

SISTEMAS COMPLEJOS

Complejidad, tecnología y sociedad

La evolución técnica y social de la humanidad ha estado marcada por la necesidad de controlar un entorno de complejidad creciente. ¿A qué se debe esa tendencia? ¿Cómo está afectando a la ciencia, la educación y las formas de gobierno?

Carlos Gershenson

EN SÍNTESIS

La tecnología ha ejercido un efecto profundo sobre nuestras sociedades. Por un lado, nos permite afrontar la complejidad del entorno; por otro, también la incrementa.

Esa tendencia puede explicarse a partir de la ley de la variedad requerida, un resultado demostrado hace más de cincuenta años en el contexto de la cibernética.

La retroalimentación tecnológica ha llevado a la ciencia a un punto de inflexión. Gracias a los ordenadores, hoy resulta posible analizar fenómenos complejos.

Una ciencia de los sistemas globales permitiría manejar los retos científicos, educativos y sociales a los que se enfrentará un planeta cada vez más conectado.



CARLOS GERSHENSON

AUTOORGANIZADOS: Este mosaico (*Everybody's hive*, acrílico sobre lienzo del autor) evoca varias de las características que permiten entender nuestras sociedades desde la perspectiva de los sistemas complejos. El color de cada individuo ha sido escogido al azar, pero con la restricción de que no puede coincidir con el de ninguno de sus vecinos. Como resultado, emerge un patrón cromático que sigue reglas locales bien definidas pero cuya estructura global no puede predecirse a priori.

Carlos Gershenson dirige el departamento de ciencias de la computación del Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), donde es líder del Laboratorio de Sistemas Auto-organizantes. Es también investigador asociado y miembro del consejo directivo del Centro de Ciencias de la Complejidad de la UNAM.



NUESTRAS SOCIEDADES SE HAN VUELTO CADA VEZ más complejas. Globalización, conectividad, información... son palabras que oímos con frecuencia y que reflejan ese incremento de complejidad. Nuestros sistemas económicos, sociales o culturales cada vez conectan más elementos, presentan más interacciones y operan a mayor velocidad. ¿Cómo hemos podido afrontar ese aumento de complejidad con un cerebro que, en esencia, no difiere del de nuestros ancestros paleolíticos?

Esa progresión ha sido posible gracias a la tecnología. Su efecto sobre nuestras sociedades es doble: por un lado, nos permite manejar la complejidad; pero, por otro, también la genera. ¿Hacia dónde nos lleva esta tendencia?

Para entender mejor el problema, debemos primero aclarar a qué nos referimos al hablar de complejidad. Es común oír que nuestro mundo, nuestras ciudades, el lenguaje o el cerebro son complejos. Pero ¿qué es la complejidad?

El término procede del latín *plexus*, que significa «entretejido». Algo complejo resulta difícil de desmenuzar: no podemos separar sus partes constituyentes y estudiarlas de manera aislada porque son interdependientes.

Todo sistema complejo se caracteriza por la existencia de interacciones relevantes entre sus componentes. El comportamiento del conjunto no puede predecirse sin considerar dichas interacciones, ya que estas codeterminan el estado futuro de los componentes y, por tanto, del sistema. Más aún: esas interacciones pueden generar información nueva, que no se encuentra en las condiciones iniciales ni en las de frontera, lo cual limita de manera inherente nuestra capacidad para predecir el comportamiento de un sistema complejo.

Por ejemplo, aunque conozcamos con detalle todas las propiedades de una molécula, en general no podremos predecir con exactitud cómo reaccionará con otra hasta que hagamos el experimento. Ello se debe a que no disponemos de información

completa sobre sus interacciones hasta que estas tienen lugar.

Existen docenas de definiciones y medidas de complejidad. De manera intuitiva, podemos decir que la complejidad de un sistema aumenta con el número de componentes, con el número de interacciones (más interacciones entre el mismo número de componentes implican más complejidad), así como con la complejidad intrínseca a dichos componentes e interacciones.

VARIEDAD REQUERIDA

Manejar la complejidad requiere disponer de una complejidad aún mayor. Esta condición constituye una generalización de la ley de la variedad requerida, propuesta hace más de medio siglo por W. Ross Ashby en el contexto de la cibernética, el estudio científico del control y la comunicación en animales y máquinas.

La ley de la variedad requerida hace referencia a un controlador, el cual desea gobernar un sistema que puede adoptar diversas configuraciones. Para ejercer un control eficaz sobre ellas, la variedad del controlador habrá de ser mayor que la del sistema. En otras palabras, el primero deberá poseer un número de estados mayor que el segundo.

Pensemos en un brazo robótico que ha sido fabricado para manipular ciertos utensilios (pernos y tuercas, por ejemplo). Si deseamos que comience a manejar otros, su diseño deberá incorporar las eventualidades asociadas a esos nuevos elementos. Para hablar una lengua habre-

mos de dominar sus palabras, relaciones, usos y significados. Pero, si nos proponemos hablar dos, claramente habremos de dominar una variedad lingüística mayor que la necesaria para cada idioma por separado. En general, cuanto más complejo sea un sistema (el brazo robótico o el cerebro, en los ejemplos anteriores), mayor será la complejidad a la que podrá hacer frente.

Como aplicación de este principio, en nuestro grupo de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) hemos desarrollado un sistema de semáforos que se autoorganiza y adapta su complejidad a la del flujo vehicular. Los métodos tradicionales tratan la regulación del tráfico como un problema de optimización: intentan maximizar el flujo para una densidad de vehículos determinada. Sin embargo, el tráfico constituye un sistema complejo que cambia de manera constante, por lo que su control debe verse más como un problema de adaptación que como uno de optimización. Al incorporar la complejidad requerida, nuestro sistema de semáforos consigue reducir a la mitad el tiempo de espera de los vehículos.

Por sí mismo, nuestro cerebro solo puede hacer frente a una variedad y complejidad finitas, similares a la del entorno en que evolucionaron nuestros ancestros. Por eso estamos acostumbrados a pensar de manera «reduccionista», ya que nuestras facultades cognitivas no nos permiten considerar más que unas pocas variables al mismo tiempo.

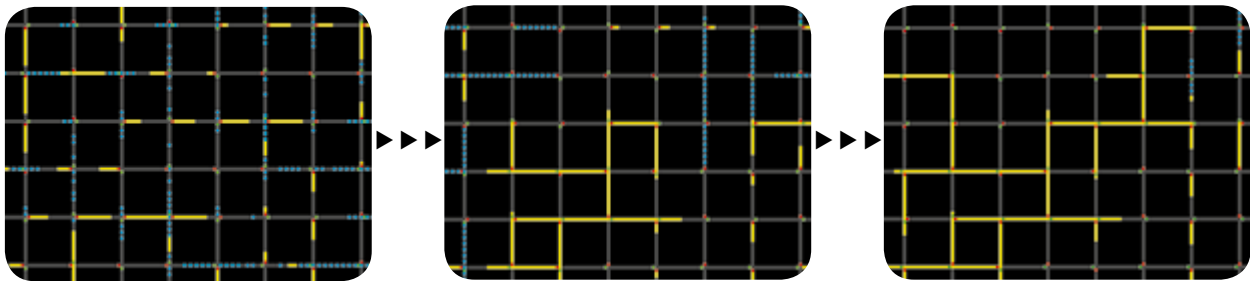
Hasta ahora, nuestra ciencia ha sido principalmente reduccionista: simplifica y aísla para poder predecir. Este método, iniciado en tiempos de Galileo, Newton, Laplace y Descartes, ha rendido unos frutos extraordinarios. En medicina ha duplicado la esperanza de vida en todo el mundo durante el último siglo, al iden-

Ventajas de la autoorganización

Una ley básica de la cibernética establece que cualquier «controlador» debe disponer de una complejidad mayor que la del sistema que desea gobernar; en caso contrario, el primero no podrá responder de forma adecuada a todas las configuraciones posibles del segundo. La aplicación de dicho principio permitiría mejorar la eficiencia de numerosos sistemas complejos presentes en las sociedades modernas.

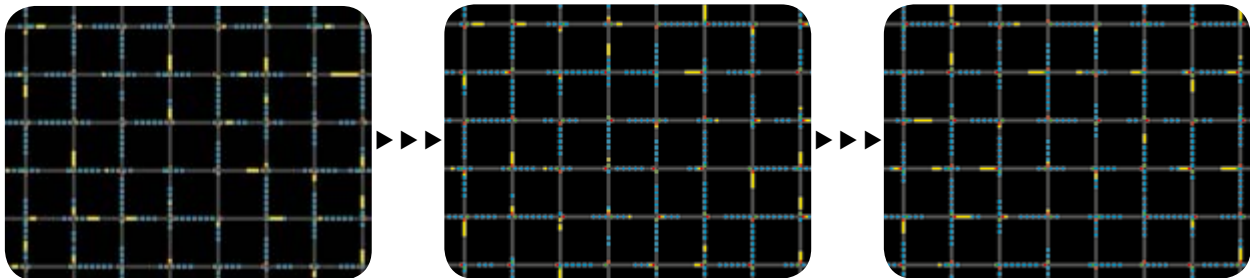
Un ejemplo sencillo lo hallamos en el tráfico rodado. El flujo de vehículos en una ciudad conforma un sistema interconectado cuyo grado de complejidad cambia constantemente. Según muestran las simulaciones llevadas a cabo por el equipo del autor, un sistema de semáforos que se adaptase en cada momento a la complejidad del tráfico reduciría de manera considerable el tiempo de espera medio de los vehículos. Las imágenes inferiores muestran las diferencias entre este método (*abajo*) y la manera tradicional de regular el tráfico (*arriba*).

■ Semáforo en verde ■ Semáforo en rojo ■ Vehículo en movimiento ■ Vehículo detenido



Enfoque tradicional basado en la optimización: Control centralizado

Las formas más habituales de regular el tráfico se basan en métodos centralizados: se intenta predecir el flujo promedio de los vehículos y, a partir de ese dato, se diseña un sistema de semáforos que minimice los tiempos de espera. Sin embargo, el número de automóviles que llegan a un cruce es casi siempre mayor o menor de lo esperado. Si el sistema no puede adaptarse a esos cambios, se producirán atascos y retrasos. En esta simulación, los semáforos acaban dando vía libre a calles que no tienen tránsito (*derecha*), una situación común en ciudades como México DF.



Nuevo enfoque basado en la adaptación: Control emergente

Un método alternativo consiste en permitir que cada semáforo tome sus propias decisiones de manera local. Un conjunto de sensores puede contar el número de vehículos que se acercan a un semáforo en rojo y dar la orden de cambiar a verde antes de que se acumulen demasiados. Junto con otras reglas simples, el sistema dará así preferencia a las calles con mayor demanda. Como resultado, el tráfico se autoorganiza de manera similar a como lo hace una bandada de pájaros: adaptándose a los cambios por medio de interacciones locales. Ello genera un flujo continuo y evita los cuellos de botella.

tificar y eliminar las causas de un gran número de enfermedades infecciosas. Se ha reducido considerablemente el hambre. Se han desarrollado ordenadores y formas de comunicación que han revolucionado nuestra cultura.

Sin embargo, dicho enfoque tiene sus límites. Hoy en día, la mayoría de las muertes en los países desarrollados se deben a enfermedades crónicas y degenerativas como el cáncer, la diabetes o los trastornos cardiovasculares. Se trata de

enfermedades complejas, con múltiples causas y por lo tanto sin una única cura. No tenemos una idea clara de nuestro impacto sobre el medio natural. Tampoco sabemos cómo manejar una economía globalizada, determinada por un sinnúmero de actores interdependientes.

Por un lado, la complejidad de nuestro entorno ha aumentado gracias a los avances científicos y técnicos. Por otro, la tecnología encierra el potencial para manejar dicha complejidad.

HOMO TECHNICUS

De manera general, llamaremos *tecnología* al conjunto de herramientas y habilidades usadas con cierto propósito. Entre otras muchas, eso incluye ordenadores, automóviles, teléfonos, libros, armas, medicamentos y lenguas. La nuestra no es la única especie creadora de tecnología. Algunos primates, delfines y cuervos han desarrollado herramientas con distintos propósitos. Sin embargo, hasta el momento somos la especie que ha generado

la tecnología más compleja y con mayor impacto sobre el entorno.

Desde un punto de vista biológico casi no nos diferenciamos de nuestros ancestros paleolíticos, cuya tecnología incluía fuego, ropa, armas y útiles de piedra, madera o hueso. Hoy, sin embargo, la tecnología nos permite realizar tareas mucho más complejas que las que podían llevar a cabo nuestros antepasados con el mismo cerebro. Jamás podríamos comunicarnos al instante ni transportarnos a otros continentes sin ayuda de nuestros artefactos. Ese espectacular aumento en nuestra capacidad para controlar y transformar el entorno ha sido posible gracias a la tecnología, más que a la evolución biológica.

Podemos decir que la tecnología ha aumentado nuestras facultades cognitivas. Como ha defendido el filósofo de la Universidad de Edimburgo Andy Clark, nuestros artefactos funcionan como una «mente extendida», ya que ejecutan tareas que antes llevábamos a cabo exclusivamente en el cerebro. Pero la tecnología va más allá: actúa como una especie de «muleta mental» que nos permite llegar mucho más lejos que nuestro cerebro. Por ejemplo, hoy ya resulta imposible memorizar toda la información que almacenamos en nuestros teléfonos celulares.

La tecnología no solo ha aumentado nuestra capacidad para manejar conceptos cada vez más complejos. También ha incrementado la complejidad de nuestras interacciones. La tecnología influye y determina de manera esencial nuestro comportamiento. Se ha convertido en un aspecto clave de lo que nos define como humanos.

MOTOR SOCIAL

A lo largo de la historia la tecnología ha ejercido una influencia clave sobre nuestras sociedades. El desarrollo de la agricultura permitió la transición de un estilo de vida nómada a otro sedentario. Al disponer de fuentes de alimento abundantes y relativamente seguras, las poblaciones crecieron y se fundaron las primeras ciudades. Ello aumentó el tamaño de las comunidades, lo que a su vez contribuyó a incrementar su complejidad.

Para hacer frente a dicha complejidad, se desarrollaron acueductos, murallas, sistemas de drenaje y de transporte. Todo ello propició la aparición de nuevas profesiones, lo que fomentó la especialización entre los miembros de la sociedad. Para intercambiar productos se inventó el

dinero, que media entre todas las transacciones comerciales posibles.

El desarrollo tecnológico de la Revolución Industrial fomentó aún más la migración hacia las ciudades —con efectos positivos y negativos—, trajo consigo la fabricación en masa, promovió la educación universal y generó nuevas clases sociales, organizaciones e ideales.

El siglo XIX conoció la posibilidad de transmitir información al instante a través de los océanos. La red de telégrafos se comparó con un «sistema nervioso planetario». Más tarde, el cine, la radio y la televisión hicieron posible la propagación masiva de información, con el potencial de llegar a millones de personas.

Los cambios sociales se están acelerando a un ritmo sin precedentes. ¿Qué nos espera?

Los primeros ordenadores llegaron a mediados del siglo XX. Su producción se masificó en la década de los ochenta. En los años noventa, la popularización de Internet no solo permitió transmitir ingentes cantidades de información, sino que brindó a los usuarios la posibilidad de crear su propio contenido. Hoy vivimos una transición hacia un escenario en el que la mayoría de las personas no solo serán consumidoras pasivas de información, sino también productoras. Se estima que cada día generamos el equivalente a 36 millones de libros en correos electrónicos, blogs y redes sociales.

La tecnología no solo ha contribuido a aumentar la complejidad de los individuos, sino también la de los grupos sociales, al coordinar y potenciar las interacciones entre personas. Ha llegado incluso a incrementar la complejidad del planeta como un todo, puesto que ha aumentado las interacciones entre las especies animales y vegetales de distintas partes del mundo.

UNA NUEVA CIENCIA

La tecnología ha afectado de manera considerable al desarrollo de la ciencia. Así como el telescopio y el microscopio nos permitieron estudiar una gran cantidad de fenómenos astronómicos y biológicos, la llegada de los ordenadores nos ha brindado por primera vez la posibilidad de investigar fenómenos complejos, desde el comportamiento colectivo de una bandada de pájaros hasta el funcionamiento del cerebro. Antes eso era inviable, ya que no contábamos con la complejidad requerida para analizar miles de variables interdependientes.

Al facilitar las interacciones sociales, la tecnología también ha acelerado la colaboración entre investigadores mediante el uso del correo electrónico, videoconferencias o repositorios compartidos. El acceso a códigos abiertos, bases de datos y publicaciones permite que cada vez más investigadores tengan contacto con conocimientos de todo tipo.

Un ejemplo lo hallamos en el sitio arxiv.org, donde los autores comparten manuscritos en su fase inicial. Aunque se trata de versiones preliminares, su acceso facilita la retroalimentación y propagación del conocimiento sin necesidad de esperar a los tiempos de publicación de las revistas especializadas. Los artículos de alto impacto se difunden con rapidez a través de las redes sociales, lo que acelera aún más las interacciones con potencial para generar nuevo conocimiento.

La tecnología también ha hecho posible que la población general participe en el proceso científico, el fenómeno conocido como ciencia ciudadana. En la web fold.it, por ejemplo, los usuarios juegan a plegar proteínas; una tarea sencilla que, sin embargo, ayuda a los científicos a abordar tareas que los ordenadores todavía no pueden resolver.

Nuestros dispositivos generan cada vez más datos. Según IBM, el 90 por ciento de los datos almacenados en todo el mundo en 2013 se habían creado durante los dos años anteriores. Eso quiere decir que, desde el inicio de la escritura hasta 2011, la humanidad produjo nueve veces menos datos que entre 2011 y 2013.

Por supuesto, no resulta nada trivial encontrar significado en tales cantidades de información. Con todo, el análisis de las pautas generales presentes en los macrodatos (*big data*) está permitiendo contrastar teorías en ciencias sociales, las cuales tenían que conformarse hasta hace poco con métodos discursivos por falta de datos. La tecnología nos está permi-

tiendo describir, modelizar, entender y, hasta cierto punto, controlar mejor los fenómenos sociales.

Por ejemplo, hoy resulta posible analizar patrones sociales a partir de los datos de teléfonos móviles o de la actividad en Twitter. Hace unos años, Google digitalizó cerca del 4 por ciento de todos los libros publicados a lo largo de la historia. Ello ha permitido estudiar la evolución de las culturas y los idiomas con enormes cantidades de datos: un nuevo campo que los investigadores de Harvard Jean-Baptiste Michel y Erez Liberman Aiden han denominado *culturómica*. No solo estamos obteniendo información cuantitativa sobre la cultura, sino sobre cómo ha cambiado esta a través de los siglos. Podemos decir que la tecnología nos está acercando más a encontrar las «leyes» de los fenómenos sociales.

La ciencia también se ha vuelto más «democrática», en el sentido de que la tecnología permite una mayor participación tanto en la recepción como en la generación de conocimiento, con el potencial de reducir las brechas sociales generadas por el dominio del conocimiento por parte de una minoría.

EDUCACIÓN

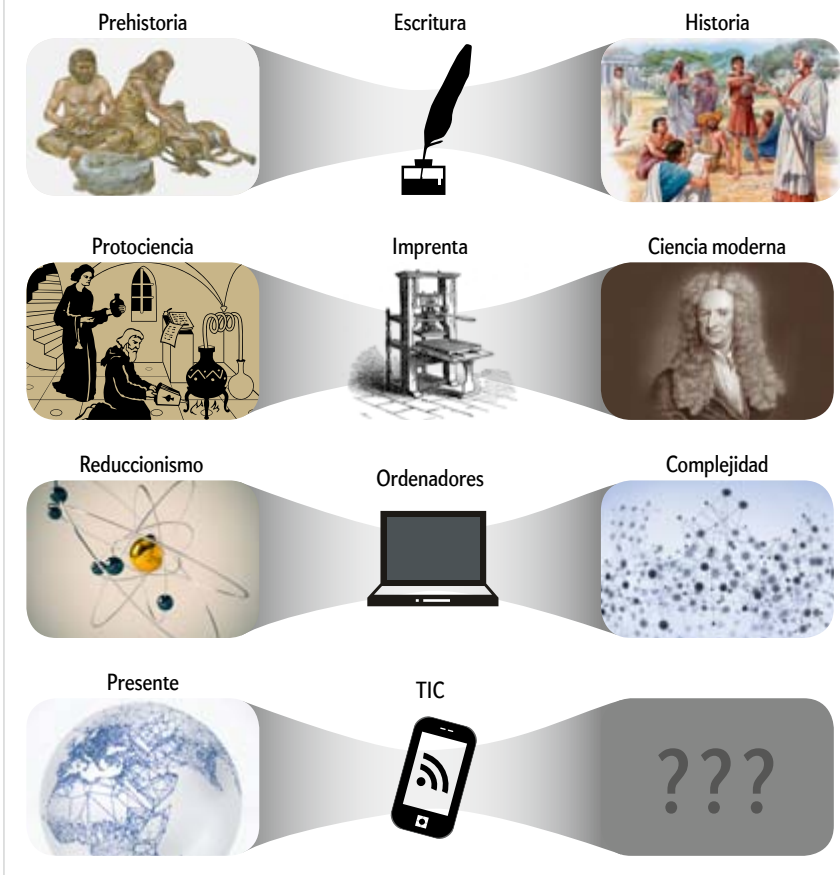
Nunca antes habíamos tenido tanto conocimiento tan disponible. Wikipedia constituye un claro ejemplo del poder de la colaboración a la hora de generar conocimiento. En poco tiempo se ha convertido en la enciclopedia con mayor cobertura de la historia, al facilitar que miles de personas escriban, corrijan y actualicen artículos. De nuevo, no solo se permite el acceso al conocimiento, sino que se facilita su generación y refinación.

La tecnología posee el potencial de solucionar muchos de los problemas que aquejan a la educación en todos sus niveles. En general, nos está permitiendo incrementar la complejidad de los sistemas educativos, la cual ha de ser mucho mayor que la de los mejores docentes para poder hacer frente a la complejidad de la comunidad actual de estudiantes [véase «La educación en la era digital», por VV.AA.; Informe especial en INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, septiembre de 2013].

Desde hace un tiempo, los cursos abiertos masivos en línea (MOOC, por sus siglas en inglés) han demostrado el potencial de la tecnología para facilitar el proceso educativo a millones de estudiantes. Hace un año tuve la oportunidad de impartir un curso masivo sobre pensamiento científico en la plataforma

Cibernética del conocimiento

La tecnología ha transformado nuestras sociedades mucho más que la evolución biológica. La escritura facilitó la preservación de la información y, con ello, la transmisión del saber de una generación a las siguientes. La llegada de la imprenta a Europa permitió la rápida propagación del conocimiento, lo que espoleó el desarrollo de la ciencia moderna. Los ordenadores están generando un cambio el paradigma científico dominante, al permitirnos estudiar sistemas complejos con millones de componentes e interacciones. Las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) están transformando nuestras sociedades en formas que solo empezamos a imaginar.



Coursera (<https://www.coursera.org/course/ciencia>) que contó con más de 20.000 alumnos en la primera edición y más de 25.000 en la segunda. El éxito de los MOOC no solo se encuentra en los vídeos que cada estudiante puede estudiar y repasar a su ritmo, sino en la retroalimentación que se crea en los foros y en las evaluaciones entre compañeros, la cual resulta más compleja y personalizada que la que podrían lograr los mejores docentes con grupos pequeños.

Cuanta más tecnología se desarrolle para mejorar la educación, más personalizados y adaptativos podrán ser los procesos de aprendizaje, que podrán liberarse de unos programas excesivamente rígidos

y orientarse más hacia los intereses particulares de cada estudiante. Esa misma flexibilidad también puede aplicarse a otros sistemas, como los que usamos para regir nuestras sociedades.

GOBIERNO Y BUROCRACIA

Nuestra tecnología deja una huella digital. Esa información, que generan tanto sociedades como Gobiernos, puede explotarse para mejorar el funcionamiento de ciudades, organizaciones y burocracias. Por un lado, permite detectar y ajustar de manera automática retrasos y cuellos de botella en los flujos de información. Por otro, hace posible detectar la responsabilidad de distintos actores, lo que fomenta su buen

funcionamiento y, potencialmente, inhibe la corrupción.

Hace unos años, nuestro grupo desarrolló modelos de burocracias con capacidad de autoorganizarse. Una burocracia puede entenderse como una red en la que varios agentes deben comunicarse entre sí para llevar a cabo sus respectivas tareas. Comprobamos que, si a la estructura de la red se le permitía un ligero grado de adaptabilidad a las circunstancias de trabajo en cada momento (algo factible con medios electrónicos y firmas digitales), su eficiencia aumentaba de manera considerable.

En esa dirección, varios órganos de gobierno de distintos niveles han comenzado a adoptar prácticas de «datos abiertos» (*open data*). Al permitir el acceso a datos socioeconómicos, geográficos, sanitarios o de gasto público, aumenta la transparencia y la confianza que los ciudadanos depositan en sus instituciones. Al mismo tiempo, se fomenta la participación ciudadana en la captura y generación de información. De esta manera, los Gobiernos no solo ofrecen datos, sino que reciben muchos más de los que podrían conseguir por sus propios medios.

En Boston, la aplicación para teléfonos inteligentes Street Bump detecta baches en las calles a partir de los datos que recibe de los acelerómetros del teléfono cuando el usuario viaja en automóvil; después, envía esa información al Ayuntamiento. Otras aplicaciones integran información sobre el transporte en distintas ciudades y sugieren rutas a los usuarios. Desde hace un tiempo, nuestro grupo de la UNAM participa en un esfuerzo similar para mejorar la movilidad en Ciudad de México a través de la iniciativa www.livingmobs.com. Esta formó parte de una propuesta con la que, el año pasado, nuestro equipo ganó el premio Audi Urban Future 2014.

La tecnología no solo facilita que los ciudadanos participen en el uso y la generación de datos abiertos. Al igual que ocurre con la ciencia ciudadana, nuestras sociedades pueden funcionar de un modo más democrático y fomentar la participación de amplios sectores de la población en las decisiones políticas. Por supuesto, no resulta trivial que los Gobiernos estén dispuestos a ceder parte de su poder. Sin embargo, los ciudadanos que han logrado presionar a sus políticos en esta dirección, como ocurrió en Islandia entre 2009 y 2011, han mostrado las ventajas para todos de este enfoque.

Aunque algunas novelas futuristas han presentado la tecnología como una herramienta del autoritarismo, está en nuestras manos encauzar su potencial hacia el beneficio común, y no hacia el de unos cuantos a costa de la mayoría.

¿HACIA UNA EUDEMONÍA?

Cada vez generamos más información. Nuestros sistemas sociotécnicos incluyen cada vez más componentes y más interacciones. Los cambios sociales se están acelerando a un ritmo sin precedentes. ¿Qué nos espera?

En ocasiones, un mayor número de componentes contribuye a incrementar la robustez del sistema, puesto que, si un elemento falla, otros pueden tomar su lugar. Sin embargo, el aumento de las interacciones puede hacer que el sistema se torne más frágil, ya que provoca que los cambios se propaguen con rapidez.

Durante la Edad Media, la peste bubónica se extendió en forma de oleadas infecciosas durante años. Las epidemias actuales se propagan globalmente en días. Otro ejemplo del mismo fenómeno sucedió el 6 de mayo de 2010 en la Bolsa de Nueva York, cuando las transacciones automáticas provocaron el llamado *flash crash* de las 14:45. Aunque se han ofrecido varias explicaciones, nadie sabe a ciencia cierta qué fue lo que causó que el índice Dow Jones perdiese en unos instantes el 7 por ciento de su valor (la mayor caída de esas características de su historia) y recuperarse buena parte de las pérdidas pocos minutos después.

Casos como los anteriores demuestran que necesitamos con urgencia una ciencia de los sistemas globales. Este esfuerzo ha reunido a cientos de científicos en el ambicioso proyecto FuturICT,

liderado por el físico Dirk Helbing, de la Escuela Politécnica de Zúrich. Su objetivo consiste en desarrollar la ciencia y la tecnología necesarias para entender, modelizar y regular sistemas sociotécnicos a escala global en ámbitos como economía, educación, salud, ciencia, toma de decisiones, innovación, medio ambiente o urbanismo, entre otros [véase «Simular el planeta en tiempo real», por David Weinberger; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, febrero de 2012].

Al igual que otros proyectos similares, FuturICT no pretende predecir y controlar de manera absoluta los sistemas sociotécnicos, ya que su complejidad limita de manera inherente nuestra capacidad predictiva. Lo que sí persigue es entender mejor la complejidad de nuestro entorno, con el objetivo de poder hacerle frente de la manera más adecuada. Por supuesto, ello no evitará los problemas y las catástrofes, pero sí contribuirá a que estemos mejor preparados para reaccionar cuando se presenten.

¿Qué otros efectos ejercerá la tecnología sobre nuestras sociedades? ¿Seguirá aumentando su complejidad de manera indefinida, o nos encontraremos con un límite? Y, si hay uno, ¿dónde está?

Al respecto se han propuesto varios escenarios futuristas. Los más optimistas vaticinan una eudemonía, una sociedad en la que todos alcanzan la felicidad gracias a la tecnología. Los más pesimistas la ven como causa de un apocalipsis para nuestra especie, nuestro planeta o ambos. No cabe duda de que la tecnología goza de un potencial enorme, pero lo que finalmente determinará cuán cerca nos encontremos de uno de esos extremos será el uso que hagamos de ella. En último término, el futuro dependerá de nosotros, no de la tecnología.

PARA SABER MÁS

Natural-born cyborgs: Minds, technologies, and the future of human intelligence. Andy Clark. Oxford University Press, 2003.

Self-organizing traffic lights. Carlos Gershenson en *Complex Systems*, n.º 16, págs. 29-53, 2005. Disponible en www.complex-systems.com/pdf/16-1-2.pdf

Design and control of self-organizing systems. Carlos Gershenson. Coplt Arxiv, Mexico, 2007. Disponible en tinyurl.com/DCSOS2007

Smartocracy: Social networks for collective decision making. Marko A. Rodriguez et al. en *Hawaii International Conference on Systems Science*. IEEE Computer Society, 2007.

Towards self-organizing bureaucracies. Carlos Gershenson en *International Journal of Public Information Systems*, vol. 4, n.º 1, 2008. Disponible en www.ijpis.net/ojs/index.php/IJPIS/article/view/51

¿Cómo hablar de complejidad? Carlos Gershenson en *Llengua, Societat i Comunicació*, n.º 11, págs. 14-19, 2013. Disponible en revistes.ub.edu/index.php/LSC/article/view/5682

EN NUESTRO ARCHIVO

Comprender la complejidad. Geoffrey B. West en *IyC*, julio de 2013.

La era de los macrodatos. Informe especial. VV. AA. en *IyC*, enero de 2014.

La era de la informática universal. Gershon Dublon y Joseph A. Paradiso en *IyC*, septiembre de 2014.