. Boissevain y J. C. Mitchell (coordinadores), *Op. cit.*, pp. 67-82.
- Cuthbert, K. R. 1989. “Social relations in Luzon, Philippines, using the reverse small world problem”. En: M. Kochen (compilador), *Op. cit.*, pp. 211-226.

- Cutting, Marion. 2003. “The use of spatial analysis to study prehistoric settlement architecture”. *Oxford Journal of Archaeology*, 22(1): 1-21.
- Cvetković, Dragoš, Michael Doob, Ivan Dubman y Aleksandar Torgasev. 1988. *Recent results in the theory of graph spectra*. Amsterdam, North Holland.
- Cvetković, Dragoš, Michael Doob y Horst Sachs. 1980. *Spectra of graphs: Theory and application*. Nueva York, San Francisco y Londres, Academic Press.
- Cvetković, Dragoš, Peter Rowlinson y Slobodan Simić. 1997. *Eigenspaces of graphs*. Cambridge, Cambridge University Press.
- D'Andrade, Roy Goodwin. 1995. *The development of cognitive anthropology*. Cambridge, Cambridge University Press.
- D'Andrade, Roy. 2000. “The sad story of anthropology 1950-1999”. *Cross-cultural research*, 34(3): 219-232.
- Dailey, Charles A. 1976. “Graph theory in the analysis of personal documents”. *Human relations*, 12: 65-74.
- Dalton, Nick. 2001. “Fractional configurational analysis and a solution to the Manhattan problem”. *Proceedings, 3<sup>rd</sup> International Space Syntax Symposium, Atlanta*, pp. 26.1-26.13.
- Daniel, Larry. 1993. “Statistical Significance Testing: A Historical Overview of Misuse and Misinterpretation with Implications for the Editorial Policies of Educational Journals”. *Research in the schools*, 5(2): 23-32..
- Dantzig, George. 1963. *Linear programming and extensions*. Princeton, Princeton University Press and the RAND Corporation.
- Dasgupta, Sanjoy, Christos H. Papadimitriou y Umesh Vazirani. 2006. *Algorithms*. <http://www.cs.berkeley.edu/~vazirani/algorithms.html>. Visitado en julio de 2010.
- David, James. 1967. “Clustering and structural balance in graphs”. *Human relations*, 20: 181-187.
- Davidson, Ron y David Harel. 1996. “Drawing graphs nicely using simulated annealing”. *ACM Transactions on Graphics*, 15(4): 301-331.
- Davis, James y Samuel Leinhardt. 1972. “The structure of positive interpersonal relations in small groups”. En: J. Berger (compilador), *Sociological Theories in Progress, Volume 2*. Boston, Houghton-Mifflin, pp. 218-251.
- Dawson, Peter. 2006. “Space, place, and the rise of ‘urbanism’ in the Canadian Arctic”. En: E. C. Robertson y otros (compiladores), *Op. cit.*, pp. 169-176.
- de Berg, Mark, Marc van Kreveld, Mark Overmars y Otfried Cheong. 2008 [1997]. *Computational Geometry: Algorithms and applications*. 3<sup>a</sup> edición, Berlín, Springer-Verlag.
- de Boer, Bart. 2000. “Self-organization in vowel systems”. *Journal of Phonetics*, 28(4): 441-465.
- Déchaux, Jean-Hugue. 2008. “Kinship studies: Neoclassicism and new wave”. *Revue Française de Sociologie*, 49: 591-619.
- De Floriani, Leila, Paola Marzano y Enrico Puppo. 1994. “Line-of-sight communication on terrain models”. *International Journal of Geographical Information Systems*, 8(4): 329-342.
- De Nooy, Wouter, Andrej Mrvar y Vladimir Batagelj. 2005. *Exploratory network analysis with Pajek*. Cambridge, Cambridge University Press.
- De Vos, Susan y Alberto Palloni. 1989. “Formal models and methods for the analysis of kinship and household organization”. *Population Index*, 55(2): 174-198.
- Deems, Jeffrey, Steven Falsnach y Kelly Elder. 2006. “Fractal distribution of snow depth from Lidar data”. *Journal of Hydrometeorology*, 7(2): 285-297, <http://journals.ametsoc.org/doi/full/10.1175/JHM487.1> - Visitado en abril de 2010.

- Dehmer, Matthias y Frank Emmert-Streib (compiladores). 2009. *Analysis of complex networks. From biology to linguistics*. Weinheim, Wiley-VCH Verlag.
- Dekker, Anthony H. 2000. “Social Network Analysis in Military Headquarters using CAVALIER”. *Proceedings of 5<sup>th</sup> International Command & Control Research & Technology Symposium*, Canberra, Australia, 24 al 26 de octubre, <http://citeseer.ist.psu.edu/anthony00social.html>. Visitado en febrero de 2009.
- Deleuze, Gilles y Félix Guattari. 2007 [1980]. *Mil mesetas. Capitalismo y esquizofrenia*. Madrid, Pre-Textos.
- Demaine, Erik, Martin Demaine, Perouz Taslakian y Godfried Toussaint. 2007. “Sand drawings and Gaussian graphs”. *Journal of Mathematics and the arts*, junio, pp. 125-132.
- Demaine, Erik, Francisco Gómez-Martín, Henk Meijer, David Rappaport, Perouz Taslakian, Godfried Toussaint, Terry Winograd y David Wood. 2005. “The Distance Geometry of Deep Rhythms and Scales”. *Proceedings of the 17<sup>th</sup> Canadian Conference on Computational Geometry (CCCG 2005)*, Windsor, Ontario, Canadá, 10 al 12 de agosto, pp. 163–166.
- Demaine, Erik, Francisco Gómez-Martín, Henk Meijer, David Rappaport, Perouz Taslakian, Godfried Toussaint, Terry Winograd y David Wood. 2007. “The Distance Geometry of Music”. [http://arxiv.org/PS\\_cache/arxiv/pdf/0705/0705.4085v1.pdf](http://arxiv.org/PS_cache/arxiv/pdf/0705/0705.4085v1.pdf). Visitado en febrero de 2009.
- Derrida, Bernard, Susanna C. Manrubia y Damián H. Zanette. 1999. “Statistical Properties of Genealogical Trees”. *Physical Review Letters*, 82: 1987-1990.
- Deszö, Zoltán y Albert-László Barabási. 2002. “Halting viruses in scale-free networks”. *Physical Review E*, 65: 055103.
- Deutsch, Andreas, Rafael Bravo de la Parra, Rob J. de Boer, Odo Diekmann, Peter Jagers, Eva Kisdi, Mirjam Kretzschmar, Petr Lansky y Hans Metz (compiladores). 2008. *Mathematical modeling of biological systems. Vol II, Epidemiology, Evolution and ecology, Immunology, Neural systems and the brain and Innovative mathematical models*. Boston, Basilea y Berlín, Birkhäuser.
- Di Battista, Giuseppe, Peter Eades, Roberto Tamassia, Ioannis Tollis. 1999. *Graph drawing: Algorithms for the visualization of graphs*. Upper Saddle River, Prentice Hall.
- Diestel, Reinhard. 2000. *Graph theory*. Nueva York, Springer-Verlag.
- Diestel, Reinhard. 2005. *Graph theory*. 3<sup>a</sup> edición, Nueva York, Springer-Verlag.
- Dirac, Gabriel Andrew. 1952. “Some theorems of abstract graphs”. *Proceedings of the London Mathematical Society*, 2: 69-81.
- Dodd, Stuart Carter. 1940. “The interrelation matrix”. *Sociometry*, 3: 91-101.
- Dodds, Peter Sheridan, R. Muhamad y Duncan Watts. 2003. “An experimental study of search in global social networks”. *Science*, 301:827–29
- Dodds, Peter Sheridan y Duncan Watts. 2005. “A generalized model of social and biological contagion”. *Journal of theoretical biology*, 232: 587-604.
- Dodds, Peter Sheridan, Duncan Watts y Charles Sabel. 2003. “Information exchange and the robustness of organizational networks”. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100:12516–21.
- Dodge, Charles y Curtis. Bahn. 1986. “Musical fractals”. *Byte*, junio, 11: 185-196.
- Dodge, Yadolah. 2008. *The concise encyclopedia of statistics*. Nueva York, Springer.
- Doerner, Karl, Michel Gendreau, Peter Greistorfer, Walter Gutjahr, Richard Hartl y Marc Reimann (compiladores). 2007. *Metaheuristics: Progress in complex systems optimization*. Nueva York, Springer Science+Business Media.

- Dong, Fen Ming, Khee Meng Koh y Kee L.Teo. 2005. *Chromatic polynomials and chromaticity of graphs*. Singapur, World Scientific.
- Doreian, Patrick. 1988. “Using multiple network analytic tools for a single social network”. *Social Networks*, 10: 287-312.
- Doreian, Patrick. 1995. “Social Network Analysis as a Scientific Revolution: Thinking in Circles or Genuine Progress?”. En: M. G. Everett y K. Ronnolls (compiladores), *International Conference on Social Networks*. Londres, University of Greenwich, pp. 1-21.
- Doreian, Patrick. 2001. “Causality in social networks”. *Sociological Methods & Research*, 30(1): 81-114.
- Dorogovtsev, Sergey N. y José Fernando Ferreira Mendes. 2000. “Scaling behavior of developing and decaying networks”. *Europhysics Letters*, 52: 33. arXiv:cond-mat/0005050v1, <http://arxiv.org/pdf/cond-mat/0005050>. Visitado en abril de 2010.
- Dorogovtsev, Sergey N. y José Fernando Ferreira Mendes. 2001a. “Language as an evolving word web”. *Proceedings of the Royal Society of London B*, 268(1485): 2603-2606.
- Dorogovtsev, Sergey N. y José Fernando Ferreira Mendes. 2001b. “Effects of the accelerating growth of communication networks on their structure”. <http://arxiv.org/pdf/cond-mat/0009065>. Visitado en abril de 2010.
- Dorogovtsev, Sergey N. y José Fernando Ferreira Mendes. 2003. *Evolution of networks – From biological nets to the Internet and WWW*. Oxford, Oxford University Press.
- Dorogovtsev, Sergey N., Alexander V. Goltsev y José F. F. Mendes. 2001. “Pseudofractal scale-free web”. *Physical Reviews E*, 65, 066122. <http://arxiv.org/abs/cond-mat/0112143>. Visitado en abril de 2010.
- Dorogovtsev, Sergey N., Alexander V. Goltsev y José F. F. Mendes. 2008. “Critical phenomena in complex networks”. [http://arxiv.org/PS\\_cache/arxiv/pdf/0705/0705.0010v6.pdf](http://arxiv.org/PS_cache/arxiv/pdf/0705/0705.0010v6.pdf). Visitado en junio de 2010.
- Dorogovtsev, Sergey N., José Fernando Ferreira Mendes y A. N. Samukhin. 2001. “Multifractal properties of growing networks”. <http://arxiv.org/abs/cond-mat/0106142v1> - Visitado en abril de 2009.
- Douglas, Mary. 1978 [1970]. *Símbolos naturales*. Madrid, Alianza.
- Dousset, Laurent. 2007. “There never has been such a thing as a kin-based society: A review study”. *Anthropological Forum*, 17(1): 61-89.
- Doxa, Maria. 2001. “Morphologies of co-presence and interaction in interior public space in places of performance: the Royal Festival Hall and the Royal National Theatre”. *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Symposium on Space Syntax*, Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia, pp 27.1-27.13.
- Dréo, Johann, Alain Pétrowski, Patrick Siarry y Eric Taillard. 2006. *Metaheuristics for hard optimization. Simulated annealing, tabu search, evolutionary and genetic algorithms, ant colonies...* Berlín-Heidelberg, Springer Verlag.
- Dunbar, Robin. 1998. *Grooming, Gossip and the Evolution of Language*. Cambridge (USA), Harvard University Press.
- Durkheim, Émile. 1967 [1893]. *De la division du travail social*. 8<sup>a</sup> edición, París, Les Presses Universitaires de France, versión electrónica para el dominio público, <http://dx.doi.org/doi:10.1522/cla.due.de11>. Visitado en mayo de 2010. [Traducción castellana de Rocío Annunziata: *La división del trabajo social*. Buenos Aires, Gorla, 2008]
- Durrett, Rick. 2007. *Random graph dynamics*. Cambridge, Cambridge University Press.

- Dursun, Pelin. 2009. “Architects are talking about space”. *Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Space Syntax Symposium*, Estocolmo, pp. 028.1-028.8.
- Eagle, Nathan y Alex (Sandy) Pentland. 2006. “Eigenbehaviors: Identifying structure in routine”. Ponencia presentada en Ubicomp’06. Orange County, 17 al 21 de setiembre.
- Edgar, Gerald. 2008. *Measure, topology, and fractal geometry*. Nueva York, Springer Science+Business Media.
- Edwards, Elizabeth. 1999. “Torres Strait Islanders”. *Anthropology Today*, 15(1): 17-19.
- El Guindi, Fadwa. 1979. “Mathematics in structural theory”. *Current Anthropology*, 20(4): 761-790.
- Eloranta, Timo y Erkki Mäkinen. 2001. “TimGA: A genetic algorithm for drawing undirected graphs”. *Divulgaciones matemáticas*, 9(2): 155-171.  
<http://www.emis.de/journals/DM/v92/art5.pdf>. Visitado en enero de 2011.
- Elster, Jon. 1983. *Explaining Technical Change*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Elster, Jon. 1998. “A Plea for Mechanisms”. En: P. Hedström y R. Swedberg (compiladores), *Social Mechanisms: An Analytic Approach to Social Theory*. Cambridge, Cambridge University Press, pp. 45-73
- Ember, Carol y Melvin Ember (compiladores). 2004. *Encyclopedia of medical anthropology. Health and illness in the world's cultures*. Nueva York y Boston, Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Emirbayer, Mustafa. 1997. “Manifesto for a relational sociology”. *American Journal of Sociology*, 103: 281-317.
- Emirbayer, Mustafa y Jeff Goodwin. 1994. “Network analysis, culture, and the problem of agency”. *The American Journal of Sociology*, 99(6): 1411-1454.
- Engelbrecht, Andries. 2002. *Computational intelligence. An introduction*. Chichester, John Wiley & Sons.
- Epstein, Joshua y Robert Axtell. 1996. *Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up*. The Brookings Institution Press, Washington, D. C. & The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- Erdős, Paul. 1973a. *The art of counting: Selected writings*. Cambridge (USA), The MIT Press.
- Erdős, Paul. 1973b [1966]. “On cliques in graphs”. En: P. Erdős, *Op. cit.*, pp. 233-234.
- Erdős, Paul. 1989. “Distances with specified multiplicities”. *American Mathematical Monthly*, 96: 447.
- Erickson, Eugene y William Yancey. 1977. “The locus of strong ties”. Manuscrito inédito, Universidad de Temple.
- Eriksen, Thomas y Finn Silvert Nielsen. 2001. *A history of anthropology*. Londres / Sterling, Pluto Press.
- Erkan, Günes y Dragomir Radev. 2004. “LexRank: Graph-based lexical centrality as salience in text summarization”. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 22: 457-479.
- Escolano Utrilla, Severino. 2003. “On the information contents of urban layouts”. *Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Space Syntax Symposium*, Londres.
- Estoup, Jean-Baptiste. B. 1912. *Gammes Sténographiques. Recueil de textes choisis pour l'acquisition méthodique de la vitesse, précédé d'une introduction par J.-B. Estoup*. 3<sup>a</sup> edición, París, Institut Sténographique de France.
- Estrada, Ernesto. 2009. “Spectral theory of networks: From biomolecular to ecological systems”. En: M. Dehmer y F. Emmert-Streib (compiladores), *Op. cit.*, pp. 55-84.

- Euler, Leonhard. 1741. “Solutio problematis ad geometriam sitvs pertinentis”. *Comentarii Academiae Scientiarum Petropolitanae*, 8: 128-140; *Opera omnia*, serie 1, vol. 7, pp. 1-10. [Traducción al inglés: “The seven bridges of Königsberg”. En: James Newman (compilador), *The world of mathematics*, Redmond, Tempus Books, 1988, vol. 1, pp. 565-571]. <http://www.math.dartmouth.edu/~euler/docs/originals/E053.pdf>. Visitado en enero de 2009.
- Evans, James y Edward Minieka. 1992. *Optimization algorithms for networks and graphs*. 2<sup>a</sup> edición, Chicago, The University of Chicago Press.
- Evans, Merran, Nicholas Hastings y Brian Peacock. 1993. *Mathematical distributions*. 2<sup>a</sup> edición, Nueva York, John Wiley & Sons.
- Evans-Pritchard, Edward E. 1940. *The Nuer: A description of the modes of livelihood and political institutions of a Nilotic people*. Oxford, Clarendon Press [Traducción castellana: *Los Núer*. 2<sup>a</sup> edición. Barcelona, Anagrama, 1992].
- Evens, Terence. 1974. Revisión crítica de Rodney Needham, *Rethinking kinship and marriage. Social forces*, 53(1): 136-137.
- Everitt, Brian y David Howell (compiladores). 2005. *Encyclopedia of statistics in behavioral sciences*. Chichester, John Wiley & Sons, 4 volúmenes.
- Eysenck, Hans Jirgen. 1952. Revisión crítica de Kurt Lewin, *Field theory in social science. The British Journal of Sociology*, 3(4): 371-372.
- Fairclough, Graham. 1992. “Meaningful construction: Spatial and functional analysis of medieval buildings”. *Antiquity*, 66: 348-366.
- Falk, Ruma y Charles W. Greenbaum. 1995. “Significance tests die hard: The amazing persistence of a probabilistic misconception”. *Theory and Psychology*, 5: 75-98.
- Fan, Lilin y Huili Meng. 2010. ”Application Research on Optimal Path Based on Genetic Algorithm”. *International Journal of Digital Content Technology and its Applications*, 4(8): 199-202. [http://www.aicit.org/jdcta/ppl/JDCTA0408\\_22.pdf](http://www.aicit.org/jdcta/ppl/JDCTA0408_22.pdf). Visitado en enero de 2011.
- Fararo, Thomas. 1997. “Reflections on mathematical sociology”. *Sociological Forum*, 12(1): 73-101.
- Faris, Robert. 1951. Revisión crítica de Kurt Lewin, *Field theory in social science: Selected theoretical papers. The American Journal of Psychology*, 57(1): 86-87.
- Farkas, Illés J., Imre Derényi, Albert-László Barabási y Tamás Vicsek. 2001. “Spectra of ‘real-world’ graphs: Beyond the semicircle law”. *Physics Review E*, 64, 026704. <http://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevE.64.026704>. Visitado en abril de 2010.
- Fáth, Gábor y Miklos Sarvary. 2005. “A renormalization group theory of cultural evolution”. *Physica A*, 348: 611-629. <http://arxiv4.library.cornell.edu/pdf/nlin/0312070v2>. Visitado en abril de 2010.
- Faust, Katherine. 1988. “Comparison of methods for positional analysis: Structural and general equivalences”. *Social Networks*, 10: 313-341.
- Faust, Katherine y John Skvoretz. 2002. “Comparing networks across space and time, size and species”. *Sociological methodology*, 32: 267-299.
- Fauvel, John, Raymond Flood y Robin Wilson (compiladores). 2003. *Music and mathematics: From Pythagoras to Fractals*. Oxford, Oxford University Press.
- Fechner, Gustav Theodor. 1860. *Elemente der Psychophysik* (2 volúmenes). Leipzig, Breitkopf und Härtel (reimpresión: Amsterdam, Bonset, 1964). Disponible en línea en Gutenberg Project, [http://gutenberg.spiegel.de/?id=5&xid=4259&kapitel=1#gb\\_found](http://gutenberg.spiegel.de/?id=5&xid=4259&kapitel=1#gb_found). Visitado en enero de 2011.

- Feinberg, Richard. 2001. "Introduction: Schneider's cultural analysis on kinship and its implications for anthropological relativism". En: R. Feinberg y R. Ottenheimer (compiladores), *The cultural analysis of kinship: The legacy of David M. Schneider*. Chicago, University of Chicago Press.
- Feinstein, Alvan R. 1998. "P-values and confidence intervals: Two sides of the same unsatisfactory coin". *Journal of Clinical Epidemiology*, 51: 355-360.
- Feld, Scott. 1981. "The focused organization of social ties". *American Journal of Sociology*, 86: 1015-1035.
- Felmlee, Diane. 2006. "Interaction in social networks". En: John Delamater (compilador), *Handbook of social psychology*. Nueva York, Springer, pp. 389-410.
- Feng, Jianfeng, Jürgen Jost y Minping Qian (compiladores). 2007. *Networks: From biology to theory*. Londres, Springer.
- Ferati, Armir. 2009. "Spatial and ethnic patterns: The interface between 'majority' and 'minority' in Macedonia". *Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Space Syntax Symposium*, Estocolmo, pp. 030.1-030.6.
- Ferguson, T. J. 1996. *Historic Zuni architecture and society: An archaeological application of space syntax*. Tucson, University of Arizona Press.
- Fernández de Rota y Monter, José Antonio. 2009. "Antropología del espacio y el tiempo: revisión metodológica". En: Rafael Pérez-Taylor, Carlos González Herrera y Jorge Chávez Chávez (compiladores), *Antropología del desierto: Desierto, adaptación y formas de vida*. Ciudad Juárez, El Colegio de Chihuahua, pp. 19-36.
- Ferrer-i-Cancho, Ramón y Ricard Solé. 2001. "Two regimes in the frequency of words and the origins of complex lexicons: Zipf's law revisited". *Journal of Quantitative Linguistics*, 8: 165–173.
- Ferrer-i-Cancho, Ramón y Ricard Solé. 2004. "Patterns in syntactic dependency networks". *Physical Review E*, 69(051915). <http://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevE.69.051915>. Visitado en abril de 2010.
- Ferrer-i-Cancho, Ramón, Alexander Mehler, Olga Pustynnikov y Albert Díaz-Guilera. 2007. "Correlations in the organization of large-scale syntactic dependency networks". En: *TextGraphs-2: Graph-based algorithms for natural language processing*. Rochester, Association for Computational Linguistics, pp. 65-72.
- Ferrer-i-Cancho, Ramón, Oliver Riordan y Béla Bollobás. 2005. "The consequences of Zipf's law for syntax and symbolic reference". *Proceedings of the Royal Society of London Series B* 272, pp. 561-565.
- Festinger, Leon. 1949. "The analysis of sociograms using matrix algebra". *Human relations*, 2: 153-158.
- Fiddick, Laurence, Leda Cosmides y John Tooby. 2000. "No interpretation without representation: The role of domain-specific representations and inferences in the Wason selection task". *Cognition*, 75: 1-79.
- Figueiredo, Lucas y Luiz Amorim. 2005. "Continuity lines in the axial system". *Proceedings of the 5<sup>th</sup> Space Syntax International Symposium*, Delft University of Technology, Delft.
- Figueiredo, Lucas y Luiz Amorim. 2007. "Decoding the urban grid: or why cities are neither trees nor perfect grids". *6<sup>th</sup> International Space Syntax Symposium*, 12 al 15 de Junio de 2007, İstanbul, Turquía.
- Garrison, William L. 1960. "Connectivity of the interstate highway system". *Papers and Proceedings of the Regional Science Association*, 6: 121-137.

- Finch, Steven y Nick Chater. 1992. "Bootstrapping syntactic categories using statistical methods". En: *Background and Experiments in Machine Learning of Natural Language: Proceedings of the 1<sup>st</sup> SHOE Workshop*, Katholieke Universiteit, Brabant, Holanda, pp. 229-235.
- Flake, Gary William. 1999. *The computational beauty of nature. Computer explorations of fractals, chaos, complex systems, and adaptation*. Cambridge (USA), The MIT Press.
- Flament, Claude. 1963. *Applications of graph theory to group structure*. Englewood Cliffs, Prentice-Hall.
- Fleischner, Herbert. 1990. *Eulerian graphs and related topics. Part 1, Vol. 1*. Amsterdam, North Holland.
- Floreano, Dario y Claudio Mattiussi. 2008. *Bio-inspired artificial intelligence: Theories, methods, and technologies*. Cambridge (USA), The MIT Press.
- Floudas, Christodoulos y Panos Pardalos (compiladores). 2009. *Encyclopedia of optimization*. 2<sup>a</sup> edición, Nueva York, Springer.
- Fogelson, Raymond. 2001. "Schneider confronts componential analysis". En: Richard Feinberg y Martin Ottenheimer, *The cultural analysis of kinship: The legacy of David M. Schneider*. Urbana, University of Illinois Press, pp. 33-45.
- Ford, George W. y George E. Uhlenbeck. 1957. "Combinatorial problems in the theory of graphs - IV". *Proceedings of the National Academy of Science USA*, 43: 163-167.
- Forsyth, Elaine y Leo Katz. 1946. "A matrix approach to the analysis of sociometric data: Preliminary report". *Sociometry*, 9: 340-347.
- Fortunato, Santo. 2005. "Monte Carlo simulations of opinion dynamics". arXiv:cond-mat/0501105v1. <http://arxiv.org/pdf/cond-mat/0501105v1>. Visitado en mayo de 2010.
- Foster, Brian y Stephen Seidman. 1981. "Network structure and the kinship perspective". *American Ethnologist*, 8(2): 329-355.
- Foster, Sally M. 1989. "Analysis of spatial patterns in buildings (Access Analysis) as an insight into social structure: Examples from the Scottish atlantic iron age". *Antiquity*, 63: 40-50.
- Frank, Ove. 1971. *Statistical inference in graphs*. Estocolmo, FOA Repro.
- Frankenberg, Ronald. 1966. *Communities in Britain. Social life in town and country*. Londres, Penguin.
- Franklin, Sarah y Susan McKinnon. 2000. "New directions in kinship studies: A core concept revisited". *Current Anthropology*, 41(2): 275-279.
- Franklin, Sarah y Susan McKinnon (compiladoras). 2002. *Relative values: Reconfiguring kinship studies*. Duke University Press.
- Franzén, Torkel. 2005. *Gödel's theorem: An incomplete guide to its use and abuse*. Massachusetts, A. K. Peters.
- Fraser, David. 1986. *Land and society in neolithic Orkney*. Oxford, British Archaeological Reports.
- Freeman, Linton Clarke. 1960. "Conflict and congruence in anthropological theory". En: *Selected Papers of the V<sup>th</sup> International Congress of Ethnological and Anthropological Sciences*, pp. 93-97.
- Freeman, Linton Clarke. 1982. "Centered graphs and the structure of ego networks". *Mathematical Social Sciences*, 3: 291-304.
- Freeman, Linton Clarke. 1984. "Turning a profit from mathematics: The case of social networks". *Journal of Mathematical Sociology*, 10: 343-360.

- Freeman, Linton Clarke. 2000. "Visualizing social networks". *Journal of Social Structure*, 1, <http://www.cmu.edu/joss/content/articles/volume1/Freeman.html>.
- Freeman, Linton Clarke. 2004. *The development of social network analysis: A study in the sociology of science*. Vancouver, Booksurge Publishing.
- Freilich, Morris. 1964. "The natural triad in kinship and complex systems". *American Sociological Review*, 29: 529-540.
- Freitag, Dayne. 2004. "Toward unsupervised whole-corpus tagging". En: *COLING '04: Proceedings of the 20<sup>th</sup> International Conference on Computational Linguistics*, Morristown, Association for Computational Linguistics, p. 357-363.
- Friedkin, Noah. 1998. *A structural theory of social influence*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Friedkin, Noah. 2003. "Social influences network theory: Toward a science of strategic modification of interpersonal influence systems". En: R. Breiger y otros (compiladores), *Op. cit.*, pp. 89-100.
- Friedrich, Eva, Bill Hillier y Alain Chiaradia. 2009. "Anti-social behavior and urban configuration: Using space syntax to understand spatial patterns of socio-environmental disorder". *Proceedings of the 7<sup>th</sup> Space Syntax Symposium*, Estocolmo, pp. 034.001-034.16.
- Friemel, Thomas (compilador). 2008. *Why context matters: Applications of social network analysis*. Wiesbaden, VS Verlag.
- Fritsch, Rudolf y Gerda Fritsch. 1998. *The four-color theorem: History, topological foundations, and idea of proof*. Nueva York, Springer.
- Fruchterman, Thomas y Edward Reingold. 1991. "Graph drawing by force-directed placement". *Software – Practice and Experience*, 21(1): 1129-1164.
- Funaya, Hiroyuki y Kazushi Ikeda. 2007. "A network analysis of genetic algorithms". *IECE Transactions on Information and Systems*, vol. E90-D(6): 1002-1005.
- Furht, Borko (compilador). 2010. *Handbook of social network technologies and applications*. Nueva York, Springer.
- Gabrielli, A. y G. Caldarelli. 2007. "Invasion percolation and critical transient in the Barabási model of human dynamics". *Physical Review Letters*, 98.208701. [http://pil.phys.uniroma1.it/~andrea/ARTICOLI/PhysRevLett\\_98\\_208701-1.pdf](http://pil.phys.uniroma1.it/~andrea/ARTICOLI/PhysRevLett_98_208701-1.pdf). Visitado en mayo de 2010.
- Gadamer, Hans-Georg. 1977 [1960]. *Verdad y método*. Salamanca, Sígueme.
- Gaetan, Carlo y Xavier Guyon. 2010. *Spatial statistics and modeling*. Nueva York, Springer.
- Galam, Serge. 2002. "The september 11 attack: A percolation of individual physical support". *European Physical Journal B*, 26: 269-272.
- Galaskiewicz, Joseph y Stanley Wasserman. 1993. "Social network analysis: Concepts, methodologies, and directions for the 90s". *Sociological methods and research*, 22(1): 3-22.
- Galley, Michel y Kathleen McKeown. 2003. "Improving word sense disambiguation in lexical chaining". En: *Proceedings of the 18<sup>th</sup> International Joint Conference of Artificial Intelligence*, Acapulco, México. San Francisco, Morgan Kauffman, pp. 1486-1488.
- Gamon, Michael. 2006. "Graph-based text representation for novelty detection". En: *Proceedings of the Workshop on TextGraphs at HLT-NAACL*, Morristown, Association for Computational Linguistics, pp. 17-24.
- Gandy, Robin Oliver y Mike Yates (compiladores). 2001. *Collected works of A. M. Turing: Mathematical logic*. Amsterdam, Elsevier.

- Ganguly, Niloy, Andreas Deutsch y Animesh Mukherjee (compiladores). 2009. *Dynamics on and of complex networks: Applications to biology, computer science and the social sciences*. Boston, Basilea y Berlín, Birkhäuser.
- Gardner, Martin. 1978. “Música blanca y música parda, curvas fractales y fluctuaciones del tipo 1/f”. *Investigación y ciencia*, junio, 21: 104-113.
- Gardner, Martin. 1988. *La ciencia: Lo bueno, lo malo y lo falso*. Madrid, Alianza.
- Gardner, Martin. 2001. *The colossal book of mathematics*. Nueva York y Londres, W. W. Norton & Company.
- Garey, Michael y David Johnson. 1979. *Computers and intractability: A guide to the theory of NP-completeness*. San Francisco, H. W. Freeman and Company.
- Gargano, Michael y Lorraine Lurie. 2007. “Experimentation and discovery in graph theory using an evolutionary tool”. *Proceedings of Student/Faculty Research Day*, CSIS, Pace University. <http://csis.pace.edu/~ctappert/srd2007/b1.pdf>. Visitado en enero de 2011.
- Garmestani, Ahjond, Craig Allen y K. Michael Bessey. 2005. “Time series analysis of clusters in city distributions”. *Urban Studies*, 42(9): 1507-1515.
- Garrison, William, Brian Berry, Duane Marble, John Nystuen y Richard Morrill. 1959. *Studies of highway development and geographic change*. Nueva York, Greenwood Press.
- Gastner, Michael y Mark E. J. Newman. 2004. “The spatial structure of networks”. arXiv:cond-mat/0407680v1. <http://arxiv.org/pdf/cond-mat/0407680v1.pdf>. Visitado en mayo de 2010.
- Geertz, Clifford. 1980. “Blurred genres: The refiguration of social thought”, *American Scholar*, XL, 2: 165-179 [Traducción castellana en C. Reynoso (compilador), *El surgimiento de la antropología posmoderna*. México, Gedisa, 1991].
- Geertz, Clifford. 1983. *Local knowledge: Further essays in interpretive anthropology*. Nueva York, Basic Books.
- Geertz, Clifford. 1987 [1973]. *La interpretación de las culturas*. México, Gedisa.
- Geertz, Clifford. 2000. *Available light. Anthropological reflections on philosophical topics*. Princeton, Princeton University Press.
- Geffray, Christian. 1990. *Ni père, ni mère. Critique de la parenté: Le cas Makhuwa*. París, Seuil.
- Gentle, James. 2007. *Matrix algebra: Theory, computations, and applications in statistics*. Nueva York, Springer.
- Gerdes, Paulus. 2006. *Sona geometrry from Angola: Mathematics of an African tradition*. Milano, Polimetrica.
- Ghosh, Shantanu, Amrita Basu, Senthil Kumaran y Subash Khushu. 2010. “Functional mapping of language networks in the brain using a word-association task”. *Neuroradiology*, 20(3): 182-187. <http://www.ijri.org/article.asp?issn=0971-3026;year=2010;volume=20;issue=3;spage=182;epage=187;aulast=Ghosh>. Visitado en noviembre de 2010.
- Giaquinto, Marcus. 2007. *Visual thinking in mathematics: An epistemological study*. Oxford, Oxford University Press.
- Gibbs, Raymond (compilador). 2008. *The Cambridge handbook of metaphor and thought*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Gigerenzer, Gerd. 1993. “The superego, the ego, and the id in statistical reasoning”. En: G. Keren y C. Lewis (compiladores), *A handbook of data analysis in the behavioral sciences: Methodological issues*, Hillsdale, Erlbaum, pp. 311-339.
- Gigerenzer, Gerd. 2004. “Mindless statistics”. *The Journal of Socio-Economics*, 33: 587-606.

- Gilbert, E. N. 1959. "Random graphs". *Annals of Mathematical Statistics* 30: 1141–1144.
- Gilbert, N. 1997. "A simulation of the structure of academic science". *Sociological Research Online* 2(2), <http://www.socresonline.org.uk/socresonline/2/2/3.html>. Visitado el 14 de marzo de 2009.
- Gill, Jeff. 1999. "The insignificance of Null Hypothesis Significance Testing". *Political Research Quarterly*, 53: 647-674.
- Gillespie, Richard. 1993. *Manufacturing knowledge: A history of the Hawthorne experiments. History in economic history and policy: USA in the Twentieth Century*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Gimbel, John, John Kennedy y Louis Quintas (editores). 1993. *Quo vadis, graph theory?*. Amsterdam, North Holland.
- Girvan, Michelle y Mark E. J. Newman. 2002. "Community structure in social and biological networks". *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99(12): 7821–7826.
- Girvan, Michelle y Mark E. J. Newman. 2004. "Finding and evaluating community structures in networks". *Physical Review E*, 69: 21-27.
- Given, Lisa M. (compiladora). 2008. *The SAGE encyclopedia of qualitative research methods*. Los Angeles, Sage.
- Glassie, H. 1975. *Folk Housing in Middle Virginia: a Structural Analysis of Historic Artifacts*. Knoxville, The University of Tennessee Press.
- Glover, Fred y Gary Kochenberger. 2003. *Handbook of meta-heuristics*. Nueva York, Kluwer Academic Publishers.
- Glover, Fred y Manuel Laguna. 1997. *Tabu search*. Boston-Dordrecht-Londres, Kluwer.
- Godelier, Maurice. 2004. *Métamorphoses de la parenté*. París, Fayard.
- Godsil, Chris y Gordon Roy. 2001. *Algebraic graph theory*. Nueva York, Springer Verlag.
- Goh, Kwang-II, Byungnam Kahng y Dong-Hee Kim. 2001. "Spectra and eigenvectors of scale-free networks". *Physics Review E*, 64, 051903. <http://arxiv.org/pdf/cond-mat/0103337v1>. Visitado en abril de 2009.
- Goldberg, Andrew B. y Xiaojin Zhu. 2004. "Seeing stars when there aren't many stars: Graph-based semi-supervised learning for sentiment categorization". En: *HLT-NAACL 2006 Workshop on Textgraphs: Graph-based Algorithms for Natural Language Processing*.
- Goldberg, David E. 1989. *Genetic algorithms in search, optimization & machine learning*. Reading, Addison-Wesley.
- Golden, Bruce, S. Raghavan y Edward Wasil (compiladores). 2005. *The next wave in computing, optimization, and decision technologies*. Boston, Springer.
- Golledge, Reginald G. y Robert Stimson. 1997. *Spatial behavior: A geographic perspective*. Nueva York, Guilford.
- Golumbic, Martin Charles. 2004 [1980]. *Algorithmic graph theory and perfect graphs*. 2<sup>a</sup> edición, Amsterdam, Elsevier.
- Golumbic, Martin Charles y Irith Ben-Arroyo Hartman. 2005. *Graph theory, combinatorics and algorithms: Interdisciplinary applications*. Nueva York, Springer.
- González, Juan R., David Alejandro Pelta, Carlos Cruz, Germán Terrazas y Natalio Krasnogor (compiladores). 2010. *Nature inspired cooperative strategies for optimization (NICSO 2010)*. Berlín y Heilderber, Springer-Verlag.

- González Echevarría, Aurora. 1994. *Teoría del parentesco. Nuevas aproximaciones*. Salamanca, Eudema.
- González, Teófilo (compilador). 2007. *Handbook of approximation algorithms and metaheuristics*. Boca Raton, Chapman & Hall / CRC.
- Good, I. J. 1969. “Statistics of language”. *The Encyclopedia of Linguistic Information and Control*. Oxford, Pergamon Press.
- Goodman, Jacob y Joseph O’Rourke (compiladores). 1997. *Handbook of Discrete and Computational Geometry*. Boca Raton, CRC Press.
- Goodman, Nelson. 1972. *Problems and projects*. Nueva York, Bobbs Merrill.
- Goodrich, Michael y Stephen Kobourov (compiladores). 2002. *Graph drawing. 10<sup>th</sup> International Symposium, GD’2002*, Irvine, 26 al 28 de agosto. Berlín, Heildeberg y Nueva York, Springer.
- Gottman, John, James Murray, Catherine Swanson, Rebecca Tyson y Kristin Swanson. 2002. *The mathematics of marriage: Dynamic nonlinear models*. Cambridge (USA) y Londres, The MIT Press.
- Gould, Peter R. 1967. “On the geographical interpretation of eigenvalues”. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 42(1): 53-86.
- Goussevskaia, Olga, Michael Kuhn, Michael Lorenzi y Roger Wattenhofer. 2008. “From web to map: Exploring the world of music”. *Web Intelligence*, 2008: 242-248.
- Grabowski, Andrzej y R. A. Kosiński. 2005. “Ising-based model of opinion formation in a complex network of interpersonal interactions”. *Physica A: Statistical mechanics and its applications*, 361(2): 651-664.
- Graham, Ronald, 1983. “Recent developments in Ramsey theory”. *Proceedings of the International Congress of Mathematicians*, Varsovia, 16 al 24 de agosto, pp. 1555-1567.
- Graham, Ronald. 2006. “Old and new problems and result in Ramsey theory”. Mathematics Department Colloquium, Department of Computer Science and Engineering, UCSD, [http://www.math.ucsd.edu/~sbutler/ron/08\\_06\\_old\\_and\\_new.pdf](http://www.math.ucsd.edu/~sbutler/ron/08_06_old_and_new.pdf). Visitado en junio de 2010.
- Graham, Ronald, M. Grötschel y L. Lovász (compiladores). 1995. *Handbook of combinatorics*. Amsterdam, Elsevier, 2 volúmenes.
- Graham, Ronald, Bruce Rothschild y Joel Spencer. 1990. *Ramsey theory*. 2<sup>a</sup> edición, Nueva York, John Wiley & Sons.
- Graham, Susan. 1981. “Social networks and community administration: A comparative study of two mining towns”. En: D. Messerschmidt (compilador), *Anthropologists at home in north America: Methods and issues in the study of one’s own society*. Cambridge, Cambridge University Press, pp. 106-120.
- Granovetter, Mark. 1973. “The strength of weak ties”. *American Journal of Sociology*, 78: 1360-1380.
- Granovetter, Mark. 1979. “The Theory-Gap in Social Network Analysis”. En: P. W. Holland y S. Leinhardt (compiladores), *Perspectives on Social Network Research*. Nueva York, Academic Press, pp. 501-518.
- Granovetter, Mark. 1983. “The strength of weak ties: A network theory revisited”. *Sociological Theory*, 1: 201-233.
- Granovetter, Mark. 1985. “Economic action and social structure: The problem of embeddedness”. *American Journal of Sociology*, 91: 481-510.

- Granovetter, Mark. 1990. "The myth of Social Network Analysis as a special method in the social sciences", Conferencia Magistral, Sunbelt Social Networks Conference, San Diego, 15 de febrero, *Connections*, 13(1-2): 13-16.
- Granovetter, Mark. 1995 [1974]. *Getting a job*. 2<sup>a</sup> edición, Chicago, University of Chicago Press.
- Graver, Jack y Mark Watkins. 1977. *Combinatorics with emphasis on the theory of graphs*. Nueva York-Heidelberg-Berlín, Springer Verlag.
- Green, David. 2008. "Bilingual aphasia: Adapted language networks and their control". *Annual Review of Applied Linguistics*, 28, [http://www.psyc.bbk.ac.uk/people/academic/thomas\\_m/mscCogneuro/Green\\_chapter09.pdf](http://www.psyc.bbk.ac.uk/people/academic/thomas_m/mscCogneuro/Green_chapter09.pdf). Visitado en noviembre de 2010.
- Greenacre, Michael y Jörg Blasius (compiladores). 1995. *Correspondence analysis in the social sciences*. Londres, Academic Press.
- Gregory, Christopher. 1999. Revisión de T. Schweizer y D. White (compiladores), *Kinship, networks, and exchange*. *American Ethnologist*, 26(1): 243-244
- Grimmett, Geoffrey. 1999. *Percolation*. 2<sup>a</sup> edición, Berlín y Heidelberg, Springer.
- Grosan, Crina, Ajith Abraham y Hisao Ishibuchi (compiladores). 2007. *Hybrid evolutionary algorithms*. Berlín-Heidelberg-Nueva York, Springer.
- Gross, Jonathan y Jay Yellen. 2004. *Handbook of graph theory*. Boca Raton, CRC Press.
- Grupo Anthropocaos (Jorge Miceli, Diego Díaz, Sergio Guerrero, Damián Castro, Mora Castro, Ramón Quinteros, Jordan Kristoff, Ignacio García). 2007. *Exploraciones en Antropología y Complejidad*, Buenos Aires, Editorial Sb.
- Guardiola, Xavier, Albert Díaz-Guilera, Conrad J. Pérez, Alex Arenas y Mateu Llas. 2002. "Modeling diffusion and innovation in a social network". [http://xxx.lanl.gov/PS\\_cache/cond-mat/pdf/0204/0204141v1.pdf](http://xxx.lanl.gov/PS_cache/cond-mat/pdf/0204/0204141v1.pdf). Visitado en mayo de 2010.
- Guilbaud, Georges-Théophile. 1970. "Système parental et matrimonial au Nord Ambrym". *Journal de la Société des Océanistes*, 26: 9-32.
- Gupta, Sunetra, Roy M. Anderson y Robert M. May. 1989. "Networks of sexual contacts: Implications for the pattern of spread of HIV". *AIDS*, 3: 807-817
- Hackenberg, Robert. 1973. "Genealogical method in social anthropology: The foundations of structural demography". En: J. Honigmann (compilador), *Op. cit.*, pp. 289-326.
- Hadamard, Jacques. 1902. "Sur les problèmes aux dérivées partielles et leur signification physique". *Princeton University Bulletin*, 13(1): 49-52.
- Haddon, Alfred Cort. 1912. *Reports of the Cambridge Anthropological expedition to Torres Strait*, vol. VI. Cambridge, Cambridge University Press.
- Hage, Per. 1976. "Structural balance and clustering in signed graphs of Bushmen kinship relations". *Behavioral Science*, 21: 36-47.
- Hage, Per. 1979a. "Graph theory as a structural model in cultural anthropology". *Annual Review of Anthropology*, 8: 115-136.
- Hage, Per. 1979b. "A Viennese autochthonous hero: Structural duality in Freud's origin myths". *Social Science Information*, 18: 307-324.
- Hage, Per. 1996. *Island networks: Communication, kinship, and classification structures in Oceania*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Hage, Per y Frank Harary. 1983. "Arapesh sexual symbolism, primitive thought and boolean groups". *L'Homme*, 23: 57-77.

- Hage, Per, Frank Harary y Brent James. 1986."Wealth and hierarchy in the *Kula* ring". *American Anthropologist*, 88: 108-115.
- Hage, Per, Frank Harary y Brent James. 1996. "The Minimum Spanning Tree Problem in archaeology". *American Antiquity*, 61(1): 149-155.
- Haggard, Gary. 1980. *Excursions in graph theory*. Orono, University of Maine.
- Haggett, Peter. 1965. *Locational analysis in human geography*. Nueva York, St. Martin's Press.
- Haggett, Peter y Richard J. Chorley. 1969. *Network Analysis in Geography*. Londres, Edward Arnold.
- Hales, David y Bruce Edmonds. 2004. "Sociologically inspired engineering". *CPM Report*, nº 04-136, Agentlink (III) Newsletter, <http://cfpm.org/papers/sie/sie.pdf>. Visitado en febrero de 2009.
- Hall, Edward. 1989 [1959]. *El lenguaje silencioso*. Madrid, Alianza Editorial.
- Hall, Kenneth M. 1970. "An  $r$ -dimensional Quadratic Placement Algorithm". *Management Science*, 17: 219-229.
- Hall, Marshall Jr. 1986. *Combinatorial theory*. 2<sup>a</sup> edición, Nueva York, John Wiley & Sons.
- Haller, Heiko y Stephan Krauss. 2002. "Misinterpretations of significance: a problem students share with their teachers?". *Methods of Psychological Research—Online* [On-line serial], 7, 1–20. <http://www.dgps.de/fachgruppen/methoden/mpr-online/issue16/art1/haller.pdf>. Visitado en julio de 2010.
- Hanneman, Robert. 2005. *Introduction to social network methods*. Publicación en línea, University of California at Riverside. <http://faculty.ucr.edu/~hanneman/>. Visitado en julio de 2010.
- Hannerz, Ulf. 1986 [1980]. *Exploración de la ciudad: Hacia una antropología urbana*. México, Fondo de Cultura Económica.
- Hannerz, Ulf. 1992. "The global ecumene as a network of networks". En: Adam Kuper (compilador), *Conceptualizing society*. Londres y Nueva York, Routledge, pp. 34-58.
- Haq, Saif-ul-. 2001. "Can space syntax predict environmental cognition?". *Proceedings, Space Syntax 2<sup>nd</sup> International Symposium*, Brasilia, pp. 44.1-44.14
- Haq, Saif-ul y Sara Girotto. 2004. "Ability and intelligibility: Wayfinding and environmental cognition in the designed environment". *Proceedings, 4<sup>th</sup> International Space Syntax Symposium*, Londres, 2003, pp. 68.01-68.20.
- Harary, Frank. 1954. "On the notion of balance on a signed graph". *Michigan Mathematical Journal*, 2: 143-146.
- Harary, Frank. 1957. "Structural duality". *Behavioral Science*, 2: 255-265.
- Harary, Frank. 1959. "Status and contraststatus". *Sociometry*, 22(1): 23-53.
- Harary, Frank. 1969. *Graph theory*. Reading, Addison-Wesley.
- Harary, Frank y Robert Z. Norman. 1953. *Graph theory as a mathematical model in social science*. University of Michigan Institute of Social Research.
- Harary, Frank, Robert Z. Norman y Dorwin Cartwright. 1965. *Structural models: An introduction to the theory of directed graphs*. Nueva York, Wiley.
- Harlow, Lisa, Stanley Mulaik y James Steiger (compiladores). 1997. *What if there were no significance tests?*, Mahwah, Erlbaum.
- Harman, Graham. 2009. *Prince of networks: Bruno Latour and metaphysics*. Melbourne, re.press.

- Harris, Marvin. 1978 [1968]. *El desarrollo de la teoría antropológica: Una historia de las teorías de la cultura*. Madrid, Siglo XXI de España.
- Harris, Marvin. 1999. *Theories of culture in postmodern times*. Walnut Creek, Altamira Press.
- Hatty, Suzanne y James Hatty. 1999. *The disordered body: Epidemic disease and cultural transformation*. Nueva York, State University of New York Press.
- Haugeland, John. 1985. *Artificial Intelligence: The very idea*. Cambridge (USA), The MIT Press.
- Haupt, Randy y Sue Ellen Haupt. 2004. *Practical genetic algorithms*. 2<sup>a</sup> edición, Hoboken, Wiley Interscience.
- Hawkes, Kristen. 1977. “Big men in Binumarien”. *Oceania*, 48: 161-187.
- Hayes, Brian. 2002. “Statistics of deadly quarrels”. *American Scientist*, 90(1): 10-15.
- Haynes, Teresa, Stephen Hedetniemi y Peter Slater. 1998. *Fundamentals of domination in graphs*. Nueva York, Marcel Dekker Inc.
- Heider, Fritz. 1946. “Attitudes and cognitive organization”. *Journal of Psychology*, 21: 107-112.
- Helm, Matthew y April Leigh Helm. 2008. *Genealogy Online for Dummies*. 5<sup>a</sup> edición. Hoboken, Wiley Publishing.
- Henry, Jules. 1954. “The formal social structure of a psychiatric hospital”. *Psychiatry*, 17: 139-151.
- Herbut, Igor. 2007. *A modern approach to critical phenomena*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Herrnstein, Richard y Charles Murray. 1994. *The bell curve: Intelligence and class structure in American life*. Nueva York, Free Press.
- Hill, Russell y Robin Dunbar. 1994. “Social network size in humans”. *Human nature*, 14: 53-72.
- Hill, Shawndra, Foster Provost y Chris Volinsky. 2007. “Learning and inference in massive social networks”. Faculty Digital Archive, Nuew York University. <http://hdl.handle.net/2451/27812>. Visitado en julio de 2010.
- Hillier, Bill. 1989. “The architecture of the urban object”. *Ekistics*, 334: 5-21.
- Hillier, Bill. 2001. “A theory of the city as object: Or, how the spatial laws mediate the social construction of urban space”. *Proceedings, 3<sup>rd</sup> International Space Syntax Symposium*, Atlanta, pp. 02.1-02.28.
- Hillier, Bill. 2004. “Rejoinder to Carlo Ratti”. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 31: 501-511.
- Hillier, Bill. 2007a. *The space is the machine: A configurational theory of architecture*. Londres, UCL.
- Hillier, Bill. 2007b. “Studying cities to learn about minds: how geometric intuitions shape urban space and make it work”. *Space Syntax and Spatial Cognition - Proceedings of the Workshop held in Bremen, 24<sup>th</sup> September 2006. Spatial Cognition 2006*, pp. 11-31.
- Hillier, Bill. 2009. “What do we need to add to a social network to get a society?. Answer: Something like what you have to add to a spatial network to get a city”. *Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Space Syntax Symposium*, Estocolmo, pp. 042.1-042.15.
- Hillier, Bill y Julienne Hanson. 1984. *The Social Logic of Space*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Hillier, Bill, Julienne Hanson y John Peponis. 1987. “Syntactic analysis of settlements”. *Architecture & Behavior*, 3(3): 217-231.

- Hillier, Bill, Mark David Major, Jake Desyllas, Kavyn Karimi, Beatriz Campos y Tim Stonor. 1996. "Tate Gallery, Millbank: A study of existing layout and new masterplan proposal". Technical Report, The Bartlett School of Graduate Studies, Unit for Architectural Studies.
- Hillier, Bill, Alan Penn, Julianne Hanson, T. Grajewski y J. Xu. 1993. "Natural movement: or, configuration and attraction in urban pedestrian movement". *Environment and Planning B: Planning and Design*, 20: 29-66.
- Hillier, Bill, Alasdair Turner, Tao Yang y Hoon Tae Park. 2007. "Metric and topo-geometric properties of urban street networks: Some convergences, divergences and new results". <http://eprints.ucl.ac.uk/archive/00003282/01/3282.pdf> - Visitado en abril de 2010.
- Hillier, Bill y Laura Vaughan. 2007. "The city as one thing". *Progress in planning*, 67(3): 205-230.
- Hillier, Frederick y Gerald Lieberman. 2001. *Introduction to operations research*. 7<sup>a</sup> edición, Boston, McGraw-Hill.
- Hingston, Philip, Luigi Barone y Zbigniew Michalewicz (compiladores). 2008. *Design by evolution: Advances in evolutionary design*. Berlín-Heidelberg, Springer Verlag.
- Hochbaum, Dorit. 2003. *Graph algorithms and network flows*. IEOR266. Universidad de Berkeley, <http://www.ieor.berkeley.edu/~ieor266/>. Visitado en julio de 2010.
- Hogben, Leslie (compiladora). 2007. *Handbook of linear algebra*. Boca Raton, Chapman & Hall/CRC.
- Hoffmann, Hans. 1971. "Markov chains in Ethiopia". En: P. Kay (compilador), *Explorations in mathematical anthropology*. Cambridge (USA), MIT Press, pp. 181-190.
- Hohmann-Vogrin, A. 2005. "Space Syntax in Maya Architecture". 5<sup>th</sup> International Space Syntax Symposium. Delft, Bartlett School of Graduate Studies, University College London, pp. 279-292.
- Holland, John. 1992a. "Genetic algorithms". *Scientific American*, julio, 267(1): 44-50.
- Holland, John. 1992b [1975]. *Adaptation in natural and artificial systems*. Cambridge (USA), The MIT Press.
- Holland, John, Keith Holyoak, Richard Nisbett y Paul Thagard. 1986. *Induction. Processes of inference, learning, and discovery*. Cambridge (USA), The MIT Press.
- Holland, Paul y Samuel Leinhardt. 1970. "A method for detecting structure in sociometric data". *American Journal of Sociology*, 76(3): 492-513.
- Holland, Paul y Samuel Leinhardt. 1971. "Transitivity in structural models of small groups". *Comparative Groups Studies*, 2: 107-124.
- Holland, Paul y Samuel Leinhardt. 1976. "The statistical analysis of local structures in social networks". En: D. R. Heise (compilador), *Sociological Methodology*. San Francisco, Jossey-Bass, pp. 1-45.
- Hölscher, Christoph, Ruth Conroy Dalton y Alasdair Turner (compiladores). 2006. *Space syntax and spatial cognition*. Proceedings of the Workshop held in Bremen, 24<sup>th</sup> September.
- Holton, Derek Alan y J. Sheehan. 1993. *The Petersen graph*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Holy, Ladislav. 1979. "The segmentary lineage and its existential status". En: L. Holy (compilador), *Segmentary lineage systems reconsidered*. Belfast, Queen University.
- Hołyst, Janus, Krzysztof Kacperski y Frank Schweitzer. 2000. "Phase transitions in social impact models of opinion formation". *Physica A: Statistical Mechanics and its applications*, 285(1-2): 199-210.

- Homans, George C. y David Schneider. 1955. *Marriage, Authority, and Final Causes: A Study of Unilateral Cross-Cousin Marriage*. Nueva York, Free Press.
- Hopcroft, John E. y Robert E. Tarjan. 1974. “Efficient planarity testing”. *Journal of the ACM*, 21(4): 549-568.
- Hopcroft, John Edward, Rajeev Motwani y Jeffrey Ullman. 2001. *Introduction to automata theory, languages and computation*. 2<sup>a</sup> edición. Reading, Addison-Wesley.
- Hopkins, Brian y Robin Wilson. 2004. “The truth about Königsberg”. *The College Mathematics Journal*, 35(3): 198-207.
- Hopkins, Mary. 1987. “Network analysis of the plans of some Teotihuacan apartment compounds”. *Environment and Planning B*, 14: 387-406
- Hsu, Lih Hsing y Cheng-Kuan Lin. 2009. *Graph theory and interconnection networks*. Boca Raton, CRC Press.
- Huang, Weidong, Seok-Hee Hong y Peter Eades. 2006a. “How people read sociograms: A questionnaire study”. Asia-Pacific Symposium on Information Visualization. Tokyo, Febrero.
- Huang, Weidong, Seok-Hee Hong y Peter Eades. 2006b. “Predicting graph-reading performance: A cognitive approach”. *Asia-Pacific Symposium on Information Visualization*. Tokyo, Febrero.
- Hudson, John C. 1992. “Scale in space and time”. En: Ronald Abler, Melvin Marcus y Judy Olson (compiladores), *Geography’s Inner Worlds*. New Brunswick, Rutgers University Press, pp. 280-300.
- Hudson, Richard. 2003. “An encyclopedia of english grammar and Word Grammar”. <http://www.phon.ucl.ac.uk/home/dick/wg.htm> - Visitado en abril de 2009.
- Hudson, Richard. 2006. *Language Networks: The New Word Grammar*. Nueva York, Oxford University Press.
- Hunt, Allen. 2005. *Percolation theory for flow in porous media*. Berlín, Heidelberg y Nueva York, Springer.
- Hunter, John. 1997. “Needed: A ban on the significance test”. *Psychological science*, 8: 3-7.
- Hunter, John y R. Lance Shotland. 1974. “Treating data collected by the small world method as a Markov process”. *Social Forces*, 52: 321-332.
- Ibáñez, Jesús (compilador). 1990. *Nuevos avances en la investigación social: La investigación social de segundo orden*. Barcelona, Antropos.
- Inglis, Christine. 1975. Revisión de *Network analysis: Studies in human interaction* de J. Boissevain y J. C. Mitchell. *The British Journal of Sociology*, 26(1): 113-114.
- Ingram, Piers, Michael Stumpf y Jaroslav Stark. 2006. “Network motifs: structure does not determine function”. *BMC Genomics*, 7: 108. <http://www.biomedcentral.com/1471-2164/7/108>. Visitado en abril de 2010.
- Isaac, Barry. 2005. “Karl Polanyi”. En: James Carrier (compilador), *A handbook in economic anthropology*. Cheltenham, Edward Elgar, pp. 14-25.
- Isard, Walter. 1960. *Methods of regional analysis*. Cambridge (USA), The MIT Press.
- Ito, Masami y Teruo Imaoka (compiladores). 2003. *Proceedings of the International Conference Words, Languages and Combinatorics III*. Kyoto, 14 al 18 de marzo de 2000. Nueva Jersey, World Scientific.
- Jackson, Matthew. 2008. *Social and economic networks*. Princeton, Princeton University Press.

- Jacob, Riko, Dirk Koschützki, Katharina A. Lehmann, Leon Peeters y Dagmar Tenfelde-Podehl. 2005. “Algorithms for centrality indices”. En: U. Brandes y T. Erlebach (compiladores), *Op. cit.*, pp. 62-82.
- Jacobs, Jane. 1961. *The life and death of great American cities*. Nueva York, Random House.
- Jacobson, Kurt y Marc Sandler. 2008. “Musically meaningful or just noise? An analysis of on-line artists networks”. [http://doc.gold.ac.uk/~map01bf/papers/kjacobsen\\_cmmr2008.pdf](http://doc.gold.ac.uk/~map01bf/papers/kjacobsen_cmmr2008.pdf). Visitado en abril de 2010.
- Jain, Lakhmi, Mika Sato-Ilic, Maria Virvou, George A. Tsirhrintzis, Valentina Emilia Balas y Canicious Abeynayake (compiladores). 2008. *Computational intelligence paradigms. Innovative applications*. Berlín y Heidelberg, Springer-Verlag.
- Jakobson, Dmitry e Igor Rivin. 1999. “On some extremal problems in graph theory”. arXiv:math.CO/9907050. <http://arxiv.org/abs/math.CO/9907050>. Visitado en abril de 2010.
- James, Ioan Mackenzie (compilador). 1999. *History of topology*. Amsterdam, Elsevier.
- Janson, Svante, Tomasz Łukzak y Andrzej Rucinski. 2000. *Random graphs*. Nueva York, John Wiley & Sons.
- Jenkins, David. 2008. “Anthropology, mathematics, kinship: A tribute to the anthropologist Per Hage and his work with the mathematician Frank Harary”. University of California, eScholarship Repository, <http://repositories.cdlib.org/hcs/MACT/0708DJ/>. Visitado en junio de 2009.
- Jensen, Henrik Jeldtoft. 1998. *Self-organized criticality: Emergent complex behavior in physical and biological systems*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Jiang, Bin. 2007. “A topological pattern of urban street networks: universality and peculiarity”. *Physica A*, 384: 647-655.
- Jiang, Bin. 2009. “Street hierarchies: a minority of streets account for a majority of traffic flow”. *International Journal of Geographical Information Science*, 23(8): 1033-1048, Preprint, arxiv.org/abs/0802.1284, <http://arxiv.org/abs/0802.1284> - Visitado en abril de 2010.
- Jiang, Bin y Christophe Claramunt. 2000. “Extending space syntax towards an alternative model of space within GIS”. Presentado en la 3<sup>rd</sup> AGILE Conference on Geographic Information Science, Helsinki, 25 al 27 de mayo. <http://fromto.hig.se/~bjg/JiangCla.PDF>. Visitado en abril de 2010.
- Jiang, Bin y Christophe Claramunt. 2004. “Topological analysis of urban street networks”. *Environment and Planning B – Planning and Design*, 31(1): 151-162.
- Jiang, Bin y Xintao Liu. 2009. “AxialGen: a research prototype for automatically generating the axial map”. Trabajo presentado en 11<sup>th</sup> International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management (CUPUM), Hong Kong, 16 al 18 de junio de 2009, Preprint, arxiv.org/abs/0902.0465, <http://arxiv.org/abs/0902.0465> - Visitado en abril de 2010.
- Jiang, Bin y Xintao Liu. 2010. “Automatic generation of the axial lines of urban environments to capture what we perceive”. *International Journal of Geographical Information Science*, (24)4: 545-558, Preprint, arxiv.org/abs/0811.4489, <http://arxiv.org/abs/0811.4489>. Visitado en abril de 2010.
- Jiang, Bin, Junjun Yin y Sijian Zhao. 2009. “Characterizing human mobility patterns over a large street network”. <http://arxiv.org/pdf/0809.5001v1.pdf>. Visitado en enero de 2010.

- Johnson, Neil, Mike Spagat, Jorge Restrepo, Oscar Becerra, Juan Camilo Bohórquez, Nicolás Suárez, Elvira María Restrepo y Roberto Zarama. 2006. “Universal patterns underlying ongoing wars and terrorism”. oai:arXiv.org:physics/0605035, <http://www.citebase.org/fulltext?format=application%2Fpdf&idener=oai%3AarXiv.org%3Aphysics%2F0605035>. Visitado en febrero de 2008.
- Johnson, Norman, Adrienne Kemp y Samuel Kotz. 2005. *Univariate discrete distributions*. Hoboken, John Wiley & Sons.
- Jonas, Jeff y Jim Harper. 2006. “Effective Counterterrorism and the Limited Role of Predictive Data Mining”. *Policy Analysis*, 587, diciembre, <http://www.cato.org/pubs/pas/pa584.pdf>. Visitado en enero de 2011.
- Jondeau, Eric, Ser-Huang Poon y Michael Rockinger. 2007. *Finantial modeling under non-Gaussian distributions*. Londres, Springer London.
- Jones, Eric. 2006. “Using viewshed analysis to explore settlement choice: A case study of Onondaga Iroquois”. *American Antiquity*, 71(3): 523-538.
- Jost, Jürgen y Maliakal Poulo Joy. 2002. “Evolving networks with distance preferences”. *Physical Review E*, 66(3), 36126–36132, <http://arxiv.org/pdf/cond-mat/0202343v2>. Visitado en mayo de 2010.
- Joyce, Rosemary y Susan Gillespie. 2000. *Beyond kinship: Social and material reproduction in house society*. Filadelfia, University of Pennsylvania Press.
- Jukna, Stasys. 2001. *Extremal combinatorics. With applications in computer science*. Nueva York-Heidelberg-Berlín, Springer Verlag.
- Jung, Woo-Sung, Fenzhong Wang y H. Eugene Stanley. 2008. “Gravity model in the Korean highway”. *Europhysics Letters (EPL)*, 81, 48005, doi:10.1209/0295-5075/81/48005. <http://polymer.bu.edu/hes/articles/jws08.pdf>. Visitado en diciembre de 2010.
- Jungnickel, Dieter. 2008. *Graphs, networks, and algorithms*. 3<sup>a</sup> edición, Berlín-Heidelberg, Springer.
- Kacperski, Krzysztof y Janusz Hołyst. 1999. “Opinion formation model with strong leader and external impact: A mean field approach”. Pre-impreso de *Physica A*, 287: 631-643.
- Kadanoff, Leo. 1983. “Roads to chaos”. *Physics Today*, diciembre, 36: 46-53.
- Kadanoff, Leo. 1999. *From order to chaos II: Essays: Critical, chaotic and otherwise*. Nueva York, World Scientific Publishing Company.
- Kagan, Abram, Yurii Vladimirovich Linnik y C. Radhakrishna Rao. 1973. *Characterization problems in mathematical statistics*. Nueva York, Wiley.
- Kalapala, Vamsi, Vishal Sanwalani, Aaron Clauset y Christopher Moore. 2006. “Scale invariance in road networks”. *Physical Review E (Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics)*, vol. 73: 026130. arXiv:physics/0510198v2.
- Kampel, Martin y Francisco Javier Melero. 2003. “Virtual vessel reconstruction from a fragment’s profile”. En: D. Arnold, A. Chalmers y F. Niccolucci (Editores), *4<sup>th</sup> International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Intelligent Cultural Heritage*.
- Kandel, Abraham, Horst Bunke y Mark Last (compiladores). 2007. *Applied graph theory in computer vision and pattern recognition*. Berlín y Heidelberg, Springer-Verlag.
- Kane, Julius, William Thompson e Ilan Vertinsky. 1972. “Health-care delivery: A policy simulation”. *Socio-economic planning sciences*, 6(3): 283-293.
- Kansky, K. J. 1963. “Structure of Transportation Networks: Relationships Between Network Geometry and Regional Characteristics”. *Research Paper 84*, Department of Geography, University of Chicago.

- Kant, Goosen. 1967. *Algorithms for drawing planar graphs*. Disertación de doctorado, Universidad de Utrecht.
- Kapatsinski, Vsevolod. 2006. “Sound similarity relations in the mental lexicon: Modeling the lexicon as a complex network”. *Speech Research Lab Progress Report #27*, Bloomington, Indiana University.
- Kapferer, Bruce. 1969. “Norms and the manipulation of relationships in a work context”: En: J. C. Mitchell (compilador), *Op. cit.*, pp. 181-244.
- Kapferer, Bruce. 1972. *Strategy and transaction in an African factory: African workers and Indian management in a Zambian town*. Manchester, Manchester University Press.
- Kapferer, Bruce. 1973. “Social network and conjugal role in urban Zambia: Towards a reformulation of the Bott hypothesis”. En: Jeremy Boissevain y J. Clyde Mitchell, *Network Analysis Studies in Human Interaction*. La Haya, Mouton & Co., pp. 269-280.
- Karinthy, Frigyes. 2001 [1929]. “Chain-links”. En: M. Newman, L. Barabási y D. Watts (compiladores), *Op. cit.*, pp. 21-26.
- Karloff, Howard. 2009. *Linear programming*. Boston, Birkhäuser.
- Katz, Leo. 1947. “On the matrix analysis of sociometric data”. *Sociometry*, 10: 233-241.
- Kay, Paul. 1975. “A model theoretic approach to folk taxonomy”. *Social science information*, 14: 151-166.
- Kehoe-Forutan, Sandi. 1988. *Torres Strait independence: A chronicle of events*. St. Lucia, University of Queensland, Department of Geographical Sciences Research Report n° 1.
- Kelsey, Todd. 2010. *Social networkings spaces: From Facebook to Twitter and everything in between*. Nueva York, Apress.
- Kemeny, John, J. Laurie Snell y Gerald L. Thompson. 1974. *Introduction to finite mathematics*. 3<sup>a</sup> edición, Englewood Cliffs, Prentice-Hall.
- Kendall, David G. 1963. “A statistical approach to Flinders Petrie's sequence dating”. *Bulletin of the International Statistics Institute*, 40: 657-680.
- Kendall, David G. 1969. “Incidence matrices, interval graphs, and seriation in archaeology”. *Pacific Journal of Mathematics*, 28: 565-570.
- Kenis, Patrick y David Knoke. 2002. “How organizational field networks shape interorganizational tie-formation rates”. *Academy of Management Review*, 27: 275-293.
- Kennedy, Hubert. 1963. “The mathematical philosophy of Giuseppe Peano”. *Philosophy of Science*, 30(3): 262-266.
- Kennedy, James, Russell Eberhart y Yuhui Shi. 2001. *Swarm intelligence*. San Francisco, Morgan Kaufmann.
- Kilduff, Martin y David Krackhardt. 2008. *Interpersonal networks in organizations*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Kilduff, Martin y Wenpin Tsai. 2003. *Social networks and organizations*. Londres, Sage.
- Killworth, Peter y Russell Bernard. 1979. “A pseudo-model of the small-world problem”. *Social Forces*, 52(2): 477-505.
- Killworth, Peter, Russell Bernard y Christopher McCarty. 1984. “Measuring Patterns of Acquaintanceship”, *Current Anthropology*, 25(4): 381-397.
- Kim, Minseok y Jaepil Choi. 2009. “Angular VGA and cellular VGA: An exploratory study for spatial analysis methodology based in human movement behavior”. *Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Space Syntax Symposium*, Estocolmo, pp. 054.1-054.14

- Kim, Ungsik. 2007. “Analysis of personal email networks using spectral decomposition”. *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, 7(4): 185-188.
- Kim, Young Ook y Alan Penn. 2004. “Linking the spatial syntax of cognitive maps to the spatial syntax of the environment”. UCL Eprints, <http://eprints.ucl.ac.uk/2781>. Visitado en febrero de 2009.
- Kirkpatrick, Scott, Daniel Gelatt y Mario Vecchi. 1983. “Optimization by Simulated Annealing”. *Science*, 220(4598): 671-680. <http://www.cs.virginia.edu/cs432/documents/sa-1983.pdf>. Visitado en febrero de 2009.
- Klapisch-Zuber, Christine. 2000. *L’Ombre des ancêtres: Essai sur l’imaginaire médiéval de la parenté*. París, Fayard.
- Klau, Gunnar y René Weiskircher. 2005. “Robustness and resilience”. En: U. Brandes y T. Erlebach (compiladores), *Op. cit.*, cap. §15, pp. 417-437.
- Kleiber, Christian y Samuel Kotz. 2003. *Statistical size distribution in economics and actuarial sciences*. Hoboken, Wiley Interscience.
- Kleinberg, Jon. 1999. “The small world phenomenon: An algorithmic perspective”. *Cornell Computer Science Technical Report*, 99-1776.
- Kleinberg, Jon. 2000. “Navigation in a small world”. *Nature*, 406: 845.
- Kleinfeld, Judith. 2002. “The small world problem”. *Society*, 39(2): 61-66.
- KlovdaHL, Alden. 1981. “A note of images of networks”. *Social Networks*, 3: 197-214.
- KlovdaHL, Alden. 1986. “VIEW-NET: A new tool for network analysis”. *Social Networks*, 8: 313-342.
- KlovdaHL Alden, Edward Graviss, Afshin Yaganehdoost, Michael Ross, Gerald Adams y James Musser. 2001. “Networks and tuberculosis: an undetected community outbreak involving public places”. *Social Science and Medicine*, 52: 681-694.
- Kluckhonh, Florence. 1963. “Some reflections on the nature of cultural integration and change”. En: E. A. Tiryakian (compilador), *Sociological theory, values, and sociocultural change*. Nueva York, Free Press / Macmillan, pp. 217-248.
- Knauft, Bruce. 1996. *Genealogies for the present in cultural anthropology*. Nueva York y Londres, Routledge.
- Knoke, David y Song Yang. 2008. *Social network analysis*. 2<sup>a</sup> edición, Los Angeles-Londres, Sage Publications.
- Knorr-Cetina, Karin. 1981. “The micro-sociological challenge of macro-sociology: Towards a reconstruction of sociological theory and methodology: en K. Knorr-Cetina y Aaron Cicourel (compiladores), *Advances in social theory and methodology: Toward an integration of micro- and macro-sociologies*, Londres y Boston, Routledge and Kegan Paul, pp. 1-47.
- Knuth, Donald. 1999. *Things a computer scientist rarely talks about*. Cambridge (USA), Center for the Study of Language and Information – Lecture notes.
- Knuth, Donald. 2001. *The art of computer programming*. 4 volúmenes. Reading, Addison Wesley.
- Kocarev, Ljupco y Gabor Vattay (compiladores). 2005. *Complex dynamics in communication networks*. Berlín-Heidelberg-Nueva York, Springer Verlag.
- Kocay, William y Donald Kreher. 2005. *Graphs, algorithms, and optimization. Discrete mathematics and its applications*. Boca Raton, CRC Press.
- Kochen, Manfred (compilador). 1989. *The small world*. Norwood, Ablex.

- Kochen, Manfred e Ithiel de Sola Pool. 1978. “Contacts and influence”. *Social Networks*, 1(1): 1-51.
- Kohler, Timothy. 2000. “Putting social sciences together again”. En: T. Kohler y G. Gumerman (compiladores), *Dynamics in Human and Primate Societies. Agend-based modeling of social and spatial processes*. Nueva York-Oxford, Oxford University Press, pp. 1-18.
- Kolata, Gina. 1998. “Scientific myths that are too good to die”. *The New York Times*, 6 de diciembre, p. 18. <http://www.nytimes.com/1998/12/06/weekinreview/scientific-myths-that-are-too-good-to-die.html?pagewanted=1>. Visitado en abril de 2010.
- Kollo, Tõnu y Dietrich von Rosen. 2005. *Advanced multivariate statistics with matrices*. Amsterdam, Springer.
- König, Dénes. 1931. “Gráfok és mátrixok”. *Matematikai és Fizikai Lapok*, 38: 116–119.
- Koren, Yehuda. 2002. “On spectral graph drawing”. *Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Computer and Combinatorics Conference, COCCON’03*. Nueva York, Springer Verlag, pp. 496-508.
- Korn, Frances. 1973. *Elementary structures revisited*. Berkeley, University of California Press.
- Korzybski, Alfred. 1933. *Science and sanity. An introduction to non-aristotelian systems and general semantics*. [http://www.greylodge.org/occultreview/glor\\_010/science\\_and\\_sanity.htm](http://www.greylodge.org/occultreview/glor_010/science_and_sanity.htm). Visitado en mayo de 2009.
- Koshy, Thomas. 2003. *Discrete mathematics with applications*. Amsterdam, Elsevier.
- Kosub, Sven. 2005. “Local density”. En: U. Brandes y T. Erlebach (compiladores), *Op. cit.*, pp. 112-142.
- Kotz, Samuel y Saralees Nadarajah. 2000. *Extreme value distributions: Theory and applications*. Londres, Imperial College Press.
- Kövecses, Zoltán. 2005. *Metaphor in culture: Universality and variation*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Koza, John. 1992. *Genetic programming: On the programming of computers by natural selection*. Cambridge (USA), The MIT Press.
- Krishnamoorthy, Kalimuthu. 2006. *Handbook of statistical distributions with applications*. Boca Raton, Chapman & Hall / CRC.
- Krueger, Joachim. 2001. “Null hypothesis significance testing: On the survival of a flawed method”. *American Psychologist*, 56(1): 16-26.
- Krüger, Mario J. T. 1979. “An approach to built-form connectivity at an urban scale: system description and its representation”. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 6: 67-88.
- Krüger, Mario J. T. 1989. “On node and axial maps: distance measures and related topics”. *European Conference on the Representation and Management of Urban Change*, Universidad de Cambridge.
- Kružic, P. G. 1973. *A suggested paradigm for policy planning*. Menlo Park, Stanford Research Institute Technical Note TN-OED-016.
- Kryssanov, Victor, Frank Rinaldo, Evgeny Kuleshov y Hitoshi Ogawa. 2008. “A hidden variable approach to analyze ‘hidden’ dynamics of social networks”. En: Thomas Friemel (compilador), *Op. cit.*, pp. 15-35.
- Kubat, Ayşe Sema. 1999. “Morphological History of İstanbul”. *Urban Morphology –Journal of the International Seminar on Urban Form*, Vol. 4, Birmingham, Design and Print Unit, University of Central England.

- Kugiumtzis, Dimitris, Bjoern Lillekjendlie y Nils Christoffersen. 1994. "Chaotic time series. Part I: Estimation of some invariant properties in time space". *Modeling, identification and control*, 15(4): 205-224.
- Kuhn, Alfred. 1962. *The structure of scientific revolutions*. Chicago, The University of Chicago Press.
- Kuper, Adam. 1973. *Antropología y antropólogos: La escuela británica 1922-1972*. Barcelona, Anagrama.
- Kuper, Adam. 2003. "What really happened to kinship and kinship studies". *Journal of Cognition and Culture*, 3(4): 329-335.
- Kuper, Adam. 1982. "Linneage theory: A critical retrospect". *Annual Review of Anthropology*, 11: 71-95.
- Kuznar, Lawrence A. 1997. *Reclaiming a scientific Anthropology*. Walnut Creek, Altamira Press.
- Kvamme, Kenneth. 1993. "Computer methods: Geographic Information Systems". En: Jonathan Haas y Winifried Creamer (compiladores), *Stress and warfare among the Kayenta Anasazi in the thirteenth century A.D.*, Chicago, Field Museum, pp. 171-180.
- Lake, Mark y P. E. Woodman. 2003. "Visibility studies in archaeology: A review and case study". *Environment and Planning B, Planning and Design*, 30: 689-407.
- Lambotte, Renaud y Marcel Ausloos. 2006. "On the genre-fication of music". *The European Physical Journal B. Condensed matter and complex systems*, 50(1-2): 183-188.
- Lamphere, Louise. 2001. "Whatever happened to kinship studies?: Reflections of a feminist anthropologist". En: Linda Stone (compiladora), *New directions in anthropological kinship*, Lanham, Rowman & Littlefield.
- Landau, Lev y Evgenii M. Lifshitz. 1977. *Quantum mechanics: Non-relativistic theory* (Vol. 3 del *Curso de Física Teórica*). 3<sup>a</sup> edición, Oxford, Pergamon Press.
- Landsberger, Henry. 1958. *Hawthorne revisited*. Ithaca, Cornell Social Science Research Center.
- Latour, Bruno. 2005. *Reassembling the social: An introduction to actor-network-theory*. Oxford, Oxford University Press.
- Laurence, Ray. 1994. *Roman Pompeii, space and society*. Londres, Routledge.
- Laurie, Alexander. 2003. *Phase transitions occurring in models of neighborhood racial segregation*. Disertación de doctorado, Illinois Wesleyan University.  
[http://digitalcommons.iwu.edu/physics\\_honproj/5/](http://digitalcommons.iwu.edu/physics_honproj/5/). Visitado en enero de 2010.
- Laville, Jean-Louis. 2007. "The social dimension of the economy according to Mark Granovetter". *Sociologica*, 2, doi: 10.2383/24768.  
<http://www.sociologica.mulino.it/doi/10.2383/24768>. Visitado en febrero de 2008.
- Lawler, Eugene. 1976. *Combinatorial optimization: Networks and matroids*. Nueva York, Holt, Rinehart & Winston.
- Lawrence, Denise y Setha Low. 1990. "The built environment and spatial form". *Annual Review of Anthropology*, 19: 453-505.
- Lawrence, Roderick. 1987. "Structuralist Theories in Environment – Behavior – Design Research: Applications for Analyses of People and the Built Environment". En: E. H. Zube y G. T. Moore (compiladores), *Advances in Environment, Behavior, and Design: Toward the Integration of Theory, Methods, Research, and Utilization*, vol. 2. Nueva York, Plenum Press, pp. 37-70.
- Lawson, Bryan. 2005. *The language of space*. Oxford, Architectural Press.
- Leach, Edmund. 1964. Revisión de *An anatomy of Kinship* de Harrison White. *Man*, 64: 156.

- Leach, Edmund. 1971 [1966]. *Replanteamiento de la antropología*. Barcelona, Seix Barral.
- Leavitt, Harold. 1951. “Some effects of certain communication patterns on group performance”. *Journal of Abnormal and Social Psychology*, 46: 38-50.
- Lee, Kwang y Mohamed El-Sharkawi (compiladores). 2008. *Modern heuristic optimization techniques. Theory and applications to power systems*. Hoboken, John Wiley & Sons.
- Leeds, Anthony. 1972. “Urban anthropology and urban studies”. *Urban Anthropology Newsletter*, 1(1): 4-5.
- Legeby, Ann. 2009. “Accesibility and urban life: Aspects of urban segregation”. *Proceedings of the 7<sup>th</sup> Space Syntax Symposium*, Estocolmo, pp. 064.1-064.11.
- Leinhardt, Samuel. 1977. *Social Networks: A developing paradigm*. Nueva York, Academic Press.
- Lemke, Paul, Steven Skiena y Warren Smith. 2002. “Reconstructing sets from interpoint distances”. *DIMACS Technical Report*, 2002-37, setiembre, pp. 332-339.
- Le Play, Pierre Guillaume Frédéric. 1855. *Ouvriers européens. Études sur les travaux, la vie domestique et la condition morale des populations ouvrières de l'Europe, précédée d'un exposé de la méthode d'observations*. París, Imprimerie impériale. <http://www.science-sociale.org/download/cat.php?idcat=3&PHPSESSID=01a4cddfb337264480610483f641fb96>. Visitado en enero de 2011.
- Lett, James. 1997. *Science, reason and anthropology. The principles of rational inquiry*. Lanham, Rowman & Littlefield Publishers, Inc.
- Lévi-Strauss, Claude. 1969 [1949]. *The elementary structures of kinship*. Traducción de James Harle Bell, John Richard von Sturmer y Rodney Needham. Boston, Beacon Press.
- Lévi-Strauss, Claude. 1973 [1958]. *Antropología estructural*. 5<sup>a</sup> edición, Buenos Aires, Eudeba.
- Lévi-Strauss, Claude. 1984 [1983]. *La mirada distante*. Barcelona, Argos Vergara.
- Lévi-Strauss, Claude. 1985 [1949]. *Las estructuras elementales del parentesco*. Barcelona, Planeta-Agostini.
- Lewin, Kurt. 1936. *Principles of topological psychology*. Nueva York, McGraw-Hill.
- Lewin, Kurt. 1938. *The conceptual representation and measurement of psychological forces*. Durham, Duke University Press.
- Lewin, Kurt. 1939. “Field theory and experiment in social psychology: Concepts and methods”. *American Journal of Sociology*, 44(6): 868-896.
- Lewin, Kurt. 1951 [1947]. “Frontiers in group dynamics”. En: D. Cartwright (compilador), *Field theory in social sciences*. Nueva York, Harper & Brothers, pp. 130-154.
- Lewis, Herbert. 1998. “The misrepresentation of anthropology”. *American Anthropologist*, 100(3): 716-731.
- Li, Andrew I-kang. 2001. *A shape grammar for teaching the architectural style of the Yingzao Fashi*. Disertación doctoral, MIT.
- Li, Wentian. 1992. “Random texts exhibit Zipf's-law-like word frequency distribution”. *IEEE Transactions on Information Theory*, 38(6): 1842-1845.
- Liebling, Thomas M. 1970. *Graphentheorie in Planungs-und Tourenproblemen*. Lecture Notes in Operations Research and Mathematical Systems No. 21, Berlin-Heidelberg-Nueva York, Springer-Verlag.
- Liebmann, Matthew, T. J. Ferguson y Robert W. Preucel. 2005. “Pueblo settlement, architecture, and social change in the Pueblo revolt era, A. D. 1680 to 1696”. *Journal of Field Archaeology*, 30(1): 45-60.

- Liljeros, Fredrik, Christopher Edling y Luis Nunez Amaral. 2003. "Sexual networks: Implications for the transmission of sexually transmitted infections". *Microbes and Infection*, 5: 189-196.
- Lillekjendlie, Bjoern, Dimitris Kugiumtzis y Nils Christoffersen. 1994. "Chaotic time series. Part II: System identification and prediction". *Modeling, identification and control*, 15(4): 225-243.
- Lin, Nan. 1989. "The small world technique as a theory-construction tool". En: M. Kochen (compilador), *Op. cit.*, pp. 231-238.
- Lin, Nan. 1999. "Social networks and status attainment". *Annual Review of Sociology*, 25: 467-487.
- Lin, Nan, Paul Dayton y Peter Greenwald. 1978. "Analyzing the instrumental use of relations in the context of social structure. *Sociological Methods and Research*, 7: 149-166.
- Lin, Nan, Walter Ensel y John Vaughn. 1981. "Social Resources, Strength of Ties and Occupational Status Attainment". *American Sociological Review* 46(4): 393-405.
- Liu, Chung L. 1968. *Introduction to combinatorial mathematics*. Nueva York, McGraw-Hill.
- Liu, Pin-hsiung. 1973. "Murngin: A mathematical solution". *Current Anthropology*, 14(1-2): 103-110.
- Livingstone, Frank B. 1969. "The applicability of structural models to marriage systems in anthropology". En: I. Buchler y H. Nutini (compiladores), *Game theory in the behavioral sciences*. Pittsburgh, University of Pittsburgh Press, pp. 235-251
- Ljung, Lennart y Torsten Söderström. 1986. *Theory and practice of recursive identification*. Cambridge (USA), The MIT Press.
- Ljung, Lennart. 1987. *System identification: Theory for the user*. Englewood Cliffs, Prentice Hall.
- Llobera, M. 2003. "Extending GIS-based visual analysis: The concept of visualscapes". *International Journal of Geographical Information Systems*, 17(1): 25-48.
- Lock, Gary y Trevor Harris. 1996. "Danebury revisited: An English iron-age hillfort in a digital landscape". En: M. Aldenferder y H. Maschner (compiladores), *Anthropology, space, and geographic information systems*. Nueva York, Oxford University Press, pp. 214-240.
- Lomnitz, Larissa. 1974. *Networks and marginality*. Nueva York, Academic Press.
- Long, Yixiang y Perver Baran. 2006. "The relationships between objective and subjective evaluations of urban environments: Space syntax, cognitive maps, and urban legibility". *Proceedings, Spatial Cognition '06*. En línea en UCL Bartlett School of Graduate Studies.
- Long, Yixiang, Perver Baran y Robin Moore. 2007. "The role of space syntax in spatial cognition: Evidence from urban China". *Proceedings, 6<sup>th</sup> International Space Syntax Symposium*, İstanbul, pp. 129.01-129.06.
- Lorrain, François. 1975. *Réseaux sociaux et classifications sociales: Essay sur l'algèbre et la géométrie des structures sociales*. París, Hermann.
- Lorrain, François y Harrison C. White. 1971. "Structural equivalence of individuals in social networks". *Journal of Mathematical Sociology*, 1: 49-80.
- Lotka, Alfred J. 1926. "The frequency distribution of scientific productivity". *Journal of the Washington Academy of Sciences*, 16(12): 317-324
- Lotman, Jurij y Boris Uspenkij. 1979 [1974]. "Mito, nombre, cultura". En: Jurij Lotman y la Escuela de Tartu, *Semiotica de la cultura*. Madrid, Ediciones Cátedra, pp. 111-136.
- Low, Setha (compiladora). 1999. *Theorizing the city: The new urban anthropology reader*. New Brunswick, Rutgers University Press.

- Luce, R. Duncan. 1950. "Connectivity and generalized cliques in sociometric group structure". *Sociometrika*, 15: 159-190.
- Luce, R. Duncan y Albert D. Perry. 1949. "A method of matrix analysis to group structure". *Psychometrika*, 14: 95-116
- Luenberger, David. 1984. *Linear and nonlinear programming*. 2<sup>a</sup> edición, Reading, Addison-Wesley.
- Luenberger, David y Yinyu Ye. 2008. *Linear and nonlinear programming*. 3<sup>a</sup> edición, Nueva York, Springer.
- Lukose, Dickson, Harry Delugach, Mary Keeler, Leroy Searle y John Sowa (compiladores). 1997. *Conceptual structures: Fulfilling Peirce's dream*. Berlín-Heidelberg, Springer Verlag.
- Lütkepohl, Helmut. 1996. *Handbook of matrices*. Baffins Lane, John Wiley & Sons.
- Lynch, Kevin. 2008 [1960]. *La imagen de la ciudad*. Barcelona, Gustavo Gili.
- MacMahon, David. 2006. *Linear algebra demystified*. Nueva York, McGraw-Hill.
- MacQueen, Kathleen. 1994. "The epidemiology of HIV transmissions: Trends, structure and dynamics". *Annual Review of Anthropology*, 23: 509-526.
- Magel, Pierre y Shigui Ruan (compiladores). 2008. *Structured population models in biology and epidemiology*. Heidelberg, Springer.
- Magubane, Bernard. 1971. "A critical look at indices used in the study of social change in Colonial Africa". *Current Anthropology*, 12: 419-431.
- Magubane, Bernard. 1973. "The Xhosa in town: Revisited Urban Social Anthropology: A Failure of method and theory". *American Anthropologist*, 75: 1701-1715.
- Maiza, Chaouki y Véronique Gaildrat. 2005. "Automatic classification of archaeological postherds". Reporte, Departamento de Ciencias de la Computación del IRIT, Toulouse, 7 de febrero. También en *Proceedings of 8<sup>th</sup> 3IA'2005 International Conference Computer Graphics and Artificial Intelligence*, Limoges, 11 y 12 de Mayo, pp. 136-147.
- Maiza, Chaouki. 2004. *Étude de techniques d'appariement entre formes modèles et fragments de poteries sigillées*. Disertación de doctorado, Université Paul Sabatier – Toulouse 3, École Doctorale Informatique et Télécommunications.
- Malevergne, Yannick, Vladilen Pisarenko y Didier Sornette. 2009. "Gibrat's law for cities: Uniformly most biased test of the Pareto against the lognormal". *Swiss Finance Institute Research Paper Series*, 9(40). <http://ideas.repec.org/p/chf/rpseri/rp0940.html>. Visitado en enero de 2011.
- Malinowski, Bronisław. 1930. "Kinship". *Man*, 30(2): 19-29.
- Malinowski, Bronisław. 1986 [1922]. *Los argonautas del Pacífico Occidental*. 2 volúmenes. Barcelona, Planeta-Agostini.
- Malinowski, Bronisław. 1989. *A diary in the strict sense of the term*. Stanford, Stanford University Press.
- Mandelbrot, Benoît. 1960. "On the theory of word frequencies and on related Markovian models of discourse". En: R. Jakobson (compilador), *Proceedings of the Twelfth Symposium in Applied Mathematics*. Nueva York, American Mathematical Society, pp. 190-219
- Mandelbrot, Benoît. 1967. "How long is the coast of Britain?: Self-similarity and fractional dimension". *Science*, 156(3775): 636-638.
- Mandelbrot, Benoît. 2003. *La geometría fractal de la naturaleza*. 2<sup>a</sup> edición, Barcelona, Tusquets.
- Mandelbrot, Benoît y Richard L. Hudson. 2006. *Fractales y finanzas: Una aproximación matemática a los mercados*. Barcelona, Tusquets.

- Manrubia, Susanna, Alexander Mikhailov y Damián Zanette. 2004. *Emergence of dynamic order: Synchronization phenomena in complex systems*. Nueva Jersey, World Scientific Publishing Co.
- Maranda, Pierre. 1977. “Cartographie semantique et folklore: ‘Le diable beau danseur’ à Rimouski”. *Recherche Sociographique*, 18: 247-270.
- March, Lionel y Philip Steadman. 1971. *The geometry of the environment*. Londres, Methuen.
- Marcus, George. 1996. *Connected: Engagements with media*. Chicago y Londres, The University of Chicago Press.
- Marcus, George. 2002. “Beyond Malinowski and after Writing culture: On the future of Cultural Anthropology and the predicament of ethnography”. *Australian Journal of Anthropology*, 13(2): 191-199.
- Marks, Joe (compilador). 2001. *Graph drawing. 8<sup>th</sup> International Symposium, GD 2000*, Colonial Williamsburg, 20 al 23 de setiembre de 2000. Berlín, Heidelberg y Nueva York, Springer.
- Markus, Thomas A. 1993. *Buildings and power: Freedom and control in the origin of modern buiding types*. Nueva York, Routledge.
- Marsden, Peter. 1990. “Network data and measurement”. *Annual Review of Sociology*, 16: 436-463.
- Marshall, Jonathan. 2004. *Language change and sociolinguistics: Rethinking social networks*. Nueva York, Palgrave Macmillan.
- Martin, John Levi. 2003. “What is field theory”. *The American Journal of Sociology*, 109(1): 1-49
- Martino, Francesco y Andrea Spoto. 2006. “Social networks analysis: A brief theoretical review and further perspectives in the study of information technology”. *PsychNology Journal*, 4(1): 53-86.
- Martzloff, Jena-Claude. 2006 [1987]. *A history of Chinese mathematics*. Berlín, Heidelberg y Nueva York, Springer.
- Marx, Dániel. 2004. “Graph colouring problems and their applications in scheduling”. *Periodica Polytechnica, Electrical Engineering*, 48: 11-16,  
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.95.4268&rep=rep1&type=pdf>. Visitado en febrero de 2009.
- Marx, Karl. 1956 [1857]. *Karl Marx: Selected writings in sociology & social philosophy*. Nueva York, McGraw-Hill.
- Maschner, Herbert. 1996. “The politics of settlement choice in the northwest coast: Cognition, GIS, and coastal landscapes”. En: M. Aldenferder y H. Maschner (compiladores), *Anthropology, space, and geographic information systems*. Nueva York, Oxford University Press, pp. 175-189.
- Maschner, Herbert y Christopher Chippindale (compiladores). 2005. *Handbook of archaeological methods*. 2 volúmenes. Nueva York, Altamira Press.
- Masin, Sergio Cesare, Verena Zudini y Mauro Antonelli. 2009. “Early alternative derivations of Fechner’s law”. *Journal of the History of Behavioral Sciences*, 45(1): 56-65.
- Maslow, Sergei, Kim Sneppen y Uri Alon. 2003. “Correlation profiles and motifs in complex networks”. En: S. Bornholdt y G. H. Schuster (compiladores), *Op. cit.*, pp. 168-198.
- Masucci, Adolfo. P. y Geoff J. Rodgers. 2006. “Network properties of written human language”, [http://arxiv.org/PS\\_cache/physics/pdf/0605/0605071v1.pdf](http://arxiv.org/PS_cache/physics/pdf/0605/0605071v1.pdf). Visitado en marzo de 2008.
- Matoušek, Jiří y Bernd Gärtner. 2007. *Understanding and using linear programming*. Heidelberg y Nueva York, Springer.

- Mayer, Philip. 1961. *Tribesmen on townsmen: Conservatism and the process of urbanization in a South African city*. Capetown, Oxford University Press.
- Mayer, Philip. 1962. "Migrancy and the study of Africans in towns". *American Anthropologist*, 64: 576-592.
- Mayer, Philip. 1970. Reseña de *Social Networks in Urban Situations: Analyses of Personal Relationships in Central African towns*, de J. C. Mitchell. *Man*, 5(4): 720-721.
- Mazouz, Said y Nawel Banshain. 2009. "Handling architectural complexity by combining genetic and syntactic approaches: The case of traditional settlements in North Africa". *Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Space Syntax Symposium*, Estocolmo, pp. 073.1-073.13.
- McCloskey, Deirdre N. y Stephen T. Ziliak. 2008. *The Cult of Statistical Significance: How the Standard Error Costs Us Jobs, Justice, and Lives (Economics, Cognition, and Society)*. Ann Arbor, The University of Michigan Press
- McDonald, Bryan, Fernando Pereira, Kiril Ribarov y Jan Hajic. 2005. "Non-projective dependency parsing using spanning tree algorithms". En: *Proceedings of Human Language Technology Conference and Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*, Vancouver, Octubre, pp. 523-530.
- McCarty, Christopher, Peter Killworth, H. Russell Bernard, Eugene Johnsen y Gene Shelley. 2000. "Comparing Two Methods for Estimating Network Size". *Human Organization*, 60: 28-39.
- McGrath, Cathleen, Jim Blythe y David Krackhardt. 1997. "The effect of spatial arrangement on judgments and errors in interpreting graphs". *Social Networks*, 19(3): 223-242.
- McKee, Terry y F. R. Morris. 1999. *Topics in intersection graph theory*. Filadelfia, Society for Industrial and Applied Mathematics.
- McMahon, David. 2006. *Linear algebra demystified*. Nueva York, McGraw Hill.
- McNeal, Edward. 1994. *MathSemantics: Making numbers talk sense*. Londres, Penguin.
- Meehl, Paul E. 1967. "Theory testing in psychology and physics: A methodological paradox". *Philosophy of science*, 34: 103-115.
- Meester, Ronald y Rahul Roy. 1996. *Continuum percolation*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Mehler, Alexander. 2009. "Generalized shortest path trees: A novel graph class by example of semiotic networks". En: M. Dehmer y F. Emmert-Streib (compiladores), *Op. cit.*, pp. 175-220.
- Meier, John y Clifford A. Reiter. 1996. "Fractal representations of Cayley Graphs". *Computers & Graphics*, 20(1): 163-170.
- Mel'čuk, Igor. 1985. *Dependency syntax*. Albany, SUNY Press.
- Mel'čuk, Igor. 2003. "Levels of dependency in linguistic description: Concepts and problems". En: V. Agel, L. Eichinnger, H.-W. Eroms, P. Hellwig, H. J. Herringer y H. Lobin (compiladores), *Dependency and Valency. An International Handbook of Contemporary Research*, vol. 1. Berlín - Nueva York, Walter de Gruyter, pp. 188-229.
- Melero, Francisco Javier, Juan Carlos Torres y Alejandro León. 2003. "On the interactive 3D reconstruction of Iberian vessels". En: D. Arnold, A. Chalmers y F. Niccolucci (Editores), *4<sup>th</sup> International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Intelligent Cultural Heritage*.
- Menéndez, Eduardo Luis. 2009. "Las furias y las penas: O de cómo fue y podría ser la antropología". Conferencia Inaugural, FFyL, UBA, 3 de abril.
- Merleau-Ponty, Maurice. 1945. *Phénoménologie de la perception*. París, Gallimard.

- Merton, Robert. 1968. “The Matthew effect in science”. *Science*, 159(3810): 56-63.
- Meyer, Carl D. 2000. *Matrix analysis and applied linear algebra*. Filadelfia, Society for Industrial and Applied Mathematics.
- Meyers, Robert A. (compilador). 2009. *Encyclopedia of complexity and systems science*. Berlín-Nueva York, Springer.
- Miceli, Jorge y Sergio Guerrero. 2007. “Redes libres de escala y su uso en el análisis de datos etnográficos: El caso de la comunidad Tehuelche del Chalía”. En: Grupo Antropocaos, *Exploraciones en Antropología y Complejidad*. Buenos Aires, Editorial Sb, pp. 177-191.
- Miceli, Jorge. 2007. “Modelos de percolación y difusión de ideas en ciencias sociales: Una clasificación provisoria”. En: Grupo Antropocaos, *Exploraciones en Antropología y Complejidad*. Buenos Aires, Editorial Sb, pp. 67-104.
- Miceli, Jorge. 2010. “Problemas de validez en el análisis de las redes sociales: Algunas reflexiones integradoras”, en C. Reynoso y J. Miceli (compiladores), *Críticas y modelos heterodoxos en antropología compleja*. Buenos Aires, Editorial Sb.
- Miceli, Jorge. 2011. “¿Para qué sirven la modelización y la programación de simuladores en la investigación etnográfica? Algunos aportes al debate”. En: C. Reynoso y J. Miceli (compiladores), *Estudios heterodoxos en antropología y complejidad*. Buenos Aires, Editorial Sb.
- Michalewicz, Zbigniew y David Vogel. 1996. *How to solve it: Modern heuristics*. Nueva York, Springer.
- Michalewicz, Zbigniew. 1996. *Genetic Algorithms + Data structures = Evolution Programs*. 3<sup>a</sup> edición, Berlín-Heidelberg-Nueva York, Springer Verlag.
- Mihalcea, Rada. 2005. “Graph-based ranking algorithms for large vocabulary word sense disambiguation”. En: *Proceedings of the Conference on Human Language Technology and Empirical Methods in Natural Language Processing*. Morristown, Association for Computational Linguistics, pp. 411-418.
- Mihalcea, Rada y Dragomir Radev (compiladores). 2006. *Proceedings of the Second Workshop on TextGraphs: Graph-Based Algorithms for Natural Language Processing*. Morristown, Association for Computational Linguistics.
- Mika, Stephen. 2007. *Social networks and the semantic web*. Nueva York, Springer Science.
- Milgram, Stanley. 1967. “The small world problem”. *Psychology Today*, 1(1): 61-67.
- Miller, George. 1987 [1956]. “El mágico número siete, más o menos dos: Algunas limitaciones en nuestra capacidad para el procesamiento de información”. En: M. V. Sebastián (compiladora), *Lecturas en psicología de la memoria*. Madrid, Alianza, pp. 131-153.
- Miller, George, Eugene Galanter y Karl Pribram. 1960. *Plans and the structure of behavior*. Nueva York, Holt, Rinehart & Winston.
- Miller, John y Scott Page. 2007. *Complex adaptive systems: An introduction to computational models and social life*. Princeton y Oxford, Princeton University Press.
- Milo, Ron, Shai Shen-Orr, Shalev Itzkovitz, Nadav Kashtan, Dmitri Chklovskii y Uri Alon. 2002. “Network motifs: simple building blocks of complex networks”. *Science*, 298(5594): 824-7.
- Milo, Ron, Shalev Itzkovitz, Nadav Kashtan, Reuven Levitt, Shai Shen-Orr, Inbal Ayzenststat, Michal Sheffer y Uri Alon. 2004. “Superfamilies of designed and evolved networks”. *Science*, 303: 1538-1542.
- Milroy, Lesley. 1980. *Language and social networks*. Oxford, Blackwell.
- Minsky, Marvin. 1988. *Society of mind*. Nueva York, Simon & Schuster [Traducción castellana: *La sociedad de la mente*, Buenos Aires, Ediciones Galápagos, 1986].

- Miranda, Eduardo Reck y John Al Biles (compiladores). 2007. *Evolutionary computer music*. Nueva York, Springer.
- Mitchell, James Clyde (compilador). 1969. *Social Networks in Urban Situations: Analysis of personal relationships in central African towns*. Manchester, Manchester University Press.
- Mitchell, James Clyde. 1969. “The concept and use of social networks”. En: J. C. Mitchell (compilador), *Op. cit.*, pp. 1-50.
- Mitchell, James Clyde. 1974. “Social networks”. *Annual Review of Anthropology*, 3: 279-299.
- Mitchell, James Clyde. 1989. “Algorithms for network analysis: A test of some analytical procedures on Kapferer’s tailor shop materials”. En: L. C. Freeman, D. R. White y A. K. Romney (compiladores), *Research methods in social network analysis*. Fairfax, George Mason University Press, pp. 319-365.
- Mitchell, Melanie. 1999. *An introduction to genetic algorithms*. 5<sup>a</sup> impresión, Cambridge (USA), The MIT Press.
- Mitchell, Melanie. 2006. “Complex systems: Network thinking”. *SFI Working Papers*, 06-10-036. <http://www.santafe.edu/research/publications/workingpapers/06-10-036.pdf>. Visitado en abril de 2009.
- Mitzenmacher, Michael. 2003. “A Brief History of Generative Models for Power Law and Lognormal Distributions”. *Internet Mathematics*, 1(2): 226-251.
- Mohr, John M. 2000. “Bourdieu’s relational method in theory and practice”. Paper presented at the American Sociological Association Meeting, Washington, DC.
- Mollov, Michael y Bruce Reed. 2002. *Graph colouring and the probabilistic method*. Berlín-Heidelberg, Springer-Verlag.
- Monteiro, Circe y Carolina Puttini Iannicelli. 2009. “Spatial profiles of urban crimes: The role of morphology in a context of social inequality”. *Proceedings of the 7<sup>th</sup> Space Syntax Symposium*, Estocolmo, pp. 080.1-080.11.
- Montello, Daniel. 2007. “The contribution of space syntax to a comprehensive theory of environmental psychology”. *Proceedings, 6<sup>th</sup> International Space Syntax Symposium*, İstanbul.
- Moody, James y Douglas R. White. 2003. “Structural cohesion and embeddedness: A hierarchical concept of social groups”. *American Sociological Review*, 68: 103-127.
- Moore, Jerry D. 1992. “Pattern and meaning in prehistoric Peruvian architecture: The architecture of social control in the Chimu state”. *Latin American Antiquity*, 3: 95-113.
- Moreno, Jacob Levy. 1932. *Application of the Group Method to Classification*. Nueva York, National Committee on Prisons and Prison Labor.
- Moreno, Jacob Levy. 1946. “Sociogram and sociomatrix: A note to the paper of Forsyth and Katz”. *Sociometry*, 9: 348-349.
- Moreno, Jacob Levy. 1953a [1934]. *Who Shall Survive? Foundations of sociometry, group psychotherapy and sociodrama*. Beacon, Beacon House Inc. <http://www.asgpp.org/docs/WSS/WSS.html>. Visitado en enero de 2011.
- Moreno, Jacob Levy, 1953b. “How Kurt Lewin’s ‘Research Center for Group Dynamics’ Started”. *Sociometry*, 16(1): 101-104.
- Moreno, Jacob Levy y Helen Hall Jennings. 1938. “Statistics of social configurations”. *Sociometry* 1: 342-374.
- Morin, Edgar. 1984 [1982]. *Ciencia con consciencia*. Barcelona, Anthropos.
- Morin, Edgar. 1988 [1986]. *El Método. III. El conocimiento del conocimiento. Libro Primero: Antropología del conocimiento*. Madrid, Cátedra

- Morin, Edgar. 1998b [1991]. *El Método. IV. Las ideas.* 2<sup>a</sup> edición, Madrid, Cátedra.
- Morin, Edgar. 2003 [1990]. *Introducción al pensamiento complejo.* Barcelona, Gedisa.
- Morris, Martina. 2000. “Epidemiology and social networks: Modeling structural diffusion”. *Sociological methods and research*, 22: 99-126.
- Morrison, Denton F. y Ramon E. Henkel. 1970. *The significance test controversy: A reader.* Chicago, Aldine.
- Moter, Adilson E., Alesandro P. S. de Moura, Ying-Chen Lai y Partha Dasgupta. 2002. “Topology of the conceptual network of language”. *Physical Review E*, 65(065102): 1-4. <http://pre.aps.org/abstract/PRE/v65/i6/e065102>. Visitado en mayo de 2009.
- Mrvar, Andrej y Vladimir Batagelj. 2004. “Relinking marriages in genealogies”. *Metodološki zvezki*, 1(2): 407-418.
- Mukherjee, Animesh, Monojit Choudhury, Anupam Basu y Niloy Ganguly. 2009. “Self-organization of sound inventories: Analysis and synthesis of the occurrence and co-occurrence networks of consonants”. *Journal of Quantitative Linguistics*, <http://arXiv.org/physics/0610120>, 16(2): 157-184.
- Mumford, Christine y Lakhmi Jain (compiladores). 2009. *Computational intelligence: Collaboration, fusion and intelligence.* Berlín y Heidelberg, Springer-Verlag.
- Muñiz, Marcelo. 1998. *Comunidad Tehuelche del Chalía: Aspectos económicos de su reproducción.* Tesis de licenciatura, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires.
- Murdock, George Peter. 1968. “Patterns of sibling terminologies”. *Ethnology*, 7: 1-24.
- Muthukrishnan, Pradeep, Joshua Gerrish y Dragomir Radev. 2008. “Detecting multiple facets of an event using graph-based unsupervised methods”. En: *COLING 2008*, Manchester, <http://clair.si.umich.edu/~radev/papers/coling08b.pdf>. Visitado en abril de 2010.
- Nadel, Siegfried. 1957. *The theory of social structure.* Londres, Cohen and West.
- Nadel, Siegfried. 1974 [1951]. *Fundamentos de antropología social.* 2<sup>a</sup> reimpresión en español, México, Fondo de Cultura Económica.
- Naroll, Raoul. 1965. Revisión de *An Anatomy of Kinship*, de Harrison White. *The American Journal of Sociology*, 71(2): 217-218.
- Naroll, Raoul y Ronald Cohen (compiladores). 1973. *Handbook on methods in cultural anthropology.* Nueva York, Columbia University Press.
- Needham, Rodney. 1971. “Remarks on the analysis of kinship and marriage”. En: *Rethinking kinship and marriage*, Londres, Tavistock, pp. 1-43.
- Needham, Rodney. 1974. *Remarks and inventions: Skeptical essays about kinship.* Londres, Tavistock – Nueva York, Harper.
- Needham, Rodney. 1975. “Polythetic classifications: Convergence and consequences”. *Man*, n. s., 10(3): 349-369.
- Needham, Rodney. 1983. *Against the tranquility of axioms.* Berkeley, University of California Press.
- Needham, Rodney. 1985. *Exemplars.* Berkeley, University of California Press.
- Needham, Rodney. 1987. *Counterpoints.* Berkeley, University of California Press.
- Needham, Tristan. 1997. Visual complex analysis. Oxford, Clarendon Press.
- Nehnevajsa, Jiří. 1955. “Sociometry: Decades of growth”. *Sociometry*, 18(4): 48-95.

- Nelson, Joel. Sin fecha. “Primary relations in nuclear family”. Citado por J. Aldous y M. Straus (1965).
- Nes, Akkelies van y Trà My Nguyẽn. 2009. “Gender Differences in the Urban Environment: The flâneur and flâneuse of the 21<sup>st</sup> Century”. *Proceedings, 7<sup>th</sup> International Space Syntax Symposium*, Estocolmo, pp. 122.1-122.7.
- Nešetřil, Jaroslav y Miroslav Fiedler (compiladores). 1992. *Fourth Czechoslovakian Symposium on combinatorics, graphs, and complexity*. Amsterdam, North-Holland.
- Nettle, Daniel. 1999. “Using social impact theory to simulate language change”. *Lingua*, 108: 95-117.
- Netz, Reviel. 1999. *The shaping of deduction in greek mathematics: A study in cognitive history*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Neumann, John von. 1956. “Probabilistic logics and the synthesis of reliable organisms from unreliable components”. En: C. Shannon (compilador), *Automata studies*, Princeton, Princeton University Press, pp. 43-98.
- Neumann, John von y Oskar Morgenstern. 1953 [1944]. *Theory of games and economic behavior*. 3<sup>a</sup> edición, Princeton, Princeton University Press.
- Newman, Mark E. J. 2000. “The structure of scientific collaboration networks”. <http://aps.arxiv.org/pdf/cond-mat/0007214v1>. Visitado en julio de 2009.
- Newman, Mark E. J. 2003. “Random graphs as models of networks”. En: S. Bornholdt y H. G. Schuster (compiladores), *Op. cit.*, pp. 35-68.
- Newman, Mark E. J. 2003b. “Mixing patterns in networks, Phys. Rev. E 67, 026126, <http://arxiv.org/abs/cond-mat/0209450>. Visitado en abril de 2009.
- Newman, Mark E. J. 2003c. “Structure and function of complex networks”. arXiv:cond-mat/0303516 v1, <http://aps.arxiv.org/abs/cond-mat/0303516/>. Visitado en julio de 2009.
- Newman, Mark E. J. 2006. “Power laws, Pareto distributions and Zipf’s law”. arXiv:cond-mat/0412004v3, <http://arxiv.org/abs/cond-mat/0412004v3>. Visitado en abril de 2009.
- Newman, Mark E. J., Albert-László Barabási y Duncan Watts (compiladores). 2006. *Structure and dynamics of networks*. Princeton, Princeton University Press.
- Newman, Mark E. J. y Duncan Watts. 1999a. “Renormalization group analysis of the small-world network model”. <http://arxiv.org/abs/cond-mat/9903357>. Visitado en julio de 2009.
- Newman, Mark E. J. y Duncan Watts. 1999b. “Scaling and percolation in the small-world network model”. <http://arxiv.org/abs/cond-mat/9904419>. Visitado en abril de 2009.
- Newman, Mark E. J. y Juyong Park. 2003. “Why social networks are different from other types of networks”. Phys. Rev. E 68, 036122, <http://arxiv.org/abs/cond-mat/0305612>. Visitado en abril de 2009.
- Neyman, Jerzy y Egon S. Pearson. 1928. “On the use of certain test criteria for purposes of statistical inference, Part I”. *Biometrika*, 20A: 175-240.
- Nicolae, Cristina y Gabriel Nicolae. 2006. “Bestcut: A graph algorithm for coreference resolution”. *Proceedings of the 2006 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*, Sydney, pp. 275-283.
- Nicolis, Gregoire y Catherine Nicolis. 2007. *Foundations of complex systems: Nonlinear dynamics, statistical physics, information and prediction*. Singapur, World Scientific.
- Ninio, Anat. 2006. “Kernel vocabulary and Zipf’s Law in maternal input to syntactic development”. En: D. Bamman, T. Magnitskaia y C. Zaller (compiladores), *BUCLD 30: Proceedings of the 30<sup>th</sup> annual Boston University Conference on Language Development*, Sommerville, Cascadilla Press, pp. 423-431.

- Nishizeki, Takao y Md. Saidur Rahman. 2004. *Planar graph drawing*. Singapur, World Scientific Publishing Co.
- Nishizeki, Takao y Norishige Chiba. 1988. *Planar graphs: Theory and algorithms*. Amsterdam, North Holland.
- Nunkesser, Mark y Daniel Sawitski. 2005. “Block models”. En: U. Brandes y T. Erlebach (compiladores), *Op. cit.*, pp. 253-292.
- Nustad, Knut. 2003. “Considering global/local relations: Beyond dualism”. En: T. Eriksen (compilador), *Op.cit.*, pp. 122-137.
- Nystuen, John D. 1966. “Effects of boundary shape and the concept of local convexity”. *Discussion Paper No. 10*, Michigan Inter-University Community of Mathematical Geographers, Department of Geography, University of Michigan
- Nystuen, John y Michael F. Dacey. 1961. “A Graph Theory Interpretation of Nodal Regions”. *Papers and Proceedings of the Regional Science Association*, 7: 29-42.
- O’Keefe, John y Lynn Nadel. 1978. *The Hippocampus as a Cognitive Map*. Oxford, Clarendon Press.
- Olavarria, María Eugenia. 2002. “De la casa al laboratorio: La teoría del parentesco hoy día”. *Alteridades*, 12(24) : 99-116.
- Oliver, Roland. 1975. *Africa in the Iron Age: c.500 BC-1400 AD*. Cambridge, Cambridge University Press.
- O’Neill, Michael J. 1991. “Evaluation of a conceptual model of architectural legibility”. *Environment and Behavior*, 23(3): 259-284.
- Onnela, Jukka-Pekka, Jari Saramäki, Jörkki Hyvönen, Gábor Szabó, David Lazer, Kimmo Kaski, János Kertész y Albert-László Barabási. 2006. “Structure and tie strengths in mobile communication networks”. <http://arxiv.org/abs/physics/0610104>. Visitado en mayo de 2009.
- Onnela, Jukka-Pekka, Jörkki Hyvönen, Jari Saramäki, Kimmo Kaski, János Kertész, Gábor Szabó y Albert-László Barabási. 2005. “Weak links and strong cliques in social networks”. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. [http://www.cabdyn.ox.ac.uk/complexity\\_PDFs/Onnela-Abstract-22-07-05-CABDyN.pdf](http://www.cabdyn.ox.ac.uk/complexity_PDFs/Onnela-Abstract-22-07-05-CABDyN.pdf).
- Ore, Øystein. 1960. *The four-color problem*. Nueva York, Academic Press.
- Ore, Øystein. 1962. *Theory of graphs*. Providence, American Mathematical Society.
- Ore, Øystein. 1990. *Graphs and their uses*. Washington, DC, The Mathematical Association of America.
- Osgood, Charles, George Suci y Percy Tannembaum. 1957. *The measurement of meaning*. Urbana, University of Illinois Press.
- Osipenko, George. 2007. *Dynamical systems, graphs, and algorithms*. Berlín, Heidelberg y Nueva York, Springer.
- Ottenberg, Simon. 1971. Revisión de J. Clyde Mitchell (compilador), *Social networks in urban situations*. *American Anthropologist*, 73: 946-948.
- Ottenheimer, Martin. 2001. “Relativism in kinship analysis”. En: Richard Feinberg y Martin Ottenheimer, *The cultural analysis of kinship: The legacy of David M. Schneider*. Urbana, University of Illinois Press, pp. 118-130.
- Otterbacher, Jahna, Güneş Erkan y Dragomir Radev. 2008. “Biased LexRank: Passage retrieval using random walks with question-based priors”. *Information Processing and Management*, 45(1): 42-54. <http://clair.si.umich.edu/~radev/papers/blrj08.pdf>. Visitado en abril de 2010.

- Ouyang, Wu, Haozhong Cheng, Xiubin Zhang, Liangzhong Yao y Masoud Bazargan. 2010. “Distribution Network Planning Considering Distributed Generation by Genetic Algorithm Combined with Graph Theory”. *Electric Power Components and Systems*, 38(3): 325-339.
- Owens, Jonathan. 1988. *The Foundations of Grammar: An Introduction to Mediaeval Arabic Grammatical Theory*. Amsterdam, Benjamins.
- Özbilgin, Mustafa y Ahu Tatli. 2005. “Review essay: Understanding Bourdieu’s contribution to organization and management studies”. *Academy of Management Review*, 30(4): 855-877.
- Pach, János (compilador). 2004. *Graph drawing. 12<sup>th</sup> International Symposium, GD 2004*, Nueva York, 29 de setiembre al 2 de octubre. Berlín, Heidelberg y Nueva York, Springer.
- Paczuski, Maya. 2005. “Networks as renormalized models for emergent behavior in physical systems”, <http://arxiv.org/abs/physics/0502028v1>. Visitado en mayo de 2009.
- Páez, Antonio, Ron Buliung, Julie Le Gallo y Sandy Dall’erba (compiladores). 2010. *Progress in spatial analysis: Methods and applications*. Berlín y Nueva York, Springer.
- Pala, Gergely, Imre Derényi, Illés Farkas y Tamás Vicsek. 2005. “Uncovering the overlapping community structure of complex networks in nature and society”. <http://it.arxiv.org/abs/physics/0506133v1>. Visitado en mayo de 2009.
- Palioras, Georgios, Vangelis Karkaletsis y Constantine Spyropoulos (compiladores). 2001. *Machine learning and its applications*. Berlín-Heidelberg-Nueva York, Springer-Verlag.
- Pang, Bo y Lillian Lee. 2004. “A sentimental education: Sentiment analysis using subjectivity summarization based on minimum cuts”. En: *Proceedings of the 42<sup>nd</sup> Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL’04)*, Barcelona, Julio, Main Volume, pp. 271-278.
- Papadimitriou, Christos y Kenneth Steiglitz. 1998. *Combinatorial optimization: Algorithms and complexity*. Mineola, Dover Publications,
- Park, Juyong, Oscar Celma, Markus Koppenberger, Pedro Cano y Javier Buldú. 2006. “The social network of contemporary popular musicians”. arXiv:physics/0609229v1, <http://arxiv.org/pdf/physics/0609229>. Visitado en abril de 2010.
- Patel, Jagdish y Campbell Read. 1982. *Handbook of the normal distribution*. Nueva York, Marcel Dekker, Inc.
- Paul, Christophe y Michel Habib (compiladores). 2010. *Graph-theoretic concepts in computer science*. Berlín y Heidelberg, Springer Verlag.
- Peletz, Michael. 1995. “Kinship studies in late twentieth-century anthropology”. *Annual Review of Anthropology*, 24: 343-372.
- Pelto, Pertti y Gretel Pelto. 1978. *Anthropological research*. 2<sup>a</sup> edición, Cambridge, Cambridge University Press.
- Penn, Alan. 2003. “Space syntax and spatial cognition: Or why the axial line?”. *Environment and behavior*, 35: 30-65.
- Penn, Kim y Alan Penn. 2004. “Linking the spatial syntax of cognitive maps with the spatial syntax of the environment”. *Environment and Behavior*, 36: 486-504.
- Peper, Ferdinand, Hiroshi Umeo, Nobuyuki Matsui y Teijiro Isokawa (compiladores). 2010. *Natural computing. 4<sup>th</sup> International Workshop on Natural Computing, Himeji, Japan, September 2000*. Tokyo, Springer.
- Peponis, John, Eleni Hadjinicolaou, C. Livieratos y D. A. Fatouros. 1989. “The spatial core of urban culture”. *Ekistics* 56(334-335): 43-55.
- Percival, W. Keith. 1990. “Reflections on the history of dependency notions in linguistics”. *Historiographia Linguistica*, 17: 29-47.

- Perdikogianni, Irini. 2003. "Heraklion and Chania: A study of the evolution of their spatial and functional patterns". *4<sup>th</sup> International Space Syntax Symposium*. Londres, Bartlett School of Graduate Studies, University College London. 19(1): 19.20.
- Pereira, Francisco Baptista y Pedro Tavares (compiladores). 2009. *Bio-inspired algorithms for the vehicle routing problem*. Berlín y Heidelberg, Springer.
- Pérez-Taylor, Rafael. 2006. *Anthropologias: Avances en la complejidad humana*. Buenos Aires, Editorial Sb.
- Perkal, Julian. 1958. "O Długości Krzywych Empirycznych". *Zastosowania Matematyki*, 3: 257-286; traducido en 1966 por W. Jackowski como "On the length of empirical curves", *Discussion Paper No. 10*, Michigan Inter-University Community of Mathematical Geographers.
- Perline, Richard. 2005. "Strong, weak and false inverse power laws". *Statistical Science*, 20(1): 68-88
- Petruszewycz, Micheline. 1973. "L'histoire de la loi d'Estoup-Zipf: Documents". *Mathématiques et sciences humaines*, 44(3): 41-56
- Peusner, Leonardo. 2002. "A graph topological representation of melody scores". *Leonardo Music Journal*, 12: 33-40.
- Pikovsky, Arkady, Michael Rosenblum y Jürgen Kurths. 2002. *Synchronization: A universal concept in nonlinear science*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Pinzón Castaño, Carlos Ernesto, Rosa Suárez Prieto y Gloria Garay Ariza. 2004. *Mundos en red: La cultura popular frente a los retos del siglo XXI*. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia.
- Platt, Jennifer. 1969. "Some problems in measuring the jointness of conjugal role relationship". *Sociology*, 3(3): 287-297.
- Plimpton, Christine L. y Fekri A. Hassan. 1987. "Social space: A determinant of house architecture". *Environment and Planning B*, 7: 439-449.
- Pollatschek, Moshe y Yehuda T. Radday. 1981. "Vocabulary richness and concentration in Hebrew biblical literature". *Association for Literary and Linguistic Computing Bulletin*, 8: 217-231.
- Pólya, György. 1954. *Mathematics and plausible reasoning: vol. 1, Induction and analogy in mathematics*. Princeton, Princeton University Press.
- Pólya, György. 1957. *How to solve it: A new aspect of mathematical method*. 2<sup>a</sup> edición, Princeton, Princeton University Press.
- Pólya, György y R. C. Read. 1987. *Combinatorial enumeration of groups, graphs, and chemical compounds*. Nueva York-Berlín-Heidelberg, Springer-Verlag..
- Pont, Jean-Claude. 1974. *La topologie algébrique des origines à Poincaré*. París, Presses Universitaires de France.
- Ponzetti, James (editor). 2003. *International Encyclopedia of Marriage and Family*. 4 volúmenes. Nueva York, Macmillan Reference USA / Thomson-Gale.
- Porqueres i Gené, Enric. 2008. *Genealogía y antropología: Los avatares de una técnica de estudio*. Buenos Aires, Ediciones del Puerto.
- Porta, Sergio, Paolo Crucitti y Vito Latora. 2006a. "The network analysis of urban streets: A primal approach". <http://arxiv.org/abs/physics/0506009>. Visitado en abril de 2009.
- Porta, Sergio, Paolo Crucitti y Vito Latora. 2006b. "The network analysis of urban streets: A dual approach". *Physica A: Statistical and Theoretical Physics*, 369: 853-866.

- Portugali, Juval. 2009. "Self-organization and the city". En: R. Meyers (compilador), *Op. cit.*, pp. 7953-7991.
- Potter, James. 1998. "The structure of open space in late prehistoric settlements in the Southwest". En: K. A. Spielmann (compilador), *Migration and reorganization: The Pueblo IV period in the American Southwest*. Anthropological Research Paper 51, Tempe, Arizona State University.
- Pound, Christopher. 1995. "Imagining in-formation: The complex disconnections of computer networks". En: G. Marcus (compilador), *Technoscientific imaginaries: Conversations, profiles, and memoirs*. Chicago y Londres, The University of Chicago Press, pp. 527-547.
- Pressing, Jeff. 1983. "Cognitive isomorphism between pitch and rhythm in world musics: West Africa, The Balkans, and Western tonality". *Studies in music*, 17: 38-61.
- Price, Derek J. de Solla. 1976. "A general theory of bibliometric and other cumulative advantage processes". *Journal of the American Society for Information Science*, 27: 292-306.
- Price, Frances. 1981. "Only connect? Issues in charting social networks". *Sociological Review*, n. s., 29: 283-312.
- Prossinger, Hermann. 2005. "Problems with landmark-based morphometrics for fractal outlines: The case of frontal sinus ontogeny". En: Dennis Slice (compilador), *Modern morphometrics in physical anthropology*. Nueva York, Kluwer Academic/Plenum Publishers, pp. 167-183.
- Purchase, Helen C. 1997. "Which aesthetic has the greatest effect on human understanding?". En: G. Di Battista (compilador), *Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Symposium on Graph Drawing (GD'97)*, vol. 1353, Lecture Notes in Computer Science, Springer, pp. 248-261.
- Quine, Willard van Orman. 1976. *The ways of paradox and other essays*. Cambridge (USA), Harvard University Press.
- Quinlan, Robert y Edward Hagen. 2008. "New genealogy: It's not for kinship any more". *Field methods*, 20(2): 129-154.
- Quirós, Guillermo. 2009. *Fundadores y descendientes: Lazos de sangre, relaciones económicas y sucesiones políticas*. Buenos Aires, Editorial Sb.
- Rabinow, Paul y William Sullivan. 1987. "The interpretive turn: A second look", en P. Rabinow y W. Sullivan (compiladores), *Interpretive social science: A second look*. Berkeley, University of California Press, pp. 1-30.
- Rachev, Svetlozar T. 2003. *Handbook of heavy tailed distributions in finance*. Amsterdam, Elsevier/North Holland.
- Radcliffe-Brown, Alfred Reginald. 1940. "On social structure". *Presidential Address. The Journal of the Anthropological Institute of Great Britain and Ireland*, 70(1): 1-12.
- Radcliffe-Brown, Alfred Reginald. 1965 [1952]. *Structure and function in primitive society*. Nueva York, Free Press/Macmillan.
- Radev, Dragomir. 2004. "Weakly supervised graph-based methods for classification". *Technical Report CSE-TR-500-04*, University of Michigan. Department of Electrical Engineering and Computer Science. <http://clair.si.umich.edu/~radev/papers/csetr500-04.pdf>. Visitado en abril de 2010.
- Radev, Dragomir, Mark Thomas Joseph, Bryan Gibson y Pradeep Muthukrishnan. 2009. "A bibliometric and network analysis of the field of computational linguistics". *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, <http://clair.si.umich.edu/~radev/papers/biblio.pdf>. Visitado en abril de 2010.

- Radev, Dragomir y Rada Mihalcea. 2008. “Networks and natural language processing”. *AI Magazine*, <http://clair.si.umich.edu/~radev/papers/aim-rada.pdf>. Visitado en abril de 2010.
- Radons, Günter, Wolfram Just y Peter Häussler (compiladores). 2002. *Collective dynamics of complex and disordered systems*. Berlín-Heidelberg, Springer.
- Radziszowski, Stanisław. 2009. “Small Ramsey numbers” (survey). <http://www.combinatorics.org/Surveys/ds1/sur.pdf>. Visitado en junio de 2010.
- Rana, Sanjay y Jayant Sharma (compiladores). 2006. *Frontiers of geographic information technology*. Berlín y Heidelberg, Springer-Verlag.
- Rao, Calyampudi Radhakrishna, Philip Miller y D. C. Rao (compiladores). 2008. *Handbook of statistics, vol. 27. Epidemiology and medical statistics*. Amsterdam, Elsevier.
- Rapoport, Anatol. 1957. “Contribution to the theory of random and biased nets”. *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 19: 257–277.
- Rappaport, Roy. 1984. *Pigs for the ancestors: Ritual in the ecology of a New Guinea people*. 2<sup>a</sup> edición ampliada, New Haven, Yale University Press.
- Raś, Zbigniew y Alicja Wieczorkowska (compiladores). 2010. *Advances in music information retrieval*. Berlín y Heidelberg, Springer-Verlag.
- Ratti, Carlo. 2004a. “Space Syntax: some inconsistencies”. *Environment and Planning B - Planning and Design*, 31: 487-499.
- Ratti, Carlo. 2004b. “Rejoinder to Hillier and Penn”. *Environment and Planning B - Planning and Design*, 31: 513-516.
- Ravasz, Erzsébet y Albert-László Barabási. 2002. “Hierarchical organization in complex networks”. <http://arxiv.org/abs/cond-mat/0206130>. Visitado en mayo de 2010.
- Ravenstein, Ernst Georg. 1885. “The laws of migration”. *Journal of the Royal Statistical Society*, 48: 167-235.
- Ray, Tapabrata y Kim Meow Liew. 2003. “Society and civilization: An optimization algorithm based on the simulation of social behavior”. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 7(4): 386–396.
- Read, Dwight y Cliffors Behrens. 1990. “KAES: An expert system for the algebraic analysis of kinship terminologies”. *Journal of Quantitative Anthropology*, 2: 353-393.
- Read, Dwight. 2001. “Formal analysis of kinship terminologies and its relationship to what constitutes kinship”. *Anthropological Theory*, 1(2): 239-267.
- Reggiani, Aura y Peter Nijkamp (compiladores). 2009. *Complexity and spatial networks: In search of simplicity*. Berlín-Nueva York, Springer.
- Reichardt, Jörg. 2009. *Structure of complex networks*. Berlín-Heidelberg, Springer Verlag.
- Reid, Russell. 1967. “Marriage systems and algebraic group theory: A critique of White’s *An anatomy of kinship*”. *American Anthropologist*, 69(2): 171-178.
- Reilly, William J. 1931. *The law of retail gravitation*. Nueva York, G. P. Putnam & Sons.
- Reis, Antonio Tarcísio, Luiza Vedana y Celina Dittmar. 2007. “An analysis of street robbery and residential burglary through integration of axial lines, segments connectivity and gis”. *Proceedings, 6<sup>th</sup> International Space Syntax Symposium, İstanbul*, pp. 025.1-025.12.
- Renfrew, Colin. 1979. *Investigations in Orkney*. Londres, Society of Antiquaries.
- Renfrew, Colin y Gene Sterud. 1969. “Close-proximity analysis: A rapid method for the ordering of archaeological materials”. *American Antiquity*, 34: 265-277.

- Rényi, Alfréd. 1964. “On an extremal property of the Poisson process”. *Annals of the Institute of Statistical Mathematics*, Tokyo, 16: 129–133.
- Reynoso, Carlos. 1986a. *Teoría, historia y crítica de la antropología cognitiva*. Buenos Aires, Búsqueda-Yuchán.
- Reynoso, Carlos. 1986b. “De la cibernécdoque a la sistemántica: Usos retóricos y fetichistas de la teoría de sistemas en antropología”. Segundo Congreso Argentino de Antropología Social, Buenos Aires, 6 al 9 de agosto. <http://carlosreynoso.com.ar/de-la-cibernecdoque-a-la-sistemantica-usos-retociso-y-fetichistas-de-la-teoria-de-sistemas-en-antropologia-1986/>. Visitado en enero de 2011.
- Reynoso, Carlos. 1991a. “Seis nuevas razones lógicas para desconfiar de Lévi-Strauss”. *Revista de Antropología*, a. VI, n° 10, pp. 3-17.
- Reynoso, Carlos. 1991b. “Antropología: Perspectivas para después de su muerte”. *Publicar*, 1(1): 13-30.
- Reynoso, Carlos. 1991c. *Antropología y programación lógica: Una propuesta sistemática*. Texto inédito. <http://carlosreynoso.com.ar/antropologia-y-programacion-logica-1991/>. Visitado en noviembre de 2010.
- Reynoso, Carlos. 1998. *Corrientes en antropología contemporánea*. Buenos Aires, Biblos.
- Reynoso, Carlos. 1998. *De Edipo a la máquina cognitiva: Introducción crítica a la antropología psicológica*. Buenos Aires, El Cielo por Asalto. Disponible en línea en <http://carlosreynoso.com.ar>.
- Reynoso, Carlos. 2000. *Apogeo y decadencia de los estudios culturales*. Barcolna, Gedisa.
- Reynoso, Carlos. 2006a. *Complejidad y Caos: Una exploración antropológica*. Buenos Aires, Editorial Sb.
- Reynoso, Carlos. 2006b. *Antropología de la música. De los géneros tribales a la globalización. Vol.II: Teorías de la complejidad*. Buenos Aires, Editorial Sb.
- Reynoso, Carlos. 2008. *Corrientes teóricas en antropología: Perspectivas desde el Siglo XXI*. Buenos Aires, Editorial Sb.
- Reynoso, Carlos. 2009. *Modelos o metáforas: Crítica del paradigma de la complejidad de Edgar Morin*. Buenos Aires, Editorial Sb.
- Reynoso, Carlos. 2010. *Análisis y diseño de la ciudad compleja: Perspectivas desde la antropología urbana*. Buenos Aires, Editorial Sb.
- Reynoso, Carlos. Sin fecha. “Lévi-Strauss, Kemeny-Snell-Thompson y el matrimonio Kariera”. <http://carlosreynoso.com.ar/matrimonio-kariera/>. Visitado en julio de 2009.
- Reynoso, Carlos y Damián Castro. 1994. “VB-GIS. A GIS specifically designed for Archaeology”. En: Ian Johnson (editor), *Methods in the Mountains, Proceedings of the UISPP Commission IV Meeting, Mount Victoria, Australia, Sydney University Archaeological Methods Series #3*, pp.135-142.
- Reynoso, Carlos y Eduardo Jezierski. 2002. “A genetic programming problem solver for Archaeology”. *Archaeological Informatics: Pushing the envelope*. CAA 2001, Visby, pp. 507-510.
- Richards, William y Andrew Seary. 1997. “Introduction to eigen analysis of networks”. INSNA Sunbelt XVII. San Diego, febrero, <http://www.sfu.ca/~richards/Pages/wdr97.htm>. Visitado en abril de 2009.
- Richardson, Lewis Fry. 1948. “Variation of the frequency of fatal quarrels with magnitude”. *Journal of the American Statistical Association*, 43: 523-546.
- Richardson, Lewis Fry. 1961. “The problem of contiguity: An appendix of statistics of deadly quarrels”. *General System Yearbook*, 6: 139-187.

- Richardson, Lewis Fry. 1988 [1946]. “Mathematics of war and foreign politics”. En: James R. Newman (compilador), *The world of mathematics*. Vol. II, Redmond, Tempus Books-Microsoft Press, pp. 1215-1228.
- Riolo, Rick, Terence Soule y Bill Worzel. 2007. *Genetic programming theory and practice V*. Nueva York, Springer Science+Business Media.
- Rivers, William Halse Rivers. 1900, “A genealogical method of collecting social and vital statistics”. *The Journal of the Anthropological Institute of Great Britain and Ireland*, 30: 74-82.
- Rivers, William Halse Rivers. 1910. “The genealogical method of anthropological inquiry”. *Sociological Review*, 3: 1-12. Reimpreso como *Bobbs-Merrill Reprint Series in the Social Sciences* n° A-190.
- Robb, Matthew H. 2007. “The Spatial Logic of Zacuala, Teotihuacan”. *6<sup>th</sup> International Space Syntax Symposium*. İstanbul, Bartlett School of Graduate Studies, University College London. 062.1-062.16.
- Roberts, Fred S. 1973. “Building and analyzing an energy demand signed digraph”. *Environment and Planning*, 5: 199-221.
- Roberts, Fred S. 1976. *Discrete mathematical models, with applications to social, biological and environmental problems*. Englewood Cliffs, Prentice-Hall.
- Roberts, Fred S. 1978. *Graph theory and its applications to problems of society*. Filadelfia, SIAM. Society for Industrial and Applied Mathematics.
- Roberts, Fred S. 1984. “Applications of Ramsey theory”. *Discrete applied mathematics*, 9(3): 251-261.
- Roberts, F. S. y T. A. Brown. 1975. “Signed digraphs and the energy crisis”. *American Mathematical Monthly*, 82: 577-594.
- Robertson, A. F. 2002. Revisión de *Africanizing anthropology: Fieldwork, networks, and the making of cultural knowledge in Central Africa*, de Lyn Schumaker. *Canadian Journal of African Studies / Revue Canadienne des Études Africaines*, 36(2): 408-411.
- Robertson, Roland. 1995. “Glocalization: Time-Space and Homogeneity-Heterogeneity”. En: M. Featherstone, S. Lash y R. Robertson (compiladores), *Global Modernities*. Londres, Sage, pp. 25-44.
- Robinson, W. S. 1951. “A method for chronologically ordering archaeological deposits”. *American Antiquity*, 16: 293-301.
- Roethlisberger, Fritz y W. J. Dickson. 1939. *Management and the worker*. Cambridge (USA), Harvard University Press.
- Rogers, Everett M. 1987. “Progress, Problems, and Prospects for Network Research”. *Social Networks*, 9: 285-310.
- Romero, Juan y Penousal Machado (compiladores). 2008. *The art of artificial evolution: A handbook on evolutionary art and music*. Berlín-Heidelberg-Nueva York, Springer.
- Rose, Christine y Kar Germain Ingalls. 1997. *The complete idiot's guide to genealogy*. Nueva York, Alpha Books.
- Rosemberg, Florence. 2006 [2002]. “Redes sociales y complejidad: Una etnografía en una ciudad perdida en la ciudad de México”. En: Rafael Pérez-Taylor (coordinador), *Antropología: Estudios de medio ambiente y urbanismo*. México, D.F., Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 105-128.
- Rosen, Kenneth, John Michaels, Jonathan Gross, Jerrold Grossman y Douglas Shier. 2000. *Handbook of discrete and combinatorial mathematics*. Boca Raton, CRC Press.

- Rosen, Kenneth. 2007. *Discrete mathematics and its applications*. 6<sup>a</sup> edición, Nueva York, McGraw Hill.
- Rosen, Robert. 2000. *Essays on life itself*. Nueva York, Columbia University Press.
- Rosnow, Ralph L. 2001. “Experimenter and subject artifacts: Methodology”. En: N. Smelser y P. Baltes (compiladores), *International Encyclopedia of the Social and Behavioral Sciences*, Amsterdam, Elsevier, pp. 5120-5124.
- Rosta, Vera. 2004. “Ramsey theory applications”. *The Electronic Journal of Combinatorics*, diciembre, #DS13.
- Rosvall, Martin, Ala Trusina, Petter Minnhagen y Kim Sneppen. 2005. “Networks and Cities: An Information Perspective”, *Physical Review Letters*, 94: 028701.
- Rota, Gian-Carlo. 1998. “Foreword”. En: F. Bergeron, G. Labelle y P. Leroux (compiladores), *Combinatorial species and tree-like structures*. Cambridge, Cambridge University Press, pp. v-vii.
- Roth, Wolff-Michael, G. Michael Bowen y Domenico Masciotra. 2002. “From thing to sign and ‘Natural object’: Toward a genetic phenomenology of graph interpretation”. *Science, Technology and Human values*, 27(3): 327-356.
- Rothlauf, Franz. 2006. *Representation for genetic and evolutionary algorithms*. Berlín-Heidelberg, Springer Verlag.
- Rouse Ball, Walter William. 1892. *Mathematical recreations and problems of past and present times*. Londres, Macmillan.
- Rozeboom, William W. 1960. “The fallacy of the null hypothesis significance test”. *Psychological bulletin*, 57: 416-428.
- Rozenfeld, Hernán, Shlomo Havlin y Daniel ben-Avraham. 2007. “Fractal and trans-fractal recursive scale-free nets”. *New Journal of Physics*, 9, 175.
- Ruelle, David. 2007. *The mathematician’s brain*. Princeton, Princeton University Press.
- Ryle, Gilbert. 1932. “Systematically misleading expressions”. *Proceedings of the Aristotelian Society*, XXXII: 139-170.
- Rylko-Bauer, Barbara, Merrill Singer y John Willigen. 2006. “Reclaiming applied anthropology: Its past, present, and future”. *American Anthropologist*, 108(1): 178-190.
- Sageman, Marc. 2004. *Understanding terror networks*. Filadelfia, University of Pennsylvania Press.
- Sageman, Marc. 2008. *Leaderless Jihad: Terror networks in the twenty-first century*. Filadelfia, University of Pennsylvania Press.
- Sahbaz, Ozlem y Bill Hillier. 2007. “The story of crime: functional, temporal and spatial tendencies in street robbery”. *Proceedings, 6<sup>th</sup> International Space Syntax Symposium, İstanbul*, pp. 022.1-022.14.
- Sahlins, Marshall. 1988 [1976]. *Cultura y razón práctica: Contra el utilitarismo en la teoría antropológica*. Barcelona, Gedisa.
- Sahlins, Marshall. 1993. *Waiting for Foucault*. Cambridge, Prickly Pear Press.
- Sahlins, Marshall. 1998. “Two or three things that I know about culture”. *Journal of the Royal Anthropological Institute*, 5: 399-421.
- Sahlins, Marshall. 2002. *Waiting for Foucault, still. Being after-dinner entertainment by Marshall Sahlins*. Chicago, Prickly Paradigm Press.
- Saichev, Alexander, Yannick Malevergne y Didier Sornette. 2010. *Theory of Zipf’s law and beyond*. Berlín y Heidelberg, Springer.

- Sakoda, James. 1971. “The checkerboard model of social interaction”. *Journal of Mathematical Sociology*, 1: 119-132.
- Salkind, Neil y Kristin Rasmussen (editores). 2007. *Encyclopedia of measuring and statistics*. Thousand Oaks, Sage.
- Salzman, Philip Carl. 1994. “The lone stranger in the heart of darkness”. En: Robert Borofsky (compilador), *Assessing cultural anthropology*. Nueva York, McGraw-Hill, pp. 29-39.
- Salzman, Philip Carl. 2002. “On reflexivity”. *American Anthropologist*, 104(3): 805-813.
- Sanjek, Roger. 2002. “Network analysis”. En: Alan Barnard y Jonathan Spencer (compiladores), *Encyclopedia of social and cultural anthropology*. Nueva York, Routledge.
- Sarker, Ruhud, Masoud Mohammadian y Xin Yao (compiladores). 2003. *Evolutionary optimization*. Nueva York, Kluwer Academic Publishers.
- SAS. 2002. Manifiesto de la Society for Anthropological Sciences, <http://hcs.ucla.edu/new-orleans-2002/sas-press.htm>. Visitado el 10 de enero de 2008.
- Saussure, Ferdinand de. 1983 [1916]. *Curso de lingüística general*. Edición crítica preparada por Tullio de Mauro. Madrid, Alianza.
- Scales, T. Laine y Renee H. Blanchard. 2003. “Family diagrammatic assessment: Ecomap”. En: James Ponzetti (editor), *Op. cit.*, pp. 579-581.
- Scellato, Salvatore, Alessio Cardillo, Vito Latora y Sergio Porta. 2005. “The backbone of a city”. arXiv:physics/0511063v1, <http://www.cl.cam.ac.uk/~ss824/papers/backbone.pdf>. Visitado en abril de 2010.
- Scellato, Salvatore, Luigi Fortuna, Mattia Frasca, Jesús Gómez-Gardeñes y Vito Latora. 2009. “Traffic optimization in transport networks based on local routing”. <http://arxiv.org/abs/0901.1078v1>. Visitado en mayo de 2010.
- Scheffler, Harold. 1973. “Kinship, descent, and alliance”. En: J. Honigmann (compilador), *Op. cit.*, pp. 747-796.
- Schelling, Thomas. 1969. “Models of Segregation”. *The American Economic Review*, 59(2) : 488-493, Mayo.
- Schenker, Adam, Horst Bunke, Mark Last y Abraham Kandel. 2005. *Graph-theoretic techniques for Web content mining*. Singapur, World Scientific.
- Schneider, David. 1965. “Some Muddles in the Models: Or How the System Really Works”. En: Michael Banton (compilador), *The Relevance of Models for Social Anthropology*. ASA Monograph N° 1, Londres, pp. 25-85.
- Schneider, David. 1968. *American kinship: A cultural account*. Chicago, University of Chicago Press.
- Schneider, David. 1984. *A critique of the study of kinship*. Ann Arbor, University of Michigan Press.
- Schneider, David y George C. Homans. 1955. “Kinship Terminology and the American Kinship System”. *American Anthropologist*, 57: 1194-208.
- Schneider, Jo Anne. 2006. “Anthropological relevance and social capital”. *Anthropology News*, Marzo, p. 4.
- Scheinerman, Edward y Daniel Ullman. 1997. *Fractional graph theory: A rational approach to the theory of graphs*. Nueva York, John Wiley and Sons.
- Schroeder, Manfred. 1990. *Fractals, chaos, power laws: Minutes from an infinite paradise*. Nueva York, W. H. Freeman and Company.
- Schuster, Félix. 1982. *Explicación y predicción*. Buenos Aires, CLACSO.

- Schwartz, Joseph E. 1977. "An examination of CONCOR and related methods fo blocking sociometric data". En: D. R. Heise (compilador), *Sociological methodology 1977*. San Francisco, Jossey-Bass, pp. 255-282.
- Schwartz, Jean-Luc, Louis-Jean Böe, Nathalie Vallée y Christian Abry. 1997. "The dispersion-focalization theory of vowel systems". *Journal of Phonetics*, 25: 255-286.
- Schweizer, Thomas. 1996. "Reconsidering social networks: Reciprocal gift exchange among the !Kung". *Quantitative Anthropology*, 6(1-4): 147-170.
- Schweizer, Thomas. 1997. "Embeddedness of ethnographic cases: A social networks perspective". *Current Anthropology*, 38(5): 739-760.
- Schweizer, Thomas y Douglas White (compiladores). 1998. *Kinship, networks, and exchange*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Schwimmer, Erik. 1974. "Objects of mediation: myth and praxis". En: Ino Rossi (compilador), *The unconscious in culture*. Nueva York, Dutton, pp. 209-237.
- Scott, John. 2000. *Social network analysis: A handbook*. 2<sup>a</sup> edición, Thousands Oaks, Sage Publications.
- Scruton, Roger. 1977. *The aesthetics of architecture*. Londres, Methuen.
- Seary, Andrew y William Richards. 2003. "Spectral methods for analyzing and visualizing networks". En: R. Breiger y otros (compiladores), *Op. cit.*, pp. 209-228.
- Segalen Martine y Claude Michelat. 1991. "L'amour de la généalogie". En: M. Segalen (compiladora), *Jeux de Famille*. París, Presses de CNRS, pp. 193-208.
- Segarra, José Gabriel. 2001. *Vida artificial: Del caos al orden. Guía práctica de la complejidad*. Alzira, Algar Editorial.
- Sen, Ashish y Tony Smith. 1995. *Gravity models of spatial interaction behavior*. Heidelberg, Springer Verlag.
- Serling, Ronald y Daniel Lapsley. 1994. "Rational appraisal of psychological research and the good-enough principle". En: G. Keren y C. Lewis (compiladores), *A handbook for data analysis in the behavioral sciences: Methodological issues*. Hillsdale, Lawrence Erlbaum Associates, pp. 199-228.
- Serrano, María Angeles, Marian Boguñá, Romualdo Pastor-Satorras y Alejandro Vespignani. 2006. "Correlations in complex networks". En: G. Caldarelli y A. Vespignani (compiladores), *Structure and dynamics of complex networks: From information technology to finance and natural science*. Singapur, World Scientific.
- Shapiro, Jason Stuart. 1997. *Fingerprints on the landscape: Space syntax analysis and cultural evolution in the Northern Rio Grande*. Disertación de doctorado, Pennsylvania State University, UMI Dissertation Service.
- Sharp, Nonie. 1993. *Stars of Tagai: The Torres Strait islanders*. Canberra, Aboriginal Studies Press.
- Shekhar, Shashi y Sanjay Chawla. 2003. *Spatial databases*. Englewood Cliffs, Prentice Hall.
- Sheppard, Eric y Robert McMaster (compiladores). 2004. *Scale and geographic inquiry: Nature, society, and method*. Malden, Blackwell.
- Shimizu, Akitoshi. 1991. "On the notion of kinship". *Man*, n. s., 26(3): 377-403.
- Shores, Thomas. 2007. *Applied linear algebra and matrix analysis*. Nueva York, Springer Science+Business Media.
- Shrout, Patrick E. .1997. "Should significance tests be banned? Introduction to a special section exploring the pros and cons". *Psychological Science*, 8(1): 1-2.

- Shu, Chih-Feng. 2009. "Spatial Configuration of Residential Area and Vulnerability of Burglary: Case Studies from UK and Taiwan". *Proceedings, 7<sup>th</sup> International Space Syntax Symposium, Estocolmo*, pp. 102.1:102.15.
- Siarry, Patrick y Zbigniew Michalewicz (compiladores). 2008. *Advances in metaheuristics for hard optimization*. Berlín-Heidelberg-Nueva York, Springer.
- Sichel, H. S. 1975. "On a distribution law for word frequencies". *Journal of the American Statistical Association*, 70(351): 542-547.
- Siersma, Gerard y Diptesh Ghosh. 2010. *Networks in action*. Nueva York, Springer.
- Sigman, Mariano y Guillermo A. Cecchi. 2002. "Global organization of the wordnet lexicon". *Proceedings of the National Academy of Science*, 99(3): 1742-1747
- Simmel, Georg. 1971 [1908]. *On individuality and social forms*. Chicago, University of Chicago Press.
- Simmel, Georg. 1966 [1922]. *Conflict and the web of group affiliations*. Nueva York, Free Press.
- Simon, Herbert. 1955. "On a class of skew distribution functions". *Biometrika*, 42(3-4): 425–440.
- Simon, Herbert. 1987. "Giving the soft sciences a hard sell". *Boston Globe*, 3 de mayo, A23.
- Singer Merrill, Tom Stopka, Cara Siano, Kristen Springer, George Barton, Kaveh Khoshnood, April Gorry de Puga y Robert Heimer. 2000. "The social geography of AIDS and hepatitis risk: qualitative approaches for assessing local differences in sterile syringe access among injection drug users". *American Journal of Public Health* 90: 1049-1056.
- Sipser, Michael. 2006. *Introduction to the theory of computation*. 2a edición, Boston, Thomson Learning.
- Skandera, Mark. 2003. *Introduction to combinatorics and graph theory*. Texto en preparación, <http://www.lehigh.edu/~mas906/papers/cv.ps>. Visitado en julio de 2009.
- Smelser, Neil y Paul Baltes (compiladores). 2001. *International Encyclopedia of the Social and Behavioral Sciences*. Oxford, Elsevier.
- Smith, Adam. 1996. *Imperial archipelago: The making of the Urartian landscape in Southern Transcaucasia*. Disertación de doctorado, Universidad de Arizona, Ann Arbor, UMI Dissertation Services.
- Smith, Adam. 1999. "The making of an Urartian landscape in Southern Transcaucasia: A study of political architectonics". *American Journal of Archaeology*, 103(1): 45-71.
- Smola, Alex y S. V. N. Vishwanathan. 2008. *Introduction to machine learning*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Snijders, Tom A. B., Christian Steglich, Michael Schweinberger y Mark. Huisman. 2007. *Manual for Siena*, v. 3, Department of Sociology, University of Groningen.
- Soares, M. Medeiros, G. Corso y L. S. Lucena. 2005. "The network of syllables in Portuguese". *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 355(2-4): 678-684.
- Solan, Zach, David Horn, Eytan Ruppin y Shimon Edelman. 2005. "Unsupervised learning of natural languages". *Proceedings of National Academy of Sciences*, 102(33): 11629-11634.
- Solé, Ricard, Bernat Corominas Murtra, Sergi Valverde y Luc Steels. 2005. "Language networks: Their structure, function, and evolution". *SFI Working papers*, 05-12-042, <http://www.santafe.edu/research/publications/workingpapers/05-12-042.pdf>. Visitado en mayo de 2009.
- Solomonoff, Ray y Anatol Rapoport. 1951. "Connectivity on random nets". *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 13: 107-117.

- Song, Chaoming, Lazaros Gallos, Shlomo Havlin y Hernán Makse. 2007. "How to calculate the fractal dimension of a complex network: The box-covering algorithm". <http://lanl.arxiv.org/abs/cond-mat/0701216v1>. Visitado en abril de 2009.
- Song, Chaoming, Shlomo Havlin y Hernán Makse. 2005. "Self similarity in complex networks". <http://lanl.arxiv.org/abs/cond-mat/0503078v1>. Visitado en abril de 2009.
- Song, Chaoming, Shlomo Havlin y Hernán Makse. 2006. "Origins of fractality in the growth of complex networks". <http://lanl.arxiv.org/abs/cond-mat/0507216v2>. Visitado en abril de 2009.
- Sørensen, Aage Böttger. 1998. "Theoretical Mechanisms and the Empirical Study of Social Processes". En: P. Hedström y R. Swedberg (compiladores), *Social Mechanisms: An Analytic Approach to Social Theory*. Cambridge, Cambridge University Press, pp. 238-266.
- Sornette, Didier. 2006. *Critical phenomena in the natural sciences: Chaos, fractals, selforganization and disorder. Concepts and tools*. 2<sup>a</sup> edición, Berlín-Heidelberg, Springer.
- Sousa, Paulo. 2003. "The fall of kinship: Towards an epidemiological explanation". *Journal of Cognition and Culture*, 3(4): 265-303.
- Sowa, John. 1984. *Conceptual structures: Information processing in mind and machine*. Reading, Addison-Wesley.
- Spencer, Joel. 2000. *The strange logic of random graphs*. Berlín-Heidelberg-Nueva York, Springer Verlag.
- Spencer, Jonathan. 2000. "British social anthropology: A retrospective". *Annual Review of Anthropology*, 29: 1-24.
- Sperber, Dan. 1994. "The modularity of thought and the epidemiology of representations". En: L. A. Hirschfeld y S. A. Gelman (compiladores), *Mapping the mind: Domain specificity in Cognition and Culture*. Nueva York, Cambridge University Press, pp. 39-67.
- Sperber, Dan. 1996. *Explaining culture: A naturalistic approach*. Oxford, Blackwell.
- Sperber, Dan. 2000. "Why memes won't do". En: R. Aunger (compilador), *Darwinizing culture. The status of memetics as a science*. Oxford, Oxford University Press, pp. 163-174.
- Sperber, Dan y Deirdre Wilson. 1986. *Relevance: Communication and cognition*. Oxford, Blackwell.
- Srinivasiengar, C. R. 1967. *The history of ancient Indian mathematics*. Calcutta, The World Press Private Ltd.
- Stack, Carol. 1974. *All our kin*. Nueva York, Harper & Row.
- Stanberry, J. Phillip. 2003. "Family diagrammatic assessment: Genogram". En: J. Ponzetti (editor), *Op. cit.*, pp. 580-583.
- Stapp, Henry. 2007. *Mindful universe: Quantum mechanics and the participating observer*. Berlín-Heidelberg, Springer.
- Stauffer, Dietrich. 2003. "How to convince others? Monte Carlo simulations of the Sznajd model". *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 5(1), arXiv:cond-mat/0307133v1. <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/5/1/4.html>. Visitado en febrero de 2010.
- Stauffer, Dietrich. 2009. "Scaling properties, fractals, and the renormalization group approach to percolation". En: R. Meyers (compilador), *Op. cit.*, pp. 7822-7830.
- Stauffer, Dietrich y Amnon Aharony. 1994. *Introduction to percolation theory*. 2<sup>a</sup> edición, Londres, Taylor and Francis.
- Steadman, Philip. 1983. *Architectural Morphology: An Introduction to the Geometry of Building Plans*. Londres, Pion.

- Stechkin, Boris y Valeriy Baranov. 1995. *Extremal combinatorial problems and their applications*. Dordrecht, Kluwer.
- Sterling, Mary Jane. 2009. *Linear algebra for dummies*. Hoboken, Wiley Publishing.
- Sterling, Theodore. 1959. “Publication decisions and their possible effects on inferences drawn from tests of significance – Or vice versa”. *Journal of the American Statistical Association*, 54: 30-34.
- Sterling, Theodore. 1995. “Publication decisions revisited: The effects of the outcome of statistical tests on the decision to publish and vice versa”. *The American Statistician*, 49(1): 108-112.
- Stevens, Stanley Smith. 1957. “On the psychophysical law”. *Psychological Review*, 64(3): 153-181.
- Steyvers, Mark y Joshua B. Tenenbaum. 2005. “The large-scale structure of semantic networks: Statistical analyses and a model of semantic growth”. *Cognitive Science*, 29(1): 41-78.
- Steyer, Alexandre y Jean-Benoît Zimmermann. 2000. “Self Organised Criticality in Economic and Social Networks: The case of innovation diffusion”. En: Alan Kirman y J.-B. Zimmermann (compiladores), *Economics with Heterogeneous Interacting Agents*. Berlín, Springer, pp. 27-42.
- Steyer, Alexandre y Jean-Benoît Zimmermann. 2000. “Social network evolution: Avalanches and links evolution”. *Social Science Research Network*, [http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=882794](http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=882794). Visitado en mayo de 2009.
- Stillwell, John. 1989. *Mathematics and its history*. Nueva York, Springer.
- Stinchcombe, Arthur. 1978. *Theoretical methods in social history*. Nueva York, Academic Press.
- Stollenwerk, Nico y Vincent Jansen. 2007. “Criticality in epidemiology”. En: B. Blasius y otros (compiladores), *Op. cit.*, pp. 159-188.
- Stone, Linda (compiladora). 2000. *New directions in the study of kinship*. Lanham, Rowman & Littlefield Publishers.
- Stone, Tammy. 2000. “Prehistoric community integration in the Point of Pines region in Arizona”. *Journal of Field Archaeology*, 27(2): 197-208.
- Strang, Gilbert. 1988. *Linear algebra and its applications*. 3<sup>a</sup> edición, South Melbourne, Thomson Learning.
- Strogatz, Steven. 2003. *Sync: The emerging science of spontaneous order*. Nueva York, Hyperion Books.
- Strogatz, Steven. 2009. “Math and the city”. *New York Times*, 19 de mayo.
- Sun, Eric, Itamar Rosen, Cameron Marlow y Thomas Lento. 2009. “Gesundheit! Modeling contagion through Facebook News Feed”. [www.stanford.edu/~esun/ICWSM09\\_ESun.pdf](http://www.stanford.edu/~esun/ICWSM09_ESun.pdf). Visitado en abril de 2010.
- Sun, Wenyu y Ya-Xiang Yuan. 2006. *Optimization theory and methods: Nonlinear programming*. Nueva York, Springer.
- Swadesh, Morris. 1955. “Towards greater accuracy in lexicostatistic dating”. *International Journal of American Linguistics*, 21: 121–137.
- Swartz, David. 1997. *Culture and Power: The Sociology of Pierre Bourdieu*. Chicago, University of Chicago Press.
- Swedberg, Richard. 1990. *Economics and sociology*. Princeton, Princeton University Press.

- Swedberg, Richard. 2000. “Economic sociology”. En: Edgar Borgatta y Rhonda Montgomery (compiladores), *Encyclopedia of Sociology*, 2<sup>a</sup> edición, Nueva York, Macmillan Reference, vol. 2, pp. 731-741.
- Sweetser, Dorrian Apple. 1966. “On the incompatibility of duty and affection: A note on the role of the mother’s brother”. *American Anthropologist*, 68(4): 1009-1013.
- Sweetser, Dorrian Apple. 1967. “Path consistency in directed graphs of social structure”. *American Journal of Sociology*, 73(3): 287-293.
- Tadić, Bosiljka. 2001. “Dynamics of directed graphs: The world wide web”. *Physica A*, 293: 273-284, <http://arxiv.org/pdf/cond-mat/0011442v2>. Visitado en abril de 2010.
- Taieb, Olivier, Félicia Heidenreich, Thierry Baubet y Marie Rose Moro. 2005. “Donner un sens à la maladie: De l’anthropologie médicale à l’épidémiologie culturelle”. *Médecine et maladies infectieuses*, 35: 173-185.
- Taleb, Nassim Nicholas. 2007. *The black swann: The impact of the highly improbable*. Nueva York, Random House.
- Tamassia, Roberto. 1997. “Graph Drawing”. En: J. E. Goodman y J. O’Rourke (compiladores), *Handbook of Discrete and Computational Geometry*. Boca Raton y Nueva York, CRC Press, pp. 815-832.
- Tamassia, Roberto. 1999. “Advances in the theory and practice of graph drawing”. *Theoretical Computer Science*, 217(2): 2335-254.
- Tamassia, Roberto. 2000. “Graph drawing”. En: J.-R. Sack y J. Urrutia (compiladores), *Handbook of computational geometry*. Amsterdam, Elsevier Science, pp. 937-972.
- Tarantola, Albert. 2005. *Inverse problem theory and methods for model parameter estimation*. Filadelfia, SIAM (Society for Industrial and Applied Mathematics).
- Tasgin, Mursel, Amac Herdagdelen y Haluk Bingöl. 2008. “Community detection in complex networks using genetic algorithm”. [http://arxiv.org/PS\\_cache/arxiv/pdf/0711/0711.0491v1.pdf](http://arxiv.org/PS_cache/arxiv/pdf/0711/0711.0491v1.pdf). Visitado en marzo de 2008.
- Tasgin, Mursel. 2004. *Community detection model using Genetic Algorithm in complex networks and its application in real-life networks*. Disertación MS, Estambul, Universidad Boğaziçi,
- Taylor, Howard F. 1970. *Balance in small groups*. Nueva York, Van Norstrand Reinhold.
- Taylor, Peter. 2000. “What ever happened to those bridges?”. Canberra, Australian Mathematics Trust, University of Canberra. Mathematical Competition, <http://www.amt.canberra.edu.au/koenigs.html>. Visitado en abril de 2010.
- Teitelbaum, Tomás, Pablo Balenzuela, Pedro Cano y Javier Martín Buldú. 2008. “Community structures and role detection in music networks”. arXiv:0809.4418v1, <http://arxiv.org/pdf/0809.4418v1>. Visitado en abril de 2010.
- Thaler, Ulrich. 2005. “Narrative and Syntax: new perspectives on the Late Bronze Age palace of Pylos, Greece”. *5<sup>th</sup> International Space Syntax Symposium*. Delft, Bartlett School of Graduate Studies, University College London, pp. 323-338.
- Theodoridis, Sergios y Konstantinos Koutroumbas. 2003. *Pattern recognition*. 2<sup>a</sup> edición. Amsterdam, Elsevier.
- Thom, René. 1992. “Determinismo e innovación”. En: J. Wagensberg (compilador), Op. Cit., pp. 63-78.
- Thomas, David Hurst. 1976. *Figuring anthropology*. Nueva York, Holt, Rinehart & Winston.
- Thurman, Blake. 1980. “In the office: Networks and coalitions”. *Social Networks*, 2(1): 47-63.

- Thurstone, Louis Leon. 1928. “Attitudes can be measured”. *American Journal of Sociology*. 33: 529-554.
- Ting, I-Hsien, Hui-Ju Wu y Tien-Hwa Ho (compiladores). 2010. *Mining and analyzing social networks*. Berlín y Heidelberg, Springer Verlag.
- Tinkler, Keith, John Nystuen y Michael Dacey. 1988. *Nystuen-Dacey nodal analysis*. Ann Arbor, Institute of Mathematical Geography, Monograph Series #7.
- Tjon Sie Fat, Franklin. 1980. “On mathematics in structural theory”. *Current Anthropology*, 21(3): 386-391.
- Tjon Sie Fat, Franklin. 1997. “On the formal analysis of ‘Dravidian’, ‘Iroquois’, and ‘generational’ varieties of nearly associative combinations”. En: M. Godelier, T. R. Trautmann y F. E. Tjon Sie Fat (compiladores), *Transformations of kinship*. Washington, Smithsonian Institution Press, pp. 59-93.
- Toker, Umut y Zeynep Genç Toker. 2003. “Family structure and spatial configurationin Turkish house form in Anatolia from late nineteenth century to late twentieth century”. *Proceedings, 4<sup>th</sup> International Space Syntax Symposium*, Londres, pp. 55.1-55.16.
- Tomassini, Marco. 2005. *Spatially structured evolutionary algorithms: Artificial evolution in space and time*. Berlín-Heidelberg, Springer Verlag.
- Topçu, Mehmet y Ayşe Sema Kubat. 2007. “Morphological comparison of two historical anatolian towns”. *Proceedings, 6<sup>th</sup> International Space Syntax Symposium, Istanbul*, pp. 028.1-028.12.
- Toth, Paolo y Daniele Vigo (compiladores). 2002. *The vehicle routing problem*. Filadelfia, SIAM (Society for Industrial and Applied Mathematics).
- Toussaint, Godfried. 2003. “Classification and phylogenetic analysis of african ternary rhythms timelines”. *Proceedings of BRIDGES: Mathematical connections in art, music and science*. Universidad de Granada, 23 al 26 de julio, pp. 25-36.
- Toussaint, Godfried. 2004. “Computational geometric aspects of musical rhythm”. *Abstracts of the 14<sup>th</sup> Annual Fall Workshop on Computational Geometry*, Cambridge (USA), 19-20 de noviembre, pp. 47-48.
- Toussaint, Godfried. 2005a. “The geometry of musical rhythm”. *Research report*. School of Computer Science, McGill University.  
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=08EA24EA9A303422B8E7A00E8CBE0DAC?doi=10.1.1.61.9777&rep=rep1&type=url&i=0>. Visitado en julio de 2009.
- Toussaint, Godfried. 2005b. “The Euclidean Algorithm Generates Traditional Musical Rhythms”. *Proceedings of BRIDGES: Mathematical Connections in Art, Music and Science*. Banff, Alberta, 31 de julio al 3 de agosto, pp. 47-56.
- Toutanova, Kristina, Christopher D. Manning y Andrew Y. Ng. 2004. “Learning random walk models for inducing word dependency distributions”. En: *ICML '04: Proceedings of the Twenty-First International Conference on Machine Learning*, Nueva York, p. 103-111.
- Travers, Jeffrey y Stanley Milgram. 1969. “An experimental study of the Small World poblem”. *Sociometry*, 32(4): 425-44.
- Trostle, James. 2005. *Epidemiology and culture*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Trostle, James y Johannes Sommerfeld. 1996. “Medical anthropology and epidemiology”. *Annual Review of Anthropology*, 25: 253-274.
- Tucker, Alan C. 1973. “Perfect graphs and an application to optimizing municipal services”. *SIAM Review*, 15(3): 585-590.

- Tucker, Alan C. y L. Bodin. 1976. “A model for municipal street-sweeping operations”. *Case Studies in Applied Mathematics*. Washington DC, Committee on the Undergraduate Program in Mathematics, Mathematical Association of America.
- Tufte, Edward. 1990. *Envisioning information*. Cheshire, Graphic Press.
- Tufte, Edward. 1997. *Visual explanation: Images and quantities, evidence and narrative*. Cheshire, Graphics Press.
- Tuncer, Ezgi. 2007. “Perception and intelligibility in the context of spatial syntax and spatial cognition: Reading an unfamiliar place out of cognitive maps”. *Proceedings, 6<sup>th</sup> International Space Syntax Symposium*, İstanbul, 127.01-127.07
- Turán, Paul [Pál]. 1941. “On an extremal problem in graph theory” [en húngaro]. *Matematikai és Fizikai Lapok*, 48: 436-452.
- Turing, Alan. 1937. “On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem”. *Proceedings of the London Mathematical Society*, 42: 230-265. Incluido en R. O. Gandy y C. E. M. Yates (compiladores), *Op. cit.*, 18-53.
- Turner, Alasdair. 2001. “Depthmap: A program to perform visibility graph analysis”. *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Symposium on Space Syntax*, Georgia Institute of Technology.
- Turner, Alasdair. 2007. “UCL DepthMap 7: From isovist analysis to generic spatial network analysis”. En: A. Turner (compilador), *New developments in spatial syntax software*, İstanbul Technical University, pp. 43-51.
- Turner, Alasdair, Maria Doxa, David O’Sullivan y Alan Penn. 2001. “From isovists to visibility graphs: A methodology for the analysis of architectural space”. *Environment and Planning B, Planning and Design*, 28: 103-121.
- Turner, Alasdair y A. Penn. 1999. “Making isovists syntactic: isovist integration analysis”. En: *Proceedings, 2<sup>nd</sup> International Symposium on Space Syntax*, Brasilia.
- Turner, Christopher. 1967. “Conjugal roles and social networks: An examination of an hypothesis”. *Human Relations*, 20(2): 121-130.
- Turner, Stefan. 2009. “Statistical mechanics of complex networks”. En: M. Dehmer y F. Emmert-Streib (compiladores), *Op. cit.*, pp.23-46.
- Turner, Terence. 1990. “On structure and entropy: Theoretical pastiche and the contradictions of ‘structuralism’”. *Current Anthropology*, 31(5): 563-568
- Turner, Victor. 1957. *Schism and Continuity in an African Society: A Study of Ndembu Village Life*. Manchester, Manchester University Press for the Rhodes-Livingstone Institute.
- Turner, Victor. 1974. *Dramas, fields, and metaphors: Symbolic action in human society*. Ithaca, Cornell University Press.
- Tyler, Stephen. 1978. *The said and the unsaid. Mind, meaning and culture*. Nueva York, Academic Press.
- Tymoczko, Thomas. 1979. “The four-color problem and its philosophical significance”. *The Journal of Philosophy*, 76(2): 57-83
- Ucko, Peter y Robert Layton (compiladores). 1999. *The archaeology and anthropology of landscape: Shaping your landscape*. Londres, Routledge.
- Udry, Richard y Mary Hall. 1965. “Marital role segregation and social networks in middle-class middle-aged couples”. *Journal of Marriage and the Family*, 27: 392-395.
- Uzzi, Brian y Jarrett Spiro. 2005. “Collaboration and creativity: The small world problem”. *American Journal of Sociology*, 111(2): 447-504.

- Valdes, L. 1991. "Extremal properties of spanning trees in cubic graphs". *Congressus Numerantium*, 85: 143-160.
- Vanderbei, Robert. 2008. *Linear programming: Foundations and extensions*. 3<sup>a</sup> edición, Nueva York, Springer.
- Van Deursen, W.P.A. 1995. *Geographical Information System and dynamic models*. Disertación de doctorado. Facultad de Ciencias Espaciales, Universidad de Utrecht.
- Van Dyke, Ruth. 1999. "Space syntax analysis at the Chacoan outlier of Guadalupe". *American Antiquity*, 64(3): 461-473.
- Van Leeuwen, Jan. 1990. *Algorithms and complexity*. Amsterdam, Elsevier.
- Vanneschi, Leonardo. 2007. "Investigating problem hardness of real-life applications". En: Rick Riolo, Terence Soule y Bill Worzel (compiladores), *Op. cit.*, pp. 107-124.
- Vannest, Jennifer , Prasanna Karunanayaka, Vincent Schmithorst, Jerzy Szaflarski y Scott Holland. 2009. "Language networks in children: Evidence from functional MRI studies". *American Journal of Roentgenology*, 192, <http://www.ajronline.org/cgi/reprint/192/5/1190>. Visitado en noviembre de 2010.
- Vega-Centeno, Rafael. 2005. *Ritual and architecture in a context of emergent complexity: A perspective from Cerro Lampay, a late archaic site in Central Andes*. Disertación de doctorado, University of Arizona
- Verdon, Michel. 1982. "Where have all the lineages gone? Cattle and descent among the Nuer". *American Anthropologist*, 84(3): 566-579.
- Verdon, Michel. 1983. "Segmentation among the Tiv: A reappraisal". *American Ethnologist*, 10(2): 290-301.
- Vijaya Kumar, Bhagavatula V. K., Abhijit Mahalanobis y Richard Judy. 2005. *Correlation pattern recognition*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Vilenkin, Naum Yakovlevich. 1971. *Combinatorics*. Nueva York, Academic Press.
- Viswanathan, G. M., Sergey Buldyrev, Shlomo Havlin, M. G. E. da Luz, E. P. Raposo y Eugene Stanley. 1999. "Optimizing the Success of Random Searches". *Nature*, 401: 911–914.
- Vitevitch, Michael S. 2006. "Phonological neighbors in a small world (network): What can graph theory tell us about the mental lexicon?". *Departmental Colloquy co-sponsored by the Linguistics and Psychology Departments*, Rice University, 27 de enero.
- Volchenkov, Dimitri y Philippe Blanchard. 2008. "Discovering important nodes through graph entropy encoded in urban space syntax". arXiv:0709.4415v1. <http://arxiv.org/abs/0709.4415>. Visitado en enero de 2011.
- Voss, Richard F. y John Clarke. 1975. "1/f noise in music and speech". *Nature*, 258: 317-318.
- Wade, Peter (compilador). 1996. *Cultural studies will be the death of anthropology*. Manchester, Group for Debates in Anthropology, University of Manchester. <http://www.socialsciences.manchester.ac.uk/disciplines/socialanthropology/research/gdat/documents/1996.pdf>. Visitado en enero de 2011.
- Wagensberg, Jorge (compilador). 1992. *Proceso al azar*. 2<sup>a</sup> edición, Barcelona, Tusquets.
- Walk, Christian. 2000. *Handbook of statistical distributions for experimentalists*. Internal Report, SUF-PFY/96-01, Fysikum, Particle Physics Group, Universidad de Estocolmo.
- Wallace, Anthony F. C. 1965. "Driving to work". En: Melford Spiro (compilador), *Context and meaning in cultural anthropology*. Londres, Collier-Macmillan, pp. 277-296.
- Wallinga, Jacco W., John Edmunds y Mirjam Kretzschmar. 1999. "Perspective: human contact patterns and the spread of airborne infectious diseases". *Trends in Microbiology*, 7: 372-377.

- Wang, Rong-Long y Kozo Okazaki. 2006. “Solving the graph planarization problem using an improved genetic algorithm”. *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences* E89-A(5): 1507-1512.
- Wang, Xiao Fan y Guanrong Chen. 2003. “Complex networks: Small-world, scale-free and beyond”. *IEEE Systems and Circuits Magazine*, primer trimestre, pp. 6-20.
- Warner, William Lloyd. 1930. “Morphology and functions of the Australian Murngin type of kinship (Part I)”. *American Anthropologist*, 32(2): 172-198.
- Warner, William Lloyd. 1931. “Morphology and functions of the Australian Murngin type of kinship (Part II)”. *American Anthropologist*, 33(2): 172-198.
- Wasserman, Stanley y Katherine Faust. 1994. *Social networks analysis: Methods and applications*. Nueva York, Cambridge University Press.
- Watts, Duncan. 2004a. *Six degrees: The science of a connected age*. Londres, Vintage.
- Watts, Duncan. 2004b. “The ‘new’ science of networks”. *Annual Review of Sociology*, 30: 243-270.
- Watts, Duncan y Peter Sheridan Dodds. 2007. “Influentials, networks, and public opinion formation”. *Journal of Consumer Research*, 34: 441-458.
- Watts, Duncan y Steven Strogatz. 1998. “Collective dynamics of ‘smallworld’ networks”. *Nature*, 393(6684): 440–442.
- Watts, Duncan y Peter Sheridan Dodds. 2007. “Influentials, networks, and public opinion formation”. *Journal of Consumer Research*, 34.
- Weaver, Warren. 1948. “Science and complexity”. *American Scientist*, 36: 536-644.
- Weber, Ernst Heinrich. 1846. "Der Tastsinn und das Gemeingefühl". En: R. Wagner (compilador), *Handwörterbuch der Physiologie mit Rücksicht auf physiologische Pathologie*. Braunschweig, Vieweg, Vol. 3, Parte 2, pp. 481-588.
- Weidlich, Wolfgang. 2000. *Sociodynamics: A systematic approach to systematic modeling in the social sciences*. Harwood Academic Publishers.
- Weil, André. 1985. “Acerca del estudio algebraico de ciertos tipos de leyes de matrimonio (Sistema Murngin)”. En: C. Lévi-Strauss, *Op. cit.*, pp. 278-284.
- Weisbuch, Gérard, Sorin Solomon y Dietrich Stauffer. 2003. “Social percolators and self organized criticality”. En: S. Bornholdt y H. Schuster (compiladores), *Op. cit.*, pp. 342-354.
- Wellman, Barry. 1975. Revisión de J. Boissevain y J. C. Mitchell (compiladores), *Op. cit. The American Journal of Sociology*, 81(3): 690-693.
- Wellman, Barry. 1988. “Structural analysis: From method and metaphor to theory and substance”. En: B. Wellman y S. Berkowitz (compiladores), *Social structures: A network approach*. Cambridge, Cambridge University Press, pp. 19-61.
- Werbner, Richard. 1984. “The Manchester School in South-Central Africa”. *Annual Review of Anthropology*, 13: 157-185.
- Werner, Oswald y Joann Fenton. 1970. “Method and theory in ethnoscience or ethnoepistemology”. En: R. Naroll y R. Cohen (compiladores), *A handbook of method in cultural anthropology*. Nueva York, Natural History Press, pp. 537-578.
- West, Douglas B. 2001. *Introduction to graph theory*. 2<sup>a</sup> edición, Mathematics Department, University of Illinois.

- Wheatley, David. 1995. "Cumulative viewshed analysis: A GIS-based method for investigating intervisibility, and its archaeological application". En: Gary Lock y Zoran Stančić (compiladores), *Archaeology and Geographical Information Systems: An European perspective*. Londres, Taylor and Francis, pp. 171-185.
- Wheatley, David y Mark Gillings. 2002. *Spatial technology and archaeology: The archaeological applications of GIS*. Boca Raton, CRC Press.
- Wheatley, Paul. 1971. *Pivot of the four quarters: A preliminary inquiry into the origins and character of the ancient Chinese city*. Chicago, Aldine.
- Wheatley, Paul. 1972. "The concept of urbanism". En: P. J. Ucko, R. Tringham y G. W. Dimbleby (compiladores), *Man, Settlement, and Urbanism*. Londres, Duckwort, pp. 601-637.
- White, Douglas R. 1973. "Mathematical anthropology". En: J. Honigmann (compilador), *Op. cit.*, pp. 369-446.
- White, Douglas R. 2001. "Network analysis and social dynamics". *Cybernetics and Systems*, 35(2-3): 173-192.
- White, Douglas R. y Paul Jorion. 1992. "Representing and computing kinship: A new approach". *Current Anthropology*, 33(4): 454-462.
- White, Douglas R. y Ulla Johansen. 1998. *Social anatomy of a nomadic clan: An anthropological introduction to networked histories*. Manuscrito inédito, Instituto de Etnología, Universidad de Kóln.
- White, Douglas R. y Ulla Johansen. 2005. *Network analysis and ethnographic problems: Process models of a Turkish nomad clan*. Nueva York, Rowman and Littlefield.
- White, Harrison. 1962. "Chance model of systems of casual groups". *Sociometry*, 5(2): 153-172.
- White, Harrison. 1963. *An anatomy of kinship: Mathematical models for structures of cumulated roles*. Englewood Cliffs, Prentice-Hall.
- White, Harrison. 1970a. "Search parameters for the small world problem". *Social Forces*, 49: 259-264.
- White, Harrison. 1970b. *Chains of opportunity: System models of mobility in organizations*. Cambridge (USA), Harvard University Press.
- White, Harrison. 1997. "Can mathematics be social? Flexible representations for interactions process and its sociocultural constructions". *Sociological Forum*, 12: 53-71
- White, Harrison, Scott A. Boorman y Ronald L. Breiger. 1976. "Social structure from multiple networks. I. Blockmodels of roles and positions". *American Journal of Sociology*, 81: 730-779.
- White, Harrison, Scott A. Boorman y Ronald L. Breiger. 1976. "Social Structure from Multiple Networks. I. Blockmodels of Roles and Positions". *The American Journal of Sociology*, 81(4): 730-780.
- Whitten, Norman y Alvin Wolfe. 1973. "Network analysis". En: John Honigmann (compilador), *Handbook of social and cultural anthropology*. Chicago, Rand McNally, pp. 716-746.
- Widdows, Dominic y Beate Dorow. 2002. "A graph model for unsupervised lexical acquisition". En: *Proceedings of 19<sup>th</sup> International Conference of Computational Linguistics*, Taipei, Taiwan, pp. 1093-1099. <http://www-csli.stanford.edu/semlab-hold/infomap.html>. Visitado en abril de 2010.
- Wigner, Eugene (Jenö). 1958. "On the distribution of the roots of certain symmetric matrices". *Annals of Mathematics*, 67: 325-327.

- Wilkinson, E. Martin. 1971. "Archaeological seriation and the traveling salesman problem". En: F. R. Hodson y otros (compiladores), *Mathematics in the archaeological and historical sciences*. Edinburgo, Edinburgh University Press.
- Wilkinson, J. Harvie. 1965. *Algebraic eigenvalue problem*. Oxford, Oxford University Press.
- Wilson, Alan Geoffrey. 1967. "A Statistical Theory of Spatial Distribution Models". *Transportation Research*, 1: 253–269.
- Wilson, Alan Geoffrey. 1970. *Entropy in Urban and Regional Modelling*. Londres, Pion.
- Wilson, Alan Geoffrey. 1974. *Urban and Regional Models in Geography and Planning*. Londres, Wiley.
- Wilson, Robin. 1996. *Introduction to graph theory*. 4<sup>a</sup> edición, Essex, Addison Wesley.
- Wilson, Robin. 2004. "History of graph theory". En: Jonathan Gross y Jay Yellen (compiladores), *Handbook of graph theory*. Boca Raton, CRC Press, pp. 29-49.
- Wilson, Robin J. y Lowell W. Beineke (compiladores). 1979. *Applications of graph theory*. Nueva York, Academic Press.
- Wolfe, Alvin. 1978. "The rise of network thinking in anthropology". *Social Networks*, 1: 63-74.
- Wolfe, Alvin. 1997. Reseña de *Social network analysis* de S. Wasserman y K. Faust. *American Ethnologist*, 24(1): 219-220.
- Wolff, Kurt. 1950. *The sociology of Georg Simmel*. Glencoe, The Free Press.
- Wolpert, David y William Maceady. 1995. "No-free-lunch theorems for search". Santa Fe Institute Technical Report, SFI-TR-95-02-010.
- Wright, Sewall Green. 1921. "Correlation and causation". *Journal of Agricultural Research*, 20: 557-585.
- Wright, Sewall Green. 1932. "The roles of mutation, inbreeding, crossbreeding and selection in evolution". *Proceedings of the VI International Congress of Genetics*, 1: 356-366.
- Wu, Bang Ye y Kun-Mao Chao. 2004. *Spanning trees and optimization problems*. Boca Raton, Chapman & Hill/CRC.
- Wu, Chai Wah. 2007. *Synchronization in complex networks of nonlinear dynamical systems*. Singapur, World Scientific.
- Wu, Qishi y Jeffrey Shan. 2000. "The application of genetic algorithm in GIS network analysis". *International Archives on Photogrammetry and remote sensing*, XXXIII, B4: 1184-1191.
- Wuchty, Stefan, Zoltan N. Oltvai y Albert-László Barabási. 2003. "Evolutionary conservation of motif constituents in the yeast protein interaction network". *Nature Genetics*, 35(2): 176-179.
- Xhafa, Fatos y Ajit Abraham (compiladores). 2008. *Metaheuristics for scheduling in industrial and manufacturing applications*. Berlín y Heidelberg, Springer-Verlag.
- Xu, Jennifer y Hsinchun Chen. 2005a. "CrimeNet Explorer: A framework for criminal network knowledge discovery". *ACM Transactions on Information Systems*, 23(2): 201–226.
- Xu, Jennifer y Hsinchun Chen. 2005b. "Criminal network analysis and visualization". *CACM*, 48(6).
- Xulvi-Brunet, Ramón e Igor M. Sokolov. 2005. "Changing correlations in networks". *Acta Physica Polonica B*, 36(5): 1431-1455.
- Yang, Christopher y Marc Sageman. 2009. "Analysis of terrorist fractal networks with fractal views". *Journal of Information Science OnlineFirst*.  
<http://www.terrorism.crimepsychblog.com/?p=168>. Visitado en julio de 2009.

- Yang, Hua, Yuchao Nie, An Zeng, Ying Fan, Yangqin Hu y Zengru Di. 2010. “Scaling properties in spatial networks and their effects on topology and traffic dynamics”. *EPL*, 89, doi: 10.1209/0295-5075/89/58002, <http://iopscience.iop.org/0295-5075/89/5/58002>. Visitado en abril de 2010.
- Yang, Xin-She. 2008. *Introduction to mathematical optimization. From linear programming to metaheuristics*. Cambridge, Cambridge International Science Publishing.
- Yule, George Udny. 1927. “On a Method of Investigating Periodicities in Disturbed Series, with Special Reference to Wolfer's Sunspot Numbers”. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, Serie A, 226: 267–298.
- Yule, George Udny. 1944. *A statistical study of vocabulary*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Yun, Yong Woo y Young Ook Kim. 2007. “The effects of depth and distance in spatial cognition”. *Proceedings, 6<sup>th</sup> International Space Syntax Symposium*, İstanbul, pp. 049.01-049.14.
- Zachary, Wayne W. 1977. “An information flow model for conflict and fission in small groups”. *Journal of Anthropological Research*, 33: 452–473.
- Zako, Reem. 2009. “Young people's gatherings in the urban public realm: Enhancement of a distraction from its liveability”. *Proceedings of the 7<sup>th</sup> Space Syntax Symposium*, Estocolmo, pp. 066.1-066.16.
- Zanette, Damián H. y Marcelo A. Montemurro. 2005. “Dynamics of text generation with realistic Zipf's distribution”. *Journal of Quantitative Linguistics*, 12(1): 29-40.
- Zaslavsky, Thomas y Marge Pratt. 1998. *A mathematical bibliography of signed and gain graphs and allied areas*. <http://www.combinatorics.org/Surveys/ds8.pdf>. Visitado en enero de 2011.
- Zelterman, Daniel. 2004. *Discrete distributions. Applications in the health sciences*. Chichester, John Wiley & Sons.
- Zenz, Adrian. 2009. “Lost in translation or the deconstruction of kinship”. [http://www.zenz.org/adrian/Essays/Lost\\_in\\_Translation.pdf](http://www.zenz.org/adrian/Essays/Lost_in_Translation.pdf). Visitado en abril de 2010.
- Zhang, Mingxin. 2010. “Social network analysis: History, concepts, and research”. En: B. Furht (compilador), *Op. cit.*, pp. 3-21.
- Zhang, Zili y Chengqi Zhang. 2004. *Agent-based hybrid intelligent systems: An agent-based framework for complex problem solving*. Berlín y Heidelberg, Springer Verlag.
- Zhong, Ning, Jiming Liu Yao, Yiyu Yao y Setsuo Ohsuga. 2000. “Web intelligence”. *Computer Software and Applications Conference, COMPSAC 2000. The 24<sup>th</sup> Annual International*, pp. 469-470.
- Zipf, George K. 1932. *Selected studies of the principle of relative frequency in language*. Cambridge (USA), Harvard University Press.
- Zipf, George K. 1949. *Human behavior and the principle of least effort*. Nueva York, Hafner. Capítulos en línea en <http://www.nslj-genetics.org/wli/zipf/1940s.html>. Visitado en noviembre de 2010.
- Zomaya, Albert (compilador). 2006. *Handbook of nature-inspired and innovative computing: Integrating classical models with emerging technologies*. Nueva York, Springer Science+Business Media.

## Referencias tecnológicas

- Adit Sociogram. – © s/fecha, Adit Limited.  
<http://www.aditsite.co.uk/more20.htm#Adit%20Sociogram>. Visitado el 28 de enero de 2008.
- Agna, v. 2.1.1 (Applied Graph & Network Analysis) – © Marius Benta, 12 de diciembre de 2003.  
<http://www.geocities.com/imbenta/agna>. Visitado el 26 de enero de 2008.
- Agraph, v.2.0 – © Bendik Manum, junio de 2009. <http://www.ntnu.no/ab/spacesyntax>. Visitado en mayo de 2009.
- Ajanachara, v. 1.3.1. – © Gerald Franz, 2006-2007.  
<http://www.kyb.tuebingen.mpg.de/bu/people/gf/anavis/>. Visitado en mayo de 2009.
- AJAX – Software for Generalised Space Syntax, v. 102. © 2005, Michael Batty, Centre for Advanced Spatial Analysis. University College of London.  
<http://www.casa.ucl.ac.uk/software/ajax.asp>. Visitado en julio de 2009.
- ARSGen, v. 2.1 – © Jorge Miceli (Antropocaos). <http://antropocaos.com.ar/arsgen-software-analisis-redes-sociales>. Visitado en mayo de 2010.
- Automap, v. 3.0.6 Build K. © 2001-2011 Kathleen Carley.  
<http://www.casos.cs.cmu.edu/projects/automap>. Visitado en setiembre de 2010.
- AxialGen 1.0 Client edition – Automatic generation of the axial lines © Bin Jiang, 2009.  
<http://fromto.hig.se/~bjg/AxialGen/>. Visitado en abril de 2010.
- Cfinder, v. 2.0.4. The Cluster (Community) Finding Program – © Department of Biological Physics, Universidad de Eötvös, Budapest, Hungría, 3 de agosto de 2010. <http://cfinder.org>. Visitado en noviembre de 2010.
- Dendroscope, v. 2.7.4 – © Daniel Huson, 27-4-2010. <http://www-ab.informatik.uni-tuebingen.de/software/dendroscope>. Visitado en octubre de 2010.
- Discourse Network Analysis, v. 1.24 – © Philip Leifeld, 23 de noviembre de 2010.  
<http://www.philipleifeld.de/discourse-network-analyzer-dna/download/download.html>. Visitado en noviembre de 2010.
- EgoNet, v. 2010-09-30 – © Chris McCarthy. <http://egonet.sf.net>. Visitado en octubre de 2010.
- FANMOD – The Fast Network Motif Detection tool, v. s/nº. © 2006 Sebastian Wernicke y Florian Rasche. <http://www.minet.uni-jena.de/~wernicke/motifs/index.html> – Implementa algoritmo nauty, v. 2.2 © Brendan McKay. Visitado en julio de 2009.
- Gephi, v. 0.7 beta. The Open Graph Viz Platform – © 2010, Gephi.org. <http://gephi.org/>. Visitado en noviembre de 2010.
- GVedit – Graphviz, v. 2.26.3. Graph Visualization Software. © s/f, <http://www.graphviz.org/> - Visitado en julio de 2009.
- GUESS, The Graph Exploration System, v. 1.0.3-beta – © 2006 – Eytan Aidar.  
<http://graphexploration.cond.org/index.html>. Visitado en marzo de 2008.
- JASS, Justified Analysis of Spatial Systems, v. 10.021 – © 21 de mayo de 2003, KTH School of Architecture & NADA, Estocolmo. [http://www.arch.kth.se/sad/projects/JASS/tools\\_jass.htm](http://www.arch.kth.se/sad/projects/JASS/tools_jass.htm). Visitado en abril de 2010.
- Jenn3D, v. 2008.03.13 – For visualizing Coxeter polytopes. © 2001-2008 Fritz Obermeyer, <http://www.jenn3d.org>. Visitado en noviembre de 2008.
- JgraphEd, v. 1.21 – A Java Graph Editor written by Jon. © 2004 Jon Harris.  
<http://www.jharris.ca/JGraphEd/> - Visitado en julio de 2009.

- Krackplot, v. 4.1.7 – © 15 de abril de 2006, Jim Blythe, David Krackhardt y Cathleen McGrath, <http://www.isi.edu/~blythe/KP/>. Visitado el 28 de marzo de 2008.
- LaNet-vi. Large Network Visualization Tools – © 2008, Horacio Alvarez Hamelin, Luca Dall'Asta, Alain Barrat y Alessandro Vespignani. [http://sourceforge.net/project/showfiles.php?group\\_id=190236](http://sourceforge.net/project/showfiles.php?group_id=190236). Visitado en marzo de 2008.
- mDraw, v. 1.0– © Ehud Baumatz, Nadav Kashtan, Weizmann Institute of Science, s/fecha. <http://www.weizmann.ac.il/mcb/UriAlon/groupNetworkMotifSW.html>. Visitado en marzo de 2008.
- MindWalk – © 2002-2005, Lucas Figueiredo de Medeiros, <http://www.mindwalk.com.br/> - Visitado en julio de 2009. No disponible en noviembre de 2010.
- Network Workbench Tool, v. 1.0 – © 2009 University of Indiana, 15 de setiembre de 2009. <http://nwb.slis.indiana.edu/index.html>. Visitado el 26 de enero de 2008.
- ORA, v. 2.2.7 – © 2001-2011 Kathleen Carley. <http://www.casos.cs.cmu.edu> – Visitado en octubre de 2010.
- Pajek, v. 2.02 – © 1996-2010, Vladimir Batagelj & Andrej Mrvar, 1 de diciembre de 2010. <http://pajek.imfm.si/doku.php?id=pajek>. Visitado el 28 de diciembre de 2010.
- Puck, v. 0.9. Program for the Use and Computation of Kinship Data – © Equipe TIP, 21 de noviembre de 2010 <http://www.kintip.net>. Visitado en noviembre de 2010.
- STEM – The spatio-temporal epidemiological modeler, v. 1.1.0 – © Eclipse Organization, 20 de setiembre de 2010. <http://www.eclipse.org/stem/>. Visitado en noviembre de 2010.
- Syntax 2D, v. 1.3.0.7 – © 2009, University of Michigan. <http://sourceforge.net/projects/syntax2d/>. Visitado en junio de 2009.
- UCL DepthMap, v. 10.08 – © 2010, Alasdair Turner, UCL Bartlett School of Graduate Studies. <http://www.vr.ucl.ac.uk/depthmap/>. Visitado en octubre de 2010.
- Visone, v. 2.6.2 – © 2001-2010 Visone Project Team, 13 de setiembre de 2010. <http://visone.info/>. Visitado en noviembre de 2010.
- Walrus, v. 0.6.3 – © 2003 Caida.org. <http://www.caida.org/tools/visualization/walrus/>. Visitado en abril de 2009.