

I
EL MITO DE LA HORMIGA REINA

Comienza el otoño en Palo Alto. Deborah Gordon y yo estamos sentados en su oficina del edificio de Gilbert Biological Sciences en Stanford, donde pasa tres cuartas partes del año estudiando ecología conductista. La cuarta parte restante la pasa haciendo trabajo de campo con hormigas granívoras nativas del suroeste norteamericano. Cuando nos encontramos, su rostro aún conserva algo del bronceado de su último viaje al desierto de Arizona.

He venido a aprender algo más acerca de la inteligencia colectiva de las colonias de hormigas. Gordon, pulcramente vestida con una camisa blanca, responde animada a unas cuantas preguntas, cercanas a la filosofía, acerca del comportamiento grupal y los sistemas complejos, pero me doy cuenta de que está ansiosa por empezar su exposición. Tras unos minutos de reflexión, se gira en su silla: “¿Por qué no empiezo enseñándote las hormigas que tenemos aquí?”, dice, “luego podemos hablar de lo que todo ello significa”.¹

Me hace pasar a un cuarto sepulcral, al otro lado del pasillo, donde encuentro tres largas mesas alineadas. Mi primera impresión es que se trata de un salón de billar esterilizado y vacío, hasta que me acerco y descubro la civilización en miniatura que vive dentro de cada mesa. Más cercano a un juego de Habitrail* que a la idea tradicional de una granja de hormigas, el dispositivo de Gordon alberga una intrincada red de tubos de plástico que conectan aproximadamente una docena de cajas también de plástico forradas de yeso húmedo y cubiertas de una fina capa de polvo.

“Cubrimos los hormigueros con plástico rojo porque algunas especies de hormigas no ven la luz roja”, explica Gordon. “Aparentemente ocurre lo mismo con esta especie.” Por un instante no estoy seguro de a qué se refiere con “esta especie”; después mis ojos se acomodan a la esce-

* Empresa americana que comercializa habitáculos y otros productos para hamsters. [N. de la T].

na, y me asusto al darme cuenta de que el polvo que cubre las cajas son, en realidad, miles de hormigas granívoras, tan abigarradas en sus habitáculos que las había confundido con una masa indiferenciada. Un segundo más tarde, veo que toda la colonia simulada está asombrosamente viva y los grupos de hormigas se mueven a ritmo constante. Los tubos, los espacios estrechos y la muchedumbre evocan inmediatamente al metro de Nueva York en hora punta.

En el corazón de su trabajo, Gordon alberga un misterio acerca del desarrollo de las colonias de hormigas, un misterio con consecuencias que nos conducen más allá de la tierra reseca del desierto de Arizona, hasta nuestras ciudades, nuestros cerebros, nuestro sistema inmunológico y, de manera creciente, hasta nuestra tecnología. Su trabajo se centra en la conexión entre la microconducta de hormigas individuales y el comportamiento general de las colonias; parte de su investigación recoge el seguimiento anual de los ciclos vitales de cada colonia mientras recorren el suelo del desierto en busca de alimento, compitiendo con otras colonias por el territorio, y, una vez al año, acoplándose a ellas. En otras palabras, Gordon estudia un tipo particular de emergencia, un sistema autoorganizado.

Al desenterrar una colonia de hormigas granívoras nativas se observará, casi sin excepción, que la reina no está. Para llegar hasta ella será necesario examinar el fondo del hoyo recién excavado: encontraremos un pasillo angosto, prácticamente invisible, que lleva, 60 centímetros más abajo, a un minúsculo habitáculo horadado en la tierra. Allí encontraremos a la reina. La habrán escondido un puñado de “doncellas” ante la primera señal de alarma. Ese pasaje es, en otras palabras, una salida de emergencia parecida a un refugio nuclear subterráneo del ala oeste de la Casa Blanca.

A pesar del comportamiento propio del servicio secreto y del vocabulario monárquico, no hay jerarquías en el pensamiento de la colonia de hormigas. “Aunque ‘reina’ sea un término que recuerde sistemas políticos humanos”, explica Gordon, “la reina no es una figura con autoridad. Pone huevos y es alimentada y cuidada por las obreras. No decide lo que hace cada obrera. En una colonia de hormigas granívoras, túneles, habitáculos y miles de hormigas separan a la reina, que está rodeada de obreras internas, de las hormigas que trabajan fuera del hormiguero y que sólo usan las recámaras cercanas a la superficie. A la reina

le sería físicamente imposible² dirigir las decisiones de cada una de las obreras acerca de qué tarea realizar y cuándo hacerlo”. Las hormigas granívoras³ que llevan a la reina a su refugio no lo hacen porque se lo haya ordenado su líder, sino porque la hormiga reina es responsable de engendrar a todos los miembros de la colonia, y por lo tanto es interés de toda la colonia y de su perpetuación mantener a la reina a salvo. Sus genes las instruyen para proteger a su madre, al igual que las instruyen para proveer alimento. En otros términos, la matriarca no entrena a sus sirvientes para que la protejan, la evolución sí.⁴

La cultura popular introduce estereotipos de hormigas estalinistas, como lo atestigua el régimen autoritario en el filme *Antz*, pero en realidad las colonias son lo opuesto a las economías planificadas. Aunque son capaces de proezas notablemente bien coordinadas en la asignación de tareas, no hay planes quinquenales en el reino de las hormigas. Las colonias que estudia Gordon despliegan algunas de las conductas más extraordinariamente descentralizadas de la naturaleza: inteligencia, personalidad y un aprendizaje ascendente.

Continuaba observando el entramado de los tubos de plástico, cuando Gordon hizo que reparara en dos tableros de color blanco, unidos a la zona central de la colonia, uno sobre otro y comunicados por una rampa. (Imagínense un aparcamiento de dos plantas junto a una estación de metro.) Un puñado de hormigas merodeando por los tableros. Algunas supuestamente cargando migas; otras, en apariencia, sólo paseando. Si éste es el Central Park de la metrópoli hormiguera de Gordon, creo que hoy es día laborable.

Gordon señala con un gesto la esquina del panel superior, a 10 centímetros de la rampa hacia el nivel inferior, donde hay un montículo de polvo de extraña textura —restos y cáscaras— contra la pared. “Ése es el vertedero”, dice, “el basurero de la ciudad”. Señala tres hormigas que suben la rampa, apenas visibles bajo una gran cáscara. “Estas hormigas son basureras: recogen las sobras del alimento que han recolectado —en este caso, semillas de césped— y las depositan en el vertedero.”

Gordon da dos rápidos pasos hacia el otro lado de la mesa alejándose de la rampa. Muestra lo que parece otro montículo de tierra. “Y éste es el cementerio.” Vuelvo a mirar, sobresaltado. Efectivamente, cientos de cadáveres de hormigas están apilados y cuidadosamente encastrados en la esquina de la mesa. Es cruel y, sin embargo, extrañamente metódico.

Asentí maravillado. Sé lo suficiente acerca del comportamiento de la colonia. “De algún modo han decidido colectivamente utilizar estas zonas como vertedero y cementerio”, digo. Ninguna hormiga definió individualmente esas zonas, ningún planeamiento central delimitó un sector para la basura y otro para los cadáveres. “Tan sólo ocurrió, ¿verdad?”

Gordon sonrío; evidentemente hay algo que no he advertido. “Mejor aún”, dice, “mira lo que ha ocurrido en realidad: han construido el cementerio en el lugar más alejado de la colonia. Y el vertedero es todavía más interesante: lo han situado en el punto exacto que maximiza la distancia tanto del cementerio como de la colonia. Aparentemente siguen una regla: colocar las hormigas muertas y el vertedero lo más lejos posible, pero separados entre sí”.

Tengo que tomarme unos segundos para trazar yo mismo la geometría; con certeza las hormigas lo han hecho correctamente. Río a carcajadas pensando que es como si hubieran resuelto uno de esos cuestionarios estándar de matemática espacial para obtener una solución perfectamente adecuada a su entorno, una solución que fácilmente dejaría perplejo a un humano de ocho años. La pregunta es: ¿quién hace los cálculos?

Es una larga historia y no se limita al comportamiento colectivo de las colonias de hormigas. Hoy conocemos la respuesta porque hemos desarrollado herramientas poderosas para pensar —y reproducir— la inteligencia emergente de los sistemas de autoorganización, pero esa respuesta no estuvo siempre clara. Ahora sabemos que sistemas como las colonias de hormigas no tienen líderes, que la sola idea de una hormiga “reina” es engañosa. Pero el deseo de encontrar “marcapasos” en esos sistemas ha sido siempre poderoso, tanto en el comportamiento grupal de los insectos sociales como en el comportamiento humano colectivo que crea la vida en una ciudad.

Existen documentos sobre un fuerte romano anterior al año 76 d. C. situado en la confluencia de los ríos Medlock e Irwell, en el noroeste de la Inglaterra moderna, a unos 300 kilómetros de Londres. Durante tres siglos, hubo allí asentamientos que luego desaparecieron con el resto del imperio alrededor del 400 d. C. Los historiadores consideran que el lugar estuvo deshabitado durante quinientos años, hasta que una ciudad llamada Manchester comenzó a cobrar forma, tomando su nombre del asentamiento romano *Mamuncium*, que significa “colina en forma de seno”.

Manchester subsistió buena parte del milenio como una anónima población del norte de Inglaterra. En 1301 se le otorgó una cédula y fundó una universidad a comienzos de 1400, pero siguió dependiendo de la ciudad vecina de Salford durante cientos de años. En el siglo XVII, la región de Manchester se convirtió en uno de los centros del comercio de la lana; sus mercaderes comerciaban con el continente a través del puerto de Londres. Era imposible saberlo entonces, pero Manchester y toda la región de Lancashire constituían el corazón de la revolución comercial y tecnológica que alteraría irrevocablemente el futuro del planeta. En Manchester convergen varios hitos históricos: las incipientes tecnologías textiles a vapor, el sistema bancario del Londres comercial, los mercados globales y la aparición de sindicatos. La historia de esa convergencia ha sido profusamente tratada, y el debate sobre sus consecuencias sigue vigente. Pero más allá de los efectos épicos que tuvo en la economía global, el despegue industrial de Manchester entre 1700 y 1850 creó también un nuevo tipo de ciudad que, literalmente, estalló a la vida.

Las estadísticas de su crecimiento de población dan cuenta por sí solas del poder de tal explosión: una estimación de 1773 indica que entonces 24.000 personas vivían en Manchester; el primer censo oficial en 1801 arrojó la cifra de 70.000. A mediados del siglo XIX, había más de 250.000 habitantes dentro de los límites de la ciudad; la cifra se multiplicó por diez en tan sólo setenta y cinco años. Esa tasa de crecimiento sin precedentes es tan violenta como los motores a vapor. En realidad, la ciudad creció más rápido de lo que sus autoridades pudieron controlar. Durante quinientos años Manchester había sido considerada un señorío, lo cual significaba que, técnicamente, ante la ley, era gobernada como un estado feudal, sin gobierno local, sin planificación urbanística, policía o autoridades sanitarias. Manchester no envió representantes al Parlamento hasta 1832, y no entró en él hasta seis años después. Finalmente, a comienzos de 1840, el recientemente constituido consejo del burgo empezó a introducir reformas en la salud pública y la planificación urbanística; pero el Gobierno británico no reconoció oficialmente a Manchester como ciudad hasta 1853. Esto constituye una de las mayores ironías de la revolución industrial, y revela hasta qué punto este cambio fue realmente espectacular: la ciudad que definió el futuro de la vida urbana durante la primera mitad del siglo XIX no se constituyó

legalmente como ciudad hasta que la gran explosión no completó su desarrollo.⁵

Como resultado de tal discontinuidad Manchester se convirtió en la ciudad más caótica y menos planificada en los seis mil años de historia de los asentamientos urbanos. Ruidosa, contaminada, superpoblada, Manchester atrajo en la década de 1830 a numerosos intelectuales y personalidades públicas, que viajaban al norte para conocer el futuro del mundo moderno. Regresaban buscando las palabras para describir de forma adecuada la inmensidad y singularidad de la experiencia, con relatos acerca de su mugre abyecta y su sobrecarga sensorial. “Lo que he visto me ha desagradado y asombrado más allá de todo límite”, escribió Dickens tras una visita en el otoño de 1838. “Haré la más encendida denuncia en nombre de estas desafortunadas criaturas.” Contratado para gobernar los distritos del norte a finales de la década de 1830, el general Charles James Napier escribió: “Manchester es la hoguera del mundo. Ricos bribones, pobres pícaros, borrachines zaparrastrosos y prostitutas encarnan su moral... ¡Qué lugar! Las puertas del infierno hechas realidad”. De Tocqueville visitó Lancashire en 1835 y describió el paisaje en términos que tuvieron eco hasta dos siglos después: “Desde esta alcantarilla infecta⁶ fluye la gran corriente de la industria humana que fertiliza al mundo entero. Desde esta sucia cloaca fluye el oro puro. Aquí la humanidad alcanza su más completo y brutal desarrollo; aquí la civilización forja sus milagros y el hombre civilizado se vuelve casi un salvaje”.

Pero el comentarista más celebrado e influyente de la ciudad de Manchester fue el joven Friedrich Engels, quien llegó a la ciudad en 1842 para supervisar la planta algodonera de su familia, y fue testigo de primera mano de cómo los motores de la historia acercaron a los obreros a la conciencia de clase. Aunque Engels llegó a Manchester para ocuparse de la firma de su padre, Ermen & Engels, ya se encontraba bajo la influencia de las ideas políticas de la joven escuela hegeliana. Era amigo de Karl Marx desde hacía unos años, y el socialista Moses Hess, a quien había conocido a comienzos de 1842, le había aconsejado visitar Manchester. De modo que sus tres años en Inglaterra fueron algo así como una misión en nombre de la revolución, financiada por la clase capitalista.⁷ El libro que escribió más tarde, *La situación de la clase obrera en Inglaterra*, continúa siendo uno de los clásicos de la historia urbana y el testimonio irrevocable de la vida de Manchester en el siglo XIX, con todo su dinamismo

y abigarramiento. Dickens, Carlyle y Disraeli habían intentado plasmar la ferocidad legendaria de Manchester, pero sus esfuerzos fueron superados por un prusiano de veinticuatro años.

Sin embargo, *La situación...* no es, como podría esperarse, un mero documento del caos industrial de Manchester, una historia de cómo todo lo que es sólido se desvanece en el aire, por tomar prestada la frase que un camarada de Engels escribiría muchos años después. En medio de la locura de la ciudad, el ojo de Engels se posa sobre un extraño orden en un magnífico pasaje donde guía al lector en un paseo por la capital industrial que revela la formas políticas construidas sobre la topografía de las calles de la ciudad. El pasaje da cuenta del agudo sentido de observación de Engels, pero en realidad lo cito porque manifiesta la gran dificultad que implica pensar modelos de autoorganización, imaginar un mundo sin “marcapasos”.

La ciudad está construida de modo que puede vivirse en ella durante años y años y pasearse diariamente de un extremo al otro sin encontrarse con un barrio obrero o tener contacto con obreros (siempre que uno vaya de paseo o a un asunto concreto). Esto se debe principalmente a que, sea por tácito acuerdo, sea con intención consciente y manifiesta, los barrios habitados por la clase obrera están netamente separados de los de la clase media. [...] Sé bien que esta hipócrita manera de construir es más o menos común a todas las grandes ciudades; sé, igualmente, que los comerciantes minoristas, a causa de la naturaleza de sus negocios, deben ocupar las calles principales; sé que en esas calles hay más casas buenas que malas y que en ellas el valor del terreno es mayor que en las calles alejadas; pero no he visto nunca, como en Manchester, una exclusión tan sistemática de todo aquello que pueda ofender la vista y el ánimo de las clases medias. Y sin embargo, Manchester está construida con pocas reglas o prescripciones policiales, y más en contra de ellas que cualquier otra ciudad... Si considero lo que afirma con gran celo la clase media, según la cual todo marcha bien para los obreros, me parece que los industriales liberales, los *big wigs* de Manchester, no son completamente inocentes de este vergonzoso método de construir.⁸

En este fragmento, las contradicciones rugen como los “oscuros molinos satánicos” de la propia Manchester. La ciudad ha construido un cordón sanitario para separar a los industriales de la escoria que han desatado en el mundo, ocultando la desmoralización de los distritos de la clase obrera de Manchester; y sin embargo ese acto se muestra al mundo carente de “intención explícita, consciente”. La ciudad parece hábilmente planeada para esconder sus atrocidades, y en cambio “ha sido construida menos de acuerdo con un plan” que cualquier otra ciudad de la historia. Como afirma Steven Marcus en su historia del viaje del joven Engels a Manchester, “Lo que hay que destacar es que este arreglo desconcertante y atroz no puede entenderse como resultado de una trama ni de un diseño deliberado, aunque aquello los interesados también lo controlen. Sin duda, es la organización de un estado de cosas demasiado vasto y complejo como para haber sido *pensado* con anticipación, como para haber existido como idea previa”.⁹

Las amplias y luminosas avenidas sugieren, en otras palabras, una ciudad de Potemkin sin un Potemkin. Esa combinación de orden y anarquía es lo que hoy llamamos comportamiento emergente. Los críticos urbanos saben desde Lewis Mumford y Jane Jacobs que las ciudades tienen vida propia, con barrios asentados en lugares que no han sido planeados desde arriba por ningún Robert Moses. Pero la corriente intelectual sólo lo ha comprendido en los últimos años; cuando Engels caminó por esas calles en la década de 1840 iba a tientas, intentando encontrar un culpable de la perversa organización de la ciudad, aun cuando reconocía que la ciudad evidentemente no tenía un plan. Como sucede casi siempre a lo largo de la historia del pensamiento, el desarrollo de esta nueva comprensión —las ciencias de la complejidad y de la autoorganización— es complicado y está sujeto a muchos factores y agentes que interactúan en él. Probablemente es mejor no verlo como una narración lineal y sí como una red interconectada, que se hace progresivamente más densa a través del siglo y medio que nos separa de la primera visita de Engels a Manchester.

Complejidad es una palabra que ha aparecido frecuentemente en aspectos críticos del espacio metropolitano, pero en realidad hay dos tipos de complejidad fundamental en la ciudad, dos experiencias con consecuencias de muy distinta comprensión. Existe, en principio, un sentido

convencional de complejidad como sobrecarga sensorial: la ciudad tensa el sistema nervioso humano al extremo; en ese proceso le enseña una nueva serie de reflejos y le abre el camino para una serie de valores estéticos complementarios, que crecen como una costra alrededor de la herida. El crítico cultural alemán Walter Benjamin escribe en su obra inconclusa *Der Passagenwerk* [Los pasajes de París]:

Tal vez la visión diurna de una multitud en movimiento se presentó al ojo alguna vez como un espectáculo al cual *éste* debió adaptarse [...] no es imposible suponer entonces que, una vez dominada esta tarea, el ojo aceptó de buen grado nuevas oportunidades de confirmar tal habilidad. El procedimiento de la pintura impresionista, donde el cuadro está compuesto por un alboroto de pinceladas de color, sería entonces el reflejo de la experiencia con la cual el ojo de un habitante de la gran ciudad se ha familiarizado.¹⁰

Este pasaje es heredero de la escritura sobre la ciudad de los siglos XIX y XX. Desde los capítulos sobre Londres del *Preludio*, de Wordsworth, hasta las cavilaciones itinerantes de *Dublinenses*, de Joyce, el ruido y el sin sentido se transforman en una experiencia estética. La multitud es algo a lo que uno se arroja por pura poesía. Pero la complejidad no es sólo una cuestión de sobrecarga sensorial. Existe también el sentido de complejidad como sistema autoorganizado, más en la línea del Instituto Santa Fe que de la Escuela de Frankfurt. Este tipo de complejidad vive en un nivel superior; describe el sistema de la ciudad en sí mismo y no su recepción empírica por parte del habitante. La ciudad es compleja porque abruma, sí, pero también porque tiene una personalidad coherente, una personalidad que se autoorganiza a partir de millones de decisiones individuales, un orden global construido a partir de interacciones locales. Ésta es la complejidad “sistemática” que Engels vislumbró en los bulevares de Manchester; no la sobrecarga y anarquía que registró en otra parte, sino un extraño tipo de orden, un patrón en las calles que trascendía los valores políticos de la elite de Manchester sin haber sido deliberadamente planeado por ella. Ahora sabemos, a través de modelos informáticos y estudios sociológicos —así como por estudios comparativos de sistemas generados por insectos sociales, como

las hormigas granívoras de Gordon—, que a partir de acciones locales no coordinadas pueden emerger patrones mayores. Pero para Engels y sus contemporáneos, esas formas urbanas no planeadas debieron de ser fantasmas. La ciudad parece tener vida propia.

Ciento cincuenta años más tarde, las mismas técnicas traducidas al lenguaje del *software*, como la simulación del moho de fango de Mitch Resnick, suscitaron una reacción parecida: la pavorosa sensación de que algo con vida, algo orgánico, cobra forma en la pantalla. Estas formas, con su combinación de estabilidad y cambio, con su capacidad ilimitada de aprendizaje, resultan irritantes aun para quienes tienen un profundo conocimiento de los sistemas de autoorganización. El impulso de construir modelos centralizados para explicar esa conducta subsiste con igual fuerza que en los tiempos de Engels. Cuando vemos emerger formas y estructuras repetidas a partir de un caos manifiesto, no podemos evitar buscar marcapasos.

Entendido en su sentido más abstracto, lo que Engels observó son *patrones* en el paisaje urbano, visibles porque tienen una estructura repetida que los distingue del mero ruido que podría asociarse naturalmente a una ciudad no planeada. Son patrones de conducta humana y toma de decisiones que han sido inscritos en la textura de los edificios de la ciudad, patrones que luego retroalimentan a los residentes de Manchester y alteran sus decisiones futuras. (En ese sentido, son lo opuesto del sentido tradicional de complejidad urbana; son señales que emergen desde donde se esperaría sólo ruido.) Una ciudad es algo así como una máquina de amplificar patrones: sus barrios son un modo de medir y expresar la conducta repetida de colectividades mayores; recogen información acerca de la conducta grupal y comparten esa información con el grupo. Puesto que esos patrones retroalimentan a la comunidad, pequeños cambios de conducta pueden convertirse rápidamente en movimientos mayores: grandes tiendas en los bulevares importantes, mientras la clase obrera permanece relegada a calles laterales y callejones; los artistas viven en la ribera izquierda, los inversores y banqueros en el octavo *arrondissement*. Para crear esas estructuras no son necesarias ni regulaciones ni planes urbanísticos deliberados. Lo único que se necesita son miles de individuos y unas pocas reglas simples de interacción. Los escaparates luminosos atraen más escaparates luminosos y alejan a los desfavorecidos a un rincón apartado. No hay necesidad de un barón Haussmann

en este mundo,¹¹ sólo hacen falta unos pocos patrones de conducta repetidos, amplificados a formas mayores que perduren durante generaciones enteras: grupos, barrios bajos, vecindarios.

Sin embargo, no todos los patrones son evidentes para cada uno de los moradores de la ciudad. La historia del urbanismo es una historia de signos mudos, contruidos a partir de la conducta colectiva de grupos más pequeños y difícilmente detectados por quienes no pertenecen al grupo. Manchester atesora varios grupos secretos que persisten generación tras generación, “como la ola que se alza frente a una roca en la corriente”. Uno de estos secretos se encuentra justo al norte de la Victoria University, en el punto donde Oxford Road se transforma en Oxford Street. Existen documentos de mediados del siglo XIX que dan cuenta de hombres que buscan sexo con otros hombres, relaciones más duraderas o incluso de camaradería entre sexos iguales en tiempos en los que esa identidad sexual era tabú. Algunos historiadores especulan con la posibilidad de que Wittgenstein visitara aquellas calles durante su estancia en Manchester en 1908. Cerca de cien años después, la zona ha sido bautizada como Gay Village, y promueve activamente sus cafés y sus tiendas como destino obligado para el turista en Manchester, lo mismo que sucede con Christopher Street en Manhattan y Castro en San Francisco. El patrón está abierto a un público más amplio ahora, pero no ha perdido su forma.¹²

Aunque con menor amplitud, la señal se hizo oír lo suficiente como para atraer la atención de otro de los inmigrantes ilustres de Manchester: el británico polifacético Alan Turing. Como parte de su heroica contribución durante la guerra, Turing había estudiado los patrones matemáticos diseñando ecuaciones y dispositivos que quebraron el “inviolable” código alemán *Enigma*.¹³ Después de tres infructuosos años en el Laboratorio Nacional de Física en Londres, Turing se mudó a Manchester en 1948 para contribuir a la dirección del incipiente laboratorio de computación de la universidad de la ciudad. En Manchester, Turing comenzó a pensar el problema del desarrollo biológico en términos matemáticos, que lo llevaría a escribir su trabajo decisivo sobre morfogénesis, publicado en 1952 y que Evelyn Fox Keller redescubriría más de una década después. La investigación bélica de Turing se había centrado en la detección de patrones agazapados en el aparente caos del

código, pero en sus años de Manchester, su mente se sentía atraída por el reflejo exacto del problema original de la decodificación: cómo pueden construirse patrones complejos a partir de reglas simples. ¿Cómo sabe una semilla construir una flor?

El trabajo de Turing sobre morfogénesis, que literalmente significa “el comienzo de la forma”, se convirtió en uno de sus trabajos fundamentales, a la altura de otros más conocidos, como los que tratan sobre el problema de incompletitud de Gödel, la máquina Turing, el test de Turing y por supuesto sus contribuciones al diseño físico de la computadora digital moderna. Sin embargo, morfogénesis fue el principio de una forma; una mente brillante percibía los esbozos de un nuevo problema aunque no todos sus alcances. Si a Turing le hubieran sido concedidas unas pocas décadas más para explorar las potencialidades de la autoorganización, por no hablar de la posibilidad de acceder a las computadoras modernas, habría ampliado considerablemente nuestra comprensión posterior de la conducta emergente. Pero su trabajo sobre morfogénesis sería trágicamente cercenado tras su muerte en 1954.

Alan Turing fue sin duda una víctima de las brutales leyes homófobas de la Gran Bretaña de posguerra, pero su muerte se vincula también con aquellos imperceptibles patrones de vida de las aceras de Manchester. Turing había tenido noticias de Oxford Road desde su llegada a Manchester; eventualmente fue a ese barrio y conoció a otros hombres homosexuales; invitaba a algunos a su apartamento para conversar y presumiblemente para tener algún tipo de contacto físico. En enero de 1952, Turing conoció en esas calles a un joven llamado Arnold Murray y ambos se embarcaron en una relación breve que pronto se tornó amarga. Murray, o algún amigo suyo, irrumpió en casa de Turing y robó algunos objetos. Turing informó a la policía y con su franqueza característica no se esforzó por ocultar su romance con Murray cuando ésta visitó su casa. De acuerdo con la ley británica, la homosexualidad era una ofensa criminal que podía castigarse con hasta dos años de prisión, y la policía rápidamente presentó cargos contra Turing y Murray por “indecencia manifiesta”.

El 29 de febrero de 1952, mientras las autoridades de Manchester preparaban el caso, Turing terminó las revisiones de su trabajo sobre morfogénesis y lo discutió con Ilya Prigogine, el químico belga, profesor visitante, cuyo trabajo sobre termodinámica del no equilibrio le valdría

más tarde el Nobel. En un solo día, Turing había completado el texto que ayudaría a engendrar la disciplina biomatemática e inspiraría a Keller y Segel en sus descubrimientos acerca del moho de fango, quince años después, y había disfrutado de un animado encuentro con el hombre que alcanzaría una merecida fama mundial por su investigación sobre sistemas de autoorganización. Ese día de invierno de 1952, no había sobre la faz de la tierra una mente mejor preparada que la de Alan Turing para indagar en los misterios de la emergencia. Pero el mundo conspiraba para destruirla. Aquella mañana, un periódico local dio a conocer la noticia: el erudito héroe de guerra mantenía un romance ilícito con un muchacho de diecinueve años.¹⁴

Meses más tarde, Turing fue declarado culpable del crimen y sometido a un humillante tratamiento con estrógenos para “curarlo” de su homosexualidad. Fue perseguido por las autoridades y se le negó el permiso de seguridad para los proyectos de computación británicos ultra secretos en los que había participado. Murió dos años después, un suicidio manifiesto.

Antes de los fatales años en Manchester, Turing se había topado varias veces en su carrera con la red de emergencia en desarrollo. A comienzos de la década de 1940, en el punto álgido de la guerra, pasó varios meses en los legendarios laboratorios Bell de West Street, en Manhattan, trabajando sobre diferentes esquemas de encriptación, incluido un intento de transmitir ondas fuertemente codificadas que pudieran decodificarse para el lenguaje humano con el uso de una clave especial. Apenas llegó a los laboratorios Bell, Turing pensó en usar otro invento de Bell, el Vocoder —que usarían después músicos de rock como Peter Frampton para combinar los sonidos de la guitarra con la voz humana—, como ejemplo de lenguaje codificado. (Hacia el comienzo de 1943, las ideas de Turing habían hecho posible la primera transmisión segura de voz, ininteligible para los espías alemanes.) Los laboratorios Bell fueron la base de operaciones de otro genio, Claude Shannon, fundador de la teoría de la información, cuyo trabajo exploraba los límites entre el ruido y la información. Shannon estuvo particularmente interesado en el potencial de las máquinas para detectar y amplificar patrones de información en canales de comunicación ruidosos, una línea de investigación que resultaba obviamente prometedora para una compañía telefónica,

pero que además podía salvar miles de vidas en una guerra que consistía fundamentalmente en enviar y descifrar códigos. Shannon y Turing⁵ reconocieron inmediatamente que habían estado trabajando en la misma dirección: ambos eran decodificadores profesionales, y en sus intentos por construir máquinas automatizadas que pudieran reconocer patrones de señal sonora o secuencias numéricas habían atisbado un futuro poblado por un mayor número de máquinas inteligentes. Shannon y Turing compartieron muchos largos almuerzos en los laboratorios Bell, intercambiando ideas acerca de un “cerebro electrónico” que fuera capaz de reconocer patrones como sólo podía hacerlo un ser humano.

En principio, Turing había imaginado su máquina de pensar en términos de posibilidades lógicas, de habilidades para ejecutar una variedad infinita de rutinas informáticas. Pero Shannon lo instó a pensar la máquina como algo más cercano al cerebro humano real, capaz de reconocer patrones más matizados.¹⁶ Un día, durante el almuerzo en el laboratorio, Turing exclamó risueño ante sus colegas: “Shannon no sólo quiere introducir datos en un cerebro, isino también *cultura!* ¡Quiere hacerlo escuchar música!”. Shannon reconocía que las notas musicales eran también patrones, y si se pudiera entrenar a un cerebro electrónico para entender y responder a patrones lógicos de ceros y unos, quizás en el futuro podría entrenarse a las máquinas para apreciar patrones equivalentes de progresiones de acordes y arpegios en modo menor. La idea parecía irreal entonces; ya era bastante difícil lograr que una máquina hiciera divisiones extensas como para apreciar la *Novena sinfonía* de Beethoven. Pero el reconocimiento de patrones que Turing y Shannon intuyeron para las computadoras digitales es hoy una parte central de nuestra vida cultural; hay máquinas que generan música para nuestro entretenimiento y a la vez nos recomiendan nuevos artistas. La vinculación entre patrones musicales y nuestra conexión neurológica desempeñaría un papel central en uno de los textos fundadores de la inteligencia artificial moderna: *Gödel, Escher, Bach*, de Douglas Hofstadter. Nuestras computadoras no han desarrollado aún un oído genuino para la música, pero si alguna vez lo hacen, hay que buscar los orígenes de tal logro en las conversaciones de sobremesa de Turing y Shannon en los laboratorios Bell. Ese aprendizaje es también una forma de la emergencia, un orden de nivel superior que se forma a partir de componentes relativamente simples.

Cinco años después de sus encuentros con Turing, Shannon publicó un largo ensayo en el *Bell System Technical Journal* que fue rápidamente reeditado en forma de libro con el título *The Mathematical Theory of Communication* [Teoría matemática de la comunicación]. Con gran profusión de ecuaciones y títulos oscuros como “Sistemas discretos sin ruido”,¹⁷ el libro se transformó en un clásico, y la disciplina que divulgó —teoría de la información— tuvo un profundo impacto en la investigación científica y tecnológica que se desarrollaría a continuación, tanto en el aspecto teórico como en el práctico. *The Mathematical Theory of Communication* contenía una magnífica introducción a la teoría de Shannon para un público no especializado, escrita por el prestigioso científico Warren Weaver, quien había detectado tempranamente la relevancia del trabajo de Shannon. Weaver había desempeñado un papel fundamental en el departamento de Ciencias Naturales de la Fundación Rockefeller desde 1932 y cuando, a finales de la década de 1950, se retiró, escribió un extenso informe para la Fundación, destacando el avance científico logrado durante los veinticinco años anteriores. La ocasión propiciaba una reflexión retrospectiva, pero el documento que Weaver produjo (basado remotamente en un trabajo que había escrito para *American Scientist*) era mucho más anticipatorio y prospectivo. En muchos aspectos merece ser reconocido como el texto fundador de la teoría de la complejidad, la clave para que el estudio de sistemas complejos comenzara a pensarse como un campo unificado. Reuniendo por aproximación la investigación en biología molecular, la genética, la física, la ciencia informática y la teoría de la información de Shannon, Weaver dividió los últimos siglos de la investigación científica en tres grandes campos. En primer lugar, el estudio de sistemas simples: problemas de dos o tres variables, tales como la rotación de los planetas o la conexión entre una corriente eléctrica y su voltaje y resistencia. En segundo término, problemas de “complejidad desorganizada”, caracterizados por millones o miles de millones de variables cuya única posible aproximación es a través de mecánica estadística y teoría de probabilidades. Estas herramientas no sólo ayudaron a explicar el comportamiento de las moléculas en un gas o los patrones de herencia genética, también ayudaron a las compañías de seguros de vida a ganar dinero a pesar del limitado conocimiento que pudieran tener acerca de la salud futura de cualquier ser humano. Gracias al trabajo de Claude Shannon, la aproximación estadística también sirvió para

que las compañías telefónicas dieran un servicio de larga distancia más fiable e inteligible.

Pero había una tercera fase en esta progresión, y sólo estábamos comenzando a comprenderla. “Este método estadístico para abordar la complejidad desorganizada, tan poderoso como es con respecto a los métodos anteriores de dos variables, deja un extenso campo intacto”,¹⁸ escribió Weaver. Había una región intermedia entre las ecuaciones de dos incógnitas y los problemas que encierran miles de millones de variables. Convencionalmente, esta región involucraba un número “moderado” de variables, pero el tamaño del sistema era una característica secundaria:

Mucho más importante que el mero número de variables es el hecho de que estas variables están interrelacionadas. [...] Estos problemas, contrastados con las situaciones desorganizadas con las que puede lidiar la estadística, *muestran un rasgo esencial de organización*. Nos referiremos por tanto a este grupo como de *complejidad organizada*.

Pensemos en estas tres categorías de problemas en términos de la analogía con la mesa de billar que empleamos en la introducción. Un problema de dos o tres variables sería una mesa de billar corriente, con bolas entrechocándose de acuerdo con reglas simples, sus distintas velocidades, la fricción de la mesa. Ese sería un ejemplo de un “sistema simple”, y, por cierto, las bolas de billar se usan a menudo para ilustrar las leyes básicas de la física en los libros de texto de enseñanza media. Un sistema de complejidad desorganizada correspondería a la misma mesa de un tamaño que pudiera albergar un millón de bolas en colisión millones de veces por segundo. Hacer predicciones acerca del comportamiento de cada bola individual en el conjunto sería difícil, pero podrían hacerse algunas predicciones certeras acerca de la conducta general de la mesa. Si asumimos que desde el comienzo hay energía suficiente en el sistema, las bolas se distribuirán y cubrirán toda la mesa como moléculas de gas en un continente. Es complejo porque hay muchos agentes en interacción, pero es desorganizado porque no crean un comportamiento de nivel superior más allá de amplias tendencias estadísticas. La complejidad organizada, por el contrario, es como nuestra mesa de billar a motor, donde las bolas siguen reglas específicas y a través de sus varia-

das interacciones crean una macroconducta particular, disponiéndose en una forma específica o formando un patrón identificable en el tiempo. Para Weaver ese tipo de comportamiento sugería un problema de complejidad organizada, un problema que cuando se buscaba, de repente, parecía omnipresente en la naturaleza:

¿Qué hace que la primavera abra sus flores cuando las abre? ¿Por qué el agua salada no apaga la sed? ¿Cuál es la descripción del envejecimiento en términos bioquímicos? ¿Qué es un gen y cómo se expresa la constitución genética original de un organismo vivo en las características desarrolladas del adulto?

Éstos son problemas complejos. Pero no son problemas de complejidad desorganizada, para los cuales los métodos estadísticos tienen la clave. Son problemas que envuelven simultáneamente un número considerable de factores interrelacionados en un todo orgánico.¹⁹

Enfrentarse a esos problemas requería una nueva aproximación: “Las grandes preocupaciones del biólogo [...] son hoy abordadas no sólo desde arriba, con la visión global del filósofo natural que abarca todo el mundo orgánico, sino también desde abajo, por el analista cuantitativo que mide los hechos subyacentes”.²⁰ Éste fue un verdadero cambio de paradigma de la investigación, para usar la expresión de Thomas Kuhn, una revolución no tanto por las interpretaciones construidas por la ciencia en su intento de explicar el mundo como por los tipos de preguntas que se formulaba. El cambio de paradigma era más que una nueva actitud mental, de acuerdo con Weaver; anunciaba la aparición de nuevas herramientas. Para resolver los problemas de complejidad organizada una máquina capaz de realizar miles y millones de cálculos por segundo; una cifra inimaginable para cerebros individuales que operaban con los limitados instrumentos para calcular de los siglos pasados.²¹ A través de su conexión con el grupo de los laboratorios Bell, Weaver había anticipado el cómputo digital, y sabía que los misterios de la complejidad organizada serían mucho más fáciles de desvelar cuando se pudiera reproducir el comportamiento en tiempo real. Durante miles de años, los humanos habían usado su capacidad de observación y clasificación para documentar la sutil anatomía de las flores, pero por primera vez estaban a

punto de responder a una pregunta fundamental, una pregunta que tenía más que ver con patrones y su desarrollo en el tiempo que con una estructura estática: ¿Por qué una flor se abre en un determinado momento y no en otro? Y aún antes, ¿cómo sabe una simple semilla cómo convertirse en flor?

Alan Turing había desempeñado un papel fundamental en la creación del *hardware* y el *software* que impulsó esa primera revolución digital, y su trabajo sobre morfogénesis había sido uno de sus primeros intentos sistemáticos de imaginar el desarrollo como un problema de complejidad organizada. Es una de las grandes tragedias de esta historia que Turing no viviera para ver el extraordinario florecimiento que tuvo lugar cuando esos dos caminos se cruzaron; y no pudiera, ¡algo todavía peor!, participar de él.

Paradójicamente fue Warren Weaver quien generó la primera gran fisura en un trabajo que nada tenía que ver con las computadoras digitales; un trabajo perteneciente a un campo que no se consideraba parte de las ciencias duras. En los años posteriores a la guerra, los planificadores urbanos y los funcionarios de gobierno abordaron el problema de los barrios pobres urbanos desde una aproximación eminentemente descendente: demolían barrios enteros y construían desoladores edificios dormitorio, rodeados de jardines y parques descuidados. Los proyectos trataban de evitar la peligrosidad de las calles de la ciudad eliminándolas por completo, y mientras que los pisos en estos complejos marcaban en general una mejora en cuanto al espacio y la infraestructura, el entorno general rápidamente pasaba a convertirse en zona de guerra anónima que incrementaba la tasa de criminalidad y destruía la sensación de pertenencia al barrio.

En octubre de 1961, la Comisión de Planeamiento Urbano de Nueva York anunció un descubrimiento: una gran parte del histórico West Village era “una zona deteriorada y apta para la demolición, replanteamiento, reconstrucción y rehabilitación”. La comunidad del Village, una bulliciosa mezcla de artistas, escritores, inmigrantes puertorriqueños e ítaloamericanos de clase obrera, reaccionó con furia. En el centro de la protesta se encontraba una apasionada crítica urbana llamada Jane Jacobs. Jacobs acababa de encabezar una exitosa campaña para impedir la concreción de un plan del rey del desarrollo urbanístico, Robert Moses: la

construcción de una autopista que atravesara el Soho,²² y en ese momento estaba centrada en aquel proyecto. (La “rehabilitación” propuesta incluía la propia residencia de Jacobs en la calle Hudson.) En su valiente y exitoso esfuerzo por impedir la demolición del West Village, Jacobs argumentaba que el modo de revalorizar el barrio y restaurar la urbanidad dinámica de la vida en la ciudad no consistía en arrasar las zonas problemáticas, sino en observar las calles que sí funcionan y aprender de ellas. Jacobs había leído el ensayo de Warren Weaver de la Fundación Rockefeller durante la redacción de lo que sería *The Death and Life of the Great American Cities* [Muerte y vida en las grandes ciudades americanas], publicado poco después del enfrentamiento por la renovación del Village, y se había identificado inmediatamente con la exhortación de Weaver a explorar los problemas de complejidad organizada.

Bajo el aparente desorden de la ciudad vieja, en los sitios en que la ciudad vieja funciona bien, hay un orden maravilloso que mantiene la seguridad en las calles y la libertad de la ciudad. Es un orden complejo. Su esencia es un uso íntimo de las aceras acompañado de una constante sucesión de miradas. Este orden está compuesto de movimiento y cambio, y aunque es vida y no arte, bien podríamos llamarlo el arte de la ciudad y emparentarlo con la danza, no con una danza simple y exacta donde todos levantan las piernas al mismo tiempo, giran al unísono y saludan en masa, sino con un ballet intrincado donde los primeros bailarines y el resto del ballet tienen partes diferenciadas que se refuerzan milagrosamente unas a las otras y forman un todo ordenado.²³

Jacobs dio al último capítulo de *Death and Life*... el memorable título “Qué clase de problema es una ciudad”, y comenzó citando profusamente el ensayo de Weaver. Comprender cómo funciona una ciudad, dice Jacobs, requiere una aproximación al problema desde el nivel de la calle hacia arriba. “En partes de las ciudades que funcionan bien en algunos aspectos y mal en otros (como suele ser el caso), no pueden analizarse las virtudes y los errores, diagnosticar los problemas o considerar cambios beneficiosos sin abordarlos como problemas de complejidad organizada”, escribió. “Podremos desear análisis más simplistas y globales, y curas más simples, amplias y mágicas; pero el deseo no transformará estos pro-

blemas en asuntos más simples que la complejidad organizada aunque tratemos de evadir las realidades y de tratarlas como algo distinto de lo que son.”²⁴ Para comprender el orden complejo de la ciudad, era necesario comprender ese ballet en perpetuo cambio, donde las calles pierden su equilibrio; no puede abordarse el problema arrasando barrios enteros.

El libro de Jacobs revolucionó la manera en que pensamos las ciudades.²⁵ A través de su referencia a Weaver, construyó una visión de la ciudad que se correspondía con algo mayor que la suma de sus residentes; más próximo a un organismo vivo, con capacidad de adaptación. “Las ciudades vitales tienen asombrosas habilidades innatas maravillosas para comprender, comunicar, planificar e inventar lo que se requiere para contrarrestar dificultades”,²⁶ escribió. Toman su orden desde abajo; son máquinas de aprender, de reconocer patrones; aun cuando los patrones a los que responden no sean saludables. Un siglo después de que Engels percibiera la desaparición sistemática de los pobres urbanos en Manchester, la ciudad fue finalmente vista bajo el enfoque de la autoorganización.

La “complejidad organizada” se reveló como un modo constructivo de pensar la vida urbana, pero el libro de Jacobs era un trabajo de teoría social, no de ciencia. ¿Era posible modelar y explicar la conducta de sistemas autoorganizados usando métodos más rigurosos? ¿Podría la tecnología de la computación digital en desarrollo aplicarse con éxito a este problema? En parte gracias al trabajo de Shannon de fines de la década de 1940, las ciencias biológicas habían logrado numerosos y significativos avances en la comprensión del reconocimiento de patrones y retroalimentación para la época en que Jacobs publicó su obra maestra. Poco tiempo después de su ingreso en Harvard en 1956, el entomólogo Edward O. Wilson probó que las hormigas se comunican unas con otras y coordinan todo el comportamiento de la colonia a través del reconocimiento de patrones en el rastro de feromonas de las otras hormigas, algo parecido a las señales de AMPC del moho de fango. En la Universidad Libre de Bruselas en la década de 1950, Ilya Prigogine hacía avances sostenidos en la comprensión de la termodinámica del no equilibrio, entornos donde las leyes de la entropía quedan temporalmente suspendidas, y donde un orden de un nivel superior puede emerger espontáneamente del caos subyacente. Y en el Laboratorio Lincoln del MIT, un

investigador de veinticinco años llamado Oliver Selfridge experimentaba con un modelo para enseñar a una computadora a aprender.²⁷

Hay un mundo de diferencia entre una computadora que recibe pasivamente la información que se le suministra y otra que aprende activamente por sí misma. La primera generación de computadoras como la ENIAC procesó información suministrada y fue capaz de realizar cálculos variados con aquellos datos, basados en una batería de instrucciones con las cuales se las había programado. Éste fue un desarrollo sobrecogedor en tiempos en que “computadora” significaba una persona con una regla de cálculo y un borrador. Pero aún en aquellos días lejanos, los visionarios digitales habían imaginado una máquina capaz de un aprendizaje más abierto. Turing y Shannon discutieron acerca del futuro gusto musical del “cerebro electrónico” durante sus almuerzos en los laboratorios Bell, mientras que su colega Norbert Wiener escribió un himno líder de ventas acerca del poder de autorregulación de la retroalimentación en su manifiesto de 1949: *Cibernética*.

“Mi participación en todo aquello es principalmente una cuestión de buena suerte”,²⁸ dice Selfridge, sentado en su atestada oficina sin ventanas del MIT. Nacido en Inglaterra, Selfridge entró en Harvard a los quince años y comenzó su doctorado tres años después en el MIT, donde Norbert Wiener fue su tutor. A la temprana edad de veintiún años, Selfridge sugirió algunas correcciones a un trabajo de su mentor que había sido publicado a toda prisa; Wiener lo menciona en las páginas de agradecimientos de *Cibernética*. “Ahora creo que tengo el honor de ser una de las pocas personas vivas que se mencionan en el libro”, dice Selfridge riendo.

Tras una temporada de trabajo en proyectos de control militar en Nueva Jersey, Selfridge regresó al MIT a mediados de la década de 1950. Su regreso coincidió con una explosión del interés en la inteligencia artificial (AI), un desarrollo que le hizo conocer en Harvard a su entonces joven colega Marvin Minsky. “Mi preocupación por la AI”, explica Selfridge, “no era tanto el procesamiento real como el modo en que los sistemas cambian, cómo evolucionan; en una palabra, cómo aprenden”. Explorar las posibilidades de aprendizaje de la máquina recordó a Selfridge su propia educación en Inglaterra. “En la escuela en Inglaterra había leído *El Paraíso perdido*, de Milton”, cuenta, “y me había impresionado la imagen del Pandemonium, en griego, ‘todos los demonios’. Luego, después del nacimiento de mi segundo hijo, Peter, volví a *El Paraíso*

perdido, y los chillidos de los demonios despertaron algo en mí”. El reconocedor de patrones en el cerebro de Selfridge había dado con un modo de enseñar a una computadora a reconocer patrones.

“Proponemos aquí un modelo de proceso que creemos que puede mejorarse, desde el punto de vista de su adaptabilidad, para lidiar con ciertos problemas de reconocimiento de patrones que no pueden especificarse adecuadamente de antemano.”²⁹ Éstas fueron las palabras de apertura de Selfridge en un simposio a fines de 1958, en el mismo Laboratorio Nacional de Física del que Turing había escapado una década antes. La presentación de Selfridge tenía el memorable título “Pandemonium: un paradigma de aprendizaje”, y aunque tuvo escaso impacto fuera de la incipiente comunidad de ciencias de la computación, las ideas bosquejadas por Selfridge pasaron a formar parte de nuestra cotidianeidad, cada vez que añadimos un nombre en nuestro Palm o usamos un *software* de reconocimiento de voz para pedir información telefónica. Pandemonium, tal como Selfridge lo describió en su conferencia, no era un *software* específico, sino un modo de aproximación a un problema. El problema era ambicioso, dados los limitados recursos informáticos del momento: cómo enseñar a una computadora a reconocer patrones mal definidos o erráticos, como las ondas sonoras que componen el lenguaje hablado.

La lucidez del nuevo paradigma de Selfridge radicaba en el hecho de basarse en una inteligencia ascendente, distribuida, y no unificada de forma descendente. En lugar de construir un solo programa inteligente, Selfridge creó un enjambre de mini programas limitados, a los que llamó demonios. “La idea era tener un puñado de estos demonios vociferando jerarquías de forma ascendente”, explica. “Demonios de un nivel inferior gritando a demonios de otro superior gritando a otros de un nivel superior aún.”

Para comprender qué significa ese “griterío”, imagínense un sistema con veintiséis* demonios individuales, cada uno de los cuales está entrenado para reconocer una letra del alfabeto. El conjunto de demonios ve una serie de palabras y cada demonio “vota” si cada una de las letras representa la suya. Si la primera es una “a”, el demonio que reconoce “a” informa que es altamente probable que haya reconocido la combinación. Por la similitud de forma el reconocedor de “o” podría informar haber

reconocido esa combinación, mientras que el reconocedor de “b” diría enfáticamente que esa letra no es inteligible para él. Todos los demonios reconocedores de letras darían cuentas a un demonio superior que haría el recuento de votos para cada letra y elegiría al demonio más seguro. Luego el *software* pasaría a la siguiente letra de la secuencia, y el proceso comenzaría de nuevo. Al final de la transmisión el demonio maestro tendría una interpretación del texto transmitido basada en la reunión de votos de la democracia de demonios.

Naturalmente, la exactitud de la interpretación dependía de la precisión de los reconocedores de letras. Si se intenta enseñar a leer a una computadora, sería engañoso dar por sentado que se encontrará a veintiséis reconocedores de letras precisos. Selfridge perseguía una meta mayor: ¿Cómo enseñar a una máquina a reconocer letras o sonidos vocálicos, acordes menores, huellas digitales, en primera instancia? La respuesta le obligó a añadir otro nivel de demonios, y un mecanismo de retroalimentación a través del cual se clasificaran las apuestas de los distintos demonios. Este nivel inferior estaba compuesto de mini programas todavía menos sofisticados, entrenados para reconocer tan sólo rasgos físicos en bruto (o sonidos, en el caso del código Morse o de la lengua hablada). Algunos demonios reconocían rectas paralelas; otros, perpendiculares. Algunos buscaban círculos; otros, puntos. Ninguno de estos rasgos estaba asociado a una letra particular; los demonios de la base eran como niños de dos años capaces de informar de que estaban en presencia de formas determinadas, pero no de percibirlas como letras o palabras.

Al usar estos demonios con un mínimo de datos, podría entrenarse al sistema para reconocer letras, sin “saber” con anticipación nada del alfabeto. La receta era relativamente simple: presentar la letra “b” a los demonios del nivel inferior, y ver cuáles responden y cuáles no. En el caso de la letra “b”, los reconocedores de líneas verticales responderían junto con los reconocedores de círculos. Esos demonios del nivel inferior informarían a los reconocedores de letras de un eslabón superior en la cadena. Sobre la base de la información recabada por sus soldados, ese reconocedor arriesgaría una identidad de la letra. Después, esas apuestas serían clasificadas por el *software*. Si la apuesta es incorrecta, el *software* aprende a disociar a los soldados particulares de la letra en cuestión; si es correcta, fortalece la conexión entre los soldados y la letra.

* Se refiere al alfabeto inglés. [N. de la T.]

Al principio, los resultados son erráticos; pero si se repite el proceso mil veces o diez mil, el sistema aprende a asociar grupos específicos de reconocedores de formas con letras específicas y pronto será capaz de traducir oraciones enteras con notable exactitud. El sistema no tiene concepciones predefinidas acerca de la forma de las letras: se le entrena para asociar letras con formas específicas en la fase de clasificación. (Ésta es la razón por la cual un *software* de reconocimiento de escritura manuscrita puede adaptarse a muchos tipos de caligrafía, pero *no puede* adaptarse a una caligrafía que cambie día a día.) Esta combinación de comienzos erráticos que se organizan en resultados más complicados recordó a Selfridge otro proceso cuyo código estaba siendo descifrado en la forma del ADN. “El esquema bosquejado es en realidad una selección natural de los demonios”, explicó Selfridge. “Si son útiles para su función sobreviven y quizá son fuente de otros subdemonios que a su vez son juzgados de acuerdo con sus méritos. Es absolutamente razonable pensar que esto pueda tener lugar en una escala mayor... en lugar de tener un Pandemonium tendríamos un conjunto de Pandemoniums, todos contruidos de la misma manera, y emplearíamos la selección natural en el conjunto.”

El sistema descrito por Selfridge, con su aprendizaje ascendente y sus instancias evaluadoras de retroalimentación, aparece en los libros de historia como la primera descripción práctica de un programa de *software* emergente. El mundo se mueve hoy en un enjambre de millones de sus demonios.

A finales de la década de 1940, entre los estudiantes del MIT había un recién llegado del medio oeste llamado John Holland. Holland era también alumno de Norbert Wiener, y pasó buena parte de sus años universitarios trabajando en los prototipos de computación que se construyeron en Cambridge en esa época. Su inusual destreza en la programación hizo que IBM lo contratara en la década de 1950 para colaborar en el desarrollo de su primera calculadora comercial, la 701. Como alumno de Wiener, tenía una inclinación natural a experimentar formas de hacer que la perezosa 701 aprendiera de un modo más orgánico y de forma ascendente –similar al Pandemonium de Selfridge–; Holland y un grupo de colegas afines programaron con éxito una ruda simulación de la interacción neuronal. Pero IBM estaba entonces en el negocio de la ven-

ta de calculadoras, y por ende el trabajo de Holland fue ignorado y no le asignaron fondos suficientes. Después de unos años Holland volvió a la academia a obtener su doctorado en la Universidad de Michigan, donde acababa de formarse el Logic of Computers Group.³⁰

En la década de 1960, después de graduarse como el primer doctor del país en ciencias informáticas, Holland comenzó una línea de investigación que dominaría su trabajo el resto de su vida. Al igual que Turing, quiso explorar el modo en que reglas simples podían llevar a conductas complejas; como Selfridge, quiso crear un *software* que fuera capaz de un aprendizaje abierto. Su gran hallazgo fue el de utilizar las fuerzas de otro sistema abierto, de abajo arriba: la selección natural. Sobre el modelo del Pandemonium de Selfridge, Holland tomó la lógica de la evolución darwiniana y construyó un código. Llamó a su nueva creación “algoritmo genético”.

Un programa de *software* tradicional es un conjunto de instrucciones que indican a la computadora qué hacer: pintar la pantalla con píxeles rojos, multiplicar un conjunto de números, borrar un archivo. En general, esas instrucciones se codifican como una serie de caminos arborescentes: haz esto primero, y si llegas al resultado A, haz una cosa; si llegas al resultado B, haz otra. El arte de la programación consiste en imaginar cómo construir la secuencia de instrucciones más eficiente, la secuencia que obtenga más con el código menor, y con la menor probabilidad de colapso. Esto se hacía normalmente usando la mente del programador como materia prima y combustible intelectual. Se pensaba en el problema, se diseñaba la mejor solución, se introducía ésta en la computadora, se evaluaba su éxito, y después se hacían ajustes para mejorarla. Pero Holland imaginó otro enfoque: construir una lotería de posibles *software* y dejar que los programas exitosos *evolucionaran* a partir de aquella lotería.

El sistema de Holland se centraba en una serie de paralelismos entre programas informáticos y formas de vida en la tierra.³¹ Cada uno depende de un código maestro para su existencia: los ceros y unos de la programación informática y las cadenas helicoidales de ADN agazapadas en todas nuestras células (usualmente denominadas genotipos). Esos dos tipos de código dictan formas o conductas de un nivel superior [el fenotipo]: ser pelirrojo o multiplicar dos números. Con base en el ADN de los organismos la selección natural opera creando una enorme cantidad de variaciones genéticas, y evaluando después la tasa de éxito de las con-

ductas posibles desencadenadas por todos esos genes. Las variaciones que tienen éxito pasan a la siguiente generación, mientras que las que fracasan, desaparecen. La reproducción sexual asegura que las combinaciones innovadoras de genes se encuentren. Eventualmente aparecen mutaciones aisladas en el conjunto genético que introducen en el sistema caminos a explorar completamente nuevos. Si se atraviesa un número suficiente de ciclos, se obtendrá la receta para obras maestras de ingeniería como el ojo humano, sin un auténtico ingeniero visible.

El algoritmo genético fue un intento de captar ese proceso en el silicio. Holland reconoció que el *software* ya tiene un genotipo y un fenotipo; por un lado está el código en sí mismo, y por otro lo que el código hace. ¿Qué ocurriría si se creará una quiniela de genes con distintas combinaciones, y luego se evaluara la tasa de éxito de los fenotipos eliminando las cadenas menos exitosas? La selección natural descansa sobre un criterio completamente simple, aunque tautológico, para evaluar el éxito: los genes pasan a la siguiente generación si se sobrevive como para producir una nueva generación. Holland decidió dar un paso más para precisar la evaluación: sus programas serían admitidos en la siguiente generación si hacían mejor el trabajo de llevar a cabo una tarea específica, hacer cuentas, por ejemplo, o reconocer patrones de imágenes visuales. El programador podía decidir cuál sería aquella tarea; pero él o ella no podían enseñar directamente al *software* cómo llevarla a cabo. Podrían dar los parámetros que definirían la salud genética, luego dejarían que el *software* evolucionara por sí mismo.

Holland desarrolló sus ideas en las décadas de 1960 y 1970, usando principalmente papel y lápiz; incluso la tecnología más avanzada de la época era muy lenta para abrirse paso entre las miles de generaciones del tiempo evolutivo. Pero las veloces computadoras de arquitectura masiva de conexión en paralelo introducidas en la década de 1980, como la Connection Machine de Danny Hillis, eran ideales para explorar las posibilidades del algoritmo genético (GA). Y uno de los sistemas GA más impresionantes desarrollados para la Connection Machine se centraba exclusivamente en la simulación del comportamiento de las hormigas.

Era un programa llamado Tracker [rastreador], diseñado a mediados de la década de 1980 por dos profesores de la UCLA, David Jefferson y Chuck Taylor. [Jefferson estaba en el departamento de ciencias informáticas y Taylor era biólogo]. “Tomé la idea de la lectura del primer libro

de Richard Dawkins, *El gen egoísta*”, cuenta hoy Jefferson. “Ese libro me transformó. Defiende la teoría de que para ver la evolución darwiniana en acción sólo es necesario disponer de objetos que puedan reproducirse, hacerlo imperfectamente y tener algún tipo de limitación de recursos de modo que haya competencia. No importa nada más; se requiere de un axioma ínfimo y abstracto para hacer funcionar la evolución. Entonces se me ocurrió que los programas tienen esas propiedades, pueden reproducirse. Sin embargo, habitualmente se reproducen *exactamente*. Comprendí que si había un modo de que se reprodujeran imperfectamente, y si se disponía no sólo de un programa sino de una población entera de programas, sería posible simular la evolución con el *software* en lugar de hacerlo con organismos.”³²

Después de unos cuantos experimentos en pequeña escala, Jefferson y Taylor decidieron simular la conducta de las hormigas cuando aprenden a seguir el rastro de feromonas. “Tenía en mente a las hormigas. Buscaba criaturas simples, y la obra de Edward O Wilson sobre estos insectos acababa de aparecer”, explica Jefferson. “En realidad estábamos buscando una tarea simple que llevaran a cabo criaturas simples y buscábamos que no fuera obvio cómo conseguir que un programa lo hiciera. De alguna manera dimos con la idea de seguir un rastro; no un rastro claro sino uno confuso, entrecortado, ruidoso.” Los dos científicos crearon una retícula virtual de cuadrados y trazaron un sendero sinuoso que atravesaba ochenta y dos cuadrados. Su objetivo era desarrollar un programa simple, una hormiga virtual que recorriera el sendero en un lapso finito, usando información acotada de las vueltas y curvas del sendero. En cada ciclo la hormiga tiene la opción de “olfatear” el cuadrado por la parte delantera avanzando un cuadrado o girando 90 grados a la izquierda o la derecha. Jefferson y Taylor dieron a sus hormigas cien ciclos para navegar por el sendero; una vez que la hormiga usa los cien ciclos, el *software* registra la cantidad de cuadrados que ha atravesado y les otorga una puntuación. Una hormiga que haya perdido el rastro después del cuadrado número uno tendrá una puntuación de 1; la que haya completado el sendero antes de agotar los cien ciclos obtendrá la máxima puntuación, 82.

El sistema de puntuación permitió a Jefferson y Taylor crear criterios que determinarían qué hormigas estarían autorizadas a reproducirse. El Tracker comenzó por simular 16.000 hormigas —una para cada procesador de

la Connection Machine— con 16.000 estrategias más o menos azarosas para la navegación de rastreo. Una hormiga podría comenzar con la estrategia de avanzar en línea recta a través de la retícula; otra podría alternar yendo y viniendo entre rotaciones de 90 grados y olfateos; otra seguiría reglas más irregulares. La gran mayoría de estas estrategias tendrían un resultado desastroso, pero unas pocas permitirían abrirse paso a través de tramos más extensos del rastro. Esas hormigas más exitosas estarían autorizadas a adaptarse y reproducirse, y crear una nueva generación de 16.000 hormigas listas para seguir el rastro.

El sendero, apodado John Muir por el famoso ambientalista, comenzaba con un tramo relativamente recto, un puñado de giros a la derecha y secciones rectas más largas, después se iba complicando paulatinamente. Jefferson explica que lo diseñó así porque temía que las primeras generaciones fueran tan incompetentes como para que pudiera confundirlas un sendero más complejo. “Es necesario recordar que al comienzo de la experiencia no teníamos ni idea de si 16.000 hormigas era un número suficiente para que se diera la evolución darwiniana”, explica. “Y no supe si tomaría diez generaciones, o cien generaciones, o diez mil generaciones. No había teoría que nos guiara cuantitativamente respecto al tamaño de la población en el espacio o a la duración del experimento en el tiempo.”

Llegar a cien generaciones llevó alrededor de dos horas; Jefferson y Taylor adecuaron el sistema para hacer actualizaciones en tiempo real acerca de las hormigas más aptas de cada generación. Como un medidor de existencias, la Connection Machine emitía un número actualizado al cabo de cada generación: si la mejor rastreadora de una generación lograba alcanzar quince cuadrados en cien ciclos, la Connection Machine informaría que quince era el récord actual y pasaría a la siguiente generación. Después de algunos falsos comienzos por fallas o defectos, Jefferson y Taylor lograron poner en marcha el Tracker; los resultados superaron sus expectativas más optimistas.

“Para nuestra sorpresa y posterior alegría”, recuerda Jefferson, “tuvo éxito la primera vez. Nos sentamos y veíamos llegar los números: una generación daba 25, luego 25, y después 27, luego 30. En un momento vimos el resultado perfecto, después de apenas cien generaciones. Era sobrecogedor”. El sistema había desarrollado una población entera de rastreadoras expertas, a pesar del hecho de que Jefferson y Taylor hubie-

ran desprovisto a su primera generación de toda habilidad. En lugar de elaborar una solución para el problema del rastreo, los dos profesores de la UCLA hicieron evolucionar una solución; habían creado un conjunto aleatorio de programas posibles, después construyeron un mecanismo de retroalimentación que permitiera hacer emerger programas más competentes. De hecho, los programas que evolucionaron fueron tan competentes que desarrollaron soluciones a la medida de sus entornos. Cuando Jefferson y Taylor “diseccionaron” una de las hormigas campeonas para ver qué estrategias de rastreo había creado, descubrieron que el *software* había desarrollado una preferencia por los giros a la derecha, en respuesta a tres giros iniciales hacia la derecha que Jefferson había construido en el rastreador John Muir. Era como ver desarrollar branquias a un organismo vivo en el agua: incluso en la tosca y abstracta retícula del Tracker, las hormigas virtuales desarrollaron una estrategia de supervivencia que se adaptó increíblemente a su entorno.

El Tracker era sin duda un punto de inflexión genuino. Finalmente, las herramientas de la informática moderna habían avanzado hasta el punto de poder simular inteligencia emergente, ver cómo se desplegaba en la pantalla en tiempo real tal como Turing y Selfridge y Shannon lo habían soñado años atrás. Y fue muy acertado que Jefferson y Taylor hubieran elegido para la simulación justamente el organismo más famoso por su conducta emergente: la hormiga. Claro está que comenzaron con la forma más elemental de inteligencia —el rastreo de feromonas por el olfato—, pero las posibilidades que sugería el éxito del Tracker eran interminables. Se había logrado dominar las herramientas del *software* emergente para modelar y comprender la evolución de la inteligencia emergente en los organismos del mundo real. En verdad, al ver evolucionar a las hormigas virtuales en la pantalla de la computadora, al verlas aprender y adaptarse a sus entornos por sus propios medios, era inevitable preguntarse si acaso la división entre lo virtual y lo real no estaba volviéndose más y más borrosa.

En la simulación computada de la conducta del moho de fango de Mitch Resnick había dos variables claves, dos elementos que pueden ser alterados en la interacción con la simulación. El primero de ellos es el número de células de moho de fango en el sistema; el segundo es la longitud física y temporal del rastro de feromonas dejado por cada célula cuan-

do surca la pantalla. (Puede haber largos rastros que se evaporan en minutos o cortos que desaparecen en segundos.) Dado que las células del moho de fango deciden colectivamente agregarse de acuerdo con sus encuentros con rastros de feromonas, la alteración de estas dos variables puede tener un enorme impacto en la conducta simulada del sistema. Si se mantiene un rastro corto y pocas células, el moho de fango seguramente rehusará agregarse. La pantalla se verá como una atareada galaxia de estrellas fugaces donde no aparecen formas de mayor tamaño. Pero si se aumenta la duración de los rastros y el número de agentes, en un punto claramente definido se formará de repente una colonia de células. El sistema ha llegado a una transición de fases y se mueve de un estado discreto a otro, basándose en la “complejidad organizada” de las células del moho de fango. Esto no es gradual sino repentino, como si se hubiera encendido un interruptor. Pero no hay quien encienda el interruptor, no hay marcapasos, sólo un enjambre de células aisladas en colisión unas con otras que dejan a su paso huellas de feromonas.

La historia del desarrollo intelectual —el origen y circulación de nuevas ideas— suele presentarse bajo dos envoltorios diferentes: o bien la teoría del “gran hombre”, donde un genio aislado tiene un momento de lucidez en el laboratorio o la biblioteca y el mundo se transforma inmediatamente; o bien la teoría del “cambio de paradigma”, donde los habitantes de los grandes salones de la ciencia se despiertan y se encuentran con que les han construido un piso enteramente nuevo sobre sus cabezas, y en unos pocos años todos dejarán de trabajar en las nuevas oficinas. Ambas teorías son inadecuadas: la historia del gran hombre ignora el esfuerzo distribuido, común, que está implícito en cualquier avance intelectual importante; y el modelo de cambio de paradigma no consigue explicar cómo se construye realmente el nuevo piso. Sospecho que la simulación del moho de fango de Mitch Resnick puede ser una metáfora más adecuada para explicar cómo ocurren las revoluciones de ideas: piensen en esas células del moho de fango como investigadores de un campo determinado; piensen en los rastros como una forma de memoria institucional. Con tan sólo unas pocas mentes explorando un problema dado las células están desconectadas, deambulando sobre la pantalla como unidades aisladas; cada una sigue su propio curso errático. Con rastros de feromonas que se evaporan rápidamente, las células no dejan huella de su progreso, como un ensayo publicado en una revista que se

queda en un estante de una biblioteca sin leer durante años. Sin embargo, si se conectan más mentes al sistema y se da a su trabajo un rastro más largo y duradero —publicando sus ideas en *best sellers*, o fundando centros de investigación para explorar esas ideas—, en poco tiempo el sistema llega a una transición de fases: las corazonadas aisladas y las obsesiones privadas convergen en una nueva forma de mirar el mundo compartida por miles de individuos.

Esto es exactamente lo que ocurrió con el conjunto de ideas vinculadas con el *bottom-up*, “de abajo arriba”, en las tres últimas décadas. Después de años de investigaciones aisladas, los diversos trabajos de Turing, Shannon, Wiener, Selfridge, Weaver, Jacobs, Holland y Prigogine dieron lugar a una revolución en nuestra forma de pensar el mundo y sus sistemas. Cuando Jefferson y Taylor comenzaron a esbozar su trabajo con hormigas virtuales a mediados de la década de 1980, los rastros de investigación intelectual habían crecido y se habían interconectado lo suficiente como para crear un orden de nivel superior (llamémoslo la emergencia de la emergencia). Un campo de investigación que se había caracterizado por un puñado de investigaciones en estado prematuro floreció de la noche a la mañana en un paisaje rico en variedad y densamente poblado, transformando docenas de disciplinas existentes e inventando otras nuevas. En 1969, Marvin Minsky y Seymour Papert publicaron “Perceptrons”; su trabajo estaba construido sobre la base del dispositivo Pandemonium de Selfridge para el reconocimiento distribuido de patrones y abría el camino para la teoría ascendente de la Sociedad de la Mente de Minsky, que se pondría en marcha durante la década siguiente. En 1972, un profesor de la Universidad Rockefeller llamado Gerald Edelman ganó el premio Nobel por su trabajo de decodificación del lenguaje de las moléculas de anticuerpos, abriendo el camino para la comprensión del sistema inmunológico como dispositivo de autoaprendizaje de reconocimiento de patrones. Cinco años después llegó el Nobel de Prigogine. Al final de esa misma década, Douglas Hofstadter publicó *Gödel, Escher, Bach*, vinculando la inteligencia artificial, el reconocimiento de patrones, las colonias de hormigas y las *Variaciones Goldberg*. A pesar de lo arcaico del tema y de su retórica estructura, el libro fue un *best seller* y ganó el premio Pulitzer de no ficción.

Hacia mediados de la década de 1980, la revolución estaba en pleno cambio. El Instituto Santa Fe fue fundado en 1984; *Caos: la creación de*

una ciencia, el libro de James Gleick, apareció tres años después y fue mundialmente aclamado y seguido de cerca por dos libros de divulgación científica, ambos titulados *Complexity* [Complejidad]. Nacieron los trabajos sobre vida artificial, en parte gracias al éxito de programas de *software* como el Tracker. En las humanidades, teóricos críticos como Manuel De Landa comenzaron a emplear las herramientas conceptuales de la autoorganización, abandonando la tendencia vigente del postestructuralismo o los estudios culturales. La transición de fases era completa; el llamado de Warren Weaver al estudio de la complejidad organizada había sido vigorosamente respondido. La “tierra media” de Warren Weaver había sido finalmente ocupada por la vanguardia científica.

Estamos viviendo la tercera fase de esa revolución. Se puede situar su punto de partida a comienzos de la década de 1990³³, el día en que Will Wright lanzó un programa llamado SimCity, que se convirtió en un *best seller* de las franquicias de videojuegos de todos los tiempos. SimCity inauguró también una nueva fase en la historia del desarrollo de la autoorganización: la conducta emergente no era sólo un objeto de estudio, algo que interpretar y modelar en el laboratorio. Era también algo que se podía *construir*, con lo que se podía interactuar, y que se podía vender. Aunque SimCity surgió a partir del desarrollo de la visión ascendente del mundo, sugería una apertura completamente nueva: SimCity era obra de la cultura, no de la ciencia. Su objetivo era entretener, no explicar.

Diez años después del lanzamiento de SimCity por Wright, existen en el mundo abundantes sistemas como éste, hechos por el hombre: los comercios *on-line* hacen uso de ellos para reconocer nuestros gustos culturales; los artistas para crear un nuevo tipo de formas culturales adaptadoras; los sitios de la Web para regular sus comunidades *on-line*; los especialistas en marketing para detectar patrones demográficos en el público general. La propia industria de los videojuegos ha crecido espectacularmente, superando a Hollywood en cifras de venta brutas; muchos de los *best sellers* son fruto de las posibilidades de la autoorganización digital. Junto al éxito popular ha tenido lugar un efecto secundario, sutil, pero significativo: comenzamos a *pensar* usando las herramientas conceptuales de los sistemas ascendentes. Al igual que las metáforas del relojero de la Ilustración, o de la lógica dialéctica del siglo XIX, la visión del mundo emergente pertenece a este momento, da forma a nuestros hábi-

tos de pensamiento, y tiñe nuestra percepción del mundo. A medida que nuestra vida cotidiana se va poblando de emergencia artificial, confiaremos cada vez más en la lógica de estos sistemas, tanto en la Norteamérica corporativa, donde la “inteligencia de abajo arriba” ha comenzado a sustituir la “gestión de calidad” como mantra de moda, como en los movimientos radicales de protesta antiglobalización, que modelan explícitamente sus organizaciones sin marcapasos y de forma distribuida, como las colonias de hormigas y el moho de fango. El ex vicepresidente Al Gore es un entusiasta de la teoría de la complejidad y puede hablar horas acerca de lo que podría significar el paradigma ascendente para reinventar el gobierno. Casi dos siglos después de que Engels luchara contra los fantasmas de las calles de Manchester, y cincuenta años después de que Turing se preguntara acerca de los misterios de la floración, el círculo por fin está completo. Tal vez nuestras mentes estén equipadas para buscar marcapasos, pero estamos aprendiendo rápidamente a pensar de forma ascendente.³⁴