

LA DEMOCRACIA EN LA ENCRUCIJADA DIGITAL





MARTIN HILBERT

Profesor de la Universidad de California, Davis, Estados Unidos. Doctor en Comunicación, Universidad del Sur de California, Estados Unidos, y Doctor en Economía y Ciencias Sociales, Universidad de Erlangen-Núremberg, Alemania.

Su investigación aborda un enfoque multidisciplinario que busca comprender el rol de la información y el conocimiento en el desarrollo de sistemas socio-tecnológicos complejos. Creador y coordinador del Programa Sociedad de la Información de CEPAL. En sus 15 años como Oficial de Asuntos Económicos de las Naciones Unidas, brindó asistencia técnica en el área de desarrollo digital a presidentes, expertos gubernamentales, legisladores, diplomáticos, ONGs y empresas, en más de 20 países.

hilbert@ucdavis.edu
www.martinhilbert.net



La revolución digital actualmente está destruyendo la democracia como la conocemos. Como resultado, la democracia está bajo amenaza en todo el mundo. Al mismo tiempo, las tecnologías digitales ofrecen el potencial de construir una “democracia más democrática” que cualquiera que hayamos visto en la historia. Necesitamos actuar rápidamente para convertir la amenaza actual en una oportunidad.

LA TECNOLOGÍA SIEMPRE HA ROTO Y HABILITADO LA DEMOCRACIA

La vigilancia, la manipulación de opiniones, los movimientos ocultos de preferencias, los ejércitos de robots de opinión, las burbujas de filtro y las cámaras de eco están en desacuerdo con los principios fundamentales de la democracia representativa. Se ha demostrado reiteradamente que han influido en elecciones y opiniones políticas [Boichak, Jackson, Hemsley, & Tanupabrungsun, 2018; Hilbert, Ahmed, Cho, Liu, & Luu, 2018; Kupferschmidt, 2017], y han intensificado la polarización en un grado que parece difícil de reconciliar con la ambición de crear una perspectiva común [Bakshy, Messing, & Adamic, 2015; Pariser, 2011].

La democracia es, en esencia, un problema de procesamiento de la información. Ésta es la razón por la cual estas tecnologías de procesamiento de información afectan el proceso democrático con tanta profundidad. Como resultado, en los últimos años se ha visto un cambio hacia los líderes autocráticos, muchos de ellos elegidos democráticamente, pero que están trabajando en el desmantelamiento de las tradiciones democráticas, a menudo con el uso explícito de herramientas digitales. El principal culpable no es la tecnología digital *per se*, sino el hecho que no hemos construido la tecnología adecuada y que no hemos ajustado nuestras instituciones democráticas.

La implementación de la democracia siempre ha ido de la mano con las posibilidades tecnológicas disponibles. Se le atribuye a Aristóteles el decir que la democracia solo se extiende

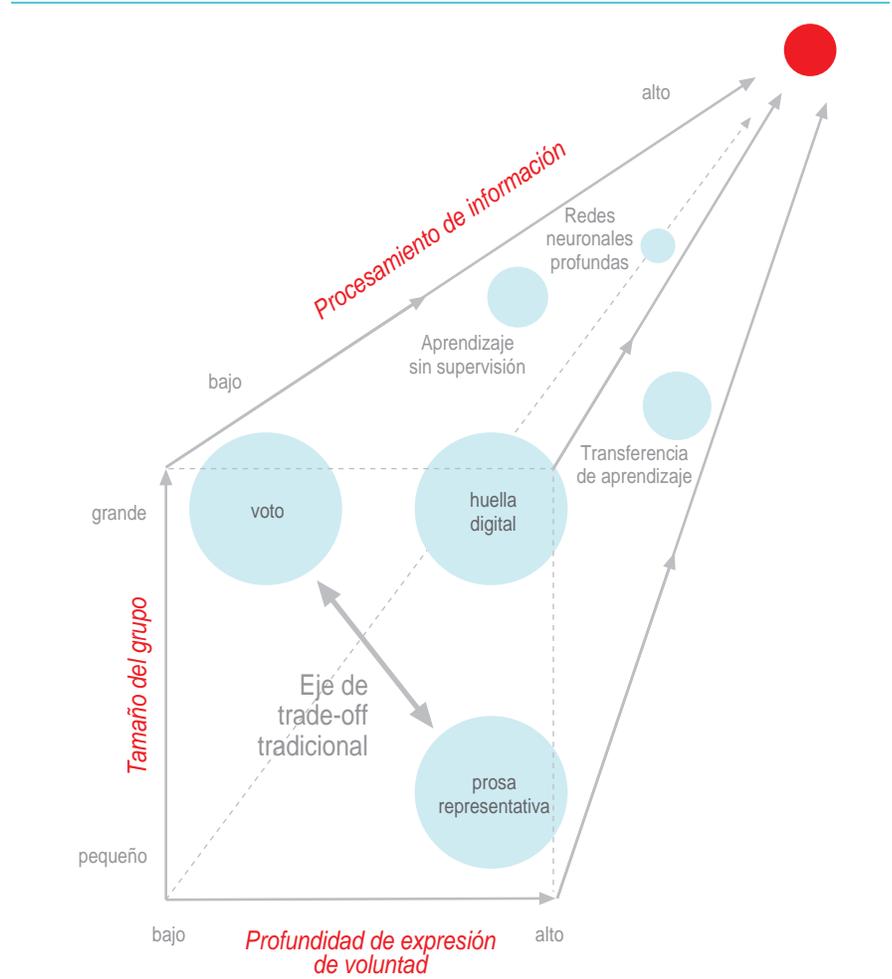


FIGURA 1. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL TRADE-OFF ENTRE EL TAMAÑO DEL GRUPO INVOLUCRADO EN LAS ETAPAS DE DELIBERACIONES Y TOMA DE DECISIONES, Y LA PROFUNDIDAD DE SU EXPRESIÓN DE VOLUNTAD.

hasta donde un hombre puede caminar en un día, ya que la información no podía viajar más distancia en un tiempo razonable. La democracia de Atenas se limitaba a una ciudad. Cuando Abraham Lincoln fue elegido en 1860, los ciudadanos de California tardaron cinco días en saber quién era el presidente, ya que el Pony Express tenía que llevar el mensaje por todo el país. Si bien la información de hoy viaja a la velocidad de la luz, las instituciones democráticas actuales siguen siendo muy similares a lo que han sido durante siglos. No debería sorprender que una revolución de la tecnología de la información y la comunicación, tan profunda como la revolución digital, haga obsoleta las instituciones democráticas, construidas para

una época donde la información, viajaba a la velocidad de un caballo. No debería sorprendernos que segmentos específicos de la sociedad aprendan a aprovechar el desajuste actual entre nuestra realidad digital y nuestras instituciones democráticas, para impulsar su propia agenda antidemocrática.

EL COMPROMISO DE TAMAÑO-PROFUNDIDAD

Históricamente, el desafío de la democracia ha sido tratar con demasiada información. Nuestro sistema actual de votación y democracia representativa es la respuesta al desafío

histórico de mediar entre la escala, o tamaño del grupo, y la profundidad de la expresión de la voluntad. El procesamiento digital de la información de hoy mantiene la promesa de romper este compromiso o *trade-off*. Si bien la idea de procesar las preferencias cualitativamente expresables de 7.500 millones de personas en todo el mundo parece desalentadora, la inteligencia artificial, como las *deep neural networks* o redes neuronales profundas, solo es efectiva cuando se la capacita en cientos de miles de millones de casos. Con la información digital, el big data no es una limitación, sino una oportunidad. El desafío consiste en crear tecnologías que puedan reconciliar el equilibrio entre la profundidad y la escala.

La **Figura 1** proporciona una esquematización de las ideas principales detrás del desafío tradicional de la democracia y el camino potencial hacia adelante con los medios digitales [basado en Hilbert, 2009]. En la práctica, las restricciones de procesamiento de la información no han permitido la participación significativa de todos. En respuesta, una gran variedad de diversos mecanismos y procedimientos han evolucionado a lo largo de los siglos. La mayoría de ellos básicamente giran en torno al conocido eje entre la democracia directa y la democracia representativa. La democracia representativa reduce el número de ciudadanos directamente involucrados en varias etapas de la deliberación. Un pequeño grupo, a menudo denominado "filtro de Madison" [Madison, 1787], está legitimado por el resto y lleva a cabo un discurso profundo en representación de la gente. La alternativa, la democracia directa, no reduce el número de participantes, sino que simplifica la expresión de opiniones. En lugar de entrar en un discurso de influencia mutua, un gran número de personas vota sobre un conjunto restringido de temas predefinidos. En la democracia moderna, el canal resultante comunica casi exactamente 1 bit de información del ciudadano en búsqueda de su voluntad democrática: izquierda o derecha. Éste es un ancho de banda vergonzosamente pequeño a la luz de las posibilidades de hoy.

La **Figura 1** ilustra la lógica detrás de la antagoría entre la opción de un pequeño cuerpo de

	Tamaño del grupo	Profundidad de expresión de voluntad	Procesamiento de información
Voto sí / no	↑	↓	↓
Prosa representativa	↓	↑	↓
Huella digital	↑	↑	↓
Democracia digital	↑	↑	↑

FIGURA 2
CLASIFICACIÓN DE LOS DIVERSOS MECANISMOS DE DEMOCRACIA DE ACUERDO AL TAMAÑO DEL GRUPO, PROFUNDIDAD DE EXPRESIÓN DE VOLUNTAD Y PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN QUE PERMITEN.

ciudadanos que filtran la opinión pública a través de discursos complicados y ambiguos (prosa representativa), y la alternativa de expresiones breves y predefinidas, pero indiscutiblemente expresiones de la mayoría (voto directo sí/no). El desafío actual de la e-democracy agrega una tercera dimensión a esta lógica originalmente bidimensional, que consiste en el procesamiento automático de la información. Las tecnologías que tienen tal vez el mayor potencial son las llamadas redes neuronales profundas [Goodfellow, Bengio, & Courville, 2016; LeCun, Bengio, & Hinton, 2015]. En la representación democrática, el objetivo es convertir las opiniones no estructuradas de las masas en resultados viables, canalizándolas a través de diferentes capas de representación (ya sea geográfica, cultural, de opinión o de perspectiva). El llamado aprendizaje profundo es sorprendentemente bueno para hacer exactamente eso, es decir, para equilibrar la tensión entre preservar la mayor cantidad de información posible sobre los datos originales y, al mismo tiempo resultar útil para la transformación de la información, incluso, no estructurada. En las redes neuronales profundas, esto se implementa a través de una red de múltiples capas (similar a las instituciones democráticas), en la que las unidades que no están en la capa de entrada o salida se denominan convencionalmente *unidades ocultas* (irónicamente, eso también es similar a las

instituciones de la democracia representativa...).

Las tecnologías modernas tienen como objetivo cerrar la brecha que surge por el antagonismo entre el tamaño del grupo y la profundidad de su expresión de voluntad. Como se muestra en la **Figura 2**, el objetivo es combinar la fortaleza de los grandes datos proporcionados por la huella digital, con decisiones procesables. Algunas soluciones apuntan a facilitar la "camisa de fuerza" de simplificación en torno a las opciones ofrecidas para votar, mientras que otras apuntan a permitir que más y más ciudadanos participen en la maraña impenetrable de las deliberaciones democráticas. El primer grupo apunta a aumentar el número de opciones cuantitativas, mientras que el segundo apunta a extraer ideas estructuradas de expresiones cualitativas.

IDEAS ACCIONABLES DESDE MÁS OPCIONES

Aumentar el número de opciones es tan fácil como proporcionar un cuestionario más complejo que la opción típica "izquierda/derecha" ofrecida en las elecciones de hoy. Las llamadas "apps de asesoramiento de votación" son una implementación de esto: los ciudadanos res-

ponden una serie de 20-50 preguntas simples, que luego se comparan con los programas de los partidos políticos para sugerir cómo votar. Los votos binarios de hoy siguen siendo un recurrente claro desde los tiempos en que no era factible ir más profundo computacionalmente, y si no llegan a un resultado claro, se establecen otros mecanismos institucionales, como los votos de segunda vuelta y las segundas rondas. Sin embargo, es bien conocido, a partir de los trabajos de los matemáticos Condorcet y Borda del siglo XVIII, que existen formas más elegantes y efectivas de determinar ganadores democráticos, simplemente mediante la explotación de más información. Borda, por ejemplo, ideó una escala que clasificaba las preferencias según la fuerza con la que se tenían. Curiosamente, al obtener preferencias de rango detalladas de los ciudadanos, el ganador casi nunca es una de las primeras opciones de la mayoría de todos los ciudadanos, sino un candidato de consenso, más abajo en el rango de todos. En este sentido, las instituciones existentes, como la segunda ronda de votación, prefieren enfrentar entre sí a los grupos de ciudadanos recompensando a la facción con un 50,1% y castigando a la otra facción con un 49,9%, en lugar de identificar un tercer candidato de consenso con el que todos los ciudadanos estarían conformes.

La combinación de una papeleta de votación informativa más rica con capacidades de aprendizaje automático conduce a otros beneficios potenciales. Podemos obtener información nueva altamente no intuitiva de las llamadas técnicas de aprendizaje no supervisadas. El análisis de componentes principales e independientes (PCA e ICA, respectivamente) se encuentra entre los algoritmos de aprendizaje de representación más antiguos, que se remonta a más de un siglo [Pearson, 1901]. Estos y otros algoritmos de aprendizaje relacionados (como el análisis factorial) esencialmente aprenden una variedad con regiones delgadas de alta probabilidad a lo largo de algunos ejes, y alargamientos a lo largo de otros, como una forma de panqueque [Hinton, Dayan, & Revow, 1997]. Uno de los logros iniciales de las redes neuronales profundas fue encontrar generalizaciones no lineales de PCA [Hinton & Sa-

lakhtudinov, 2006]. Estos algoritmos de aprendizaje también se pueden usar para desentrañar las opiniones y las estructuras de preferencias de diferentes grupos de ciudadanos, e incluso llevar a nuevas perspectivas sobre la estructura de opinión existente.

Por ejemplo, creamos un cuestionario que preguntaba a 126 estudiantes acerca de las preferencias sobre ocho temas relacionados con "Obamacare" y la contrapropuesta, llamada "Trumpcare". Aplicamos un algoritmo de aprendizaje no supervisado basado en PCA para analizar la distribución de esta voluntad popular. Una simulación de Monte Carlo de valor propio (también conocida como "análisis paralelo") sugirió identificar cuatro componentes dentro de nuestras ocho preferencias de políticas de rango ponderado. En conjunto, los cuatro componentes explicaron el 63% de la varianza total. Resultó que cada uno de los cuatro componentes estaba dominado principalmente por dos cargas, y que esto distribuía los ocho números de manera excluyente y exhaustiva. Además, y de manera bastante interesante, resultó que las dos cargas dominantes de cada componente siempre consistían en opciones de políticas opuestas: si una persona prefería la opción de Obamacare en un tema, lo que maximizaba la varianza de este componente era relativamente más apoyo para la opción Trumpcare en otro problema dominante (o viceversa). En otras palabras, en lugar de identificar los problemas que se encuentran en concordancia con los partidos políticos, los componentes principales cruzaron las líneas partidarias tradicionales de manera consistente, identificando los componentes que contrastaban las preferencias de cada parte.

Sobre la base de este resultado, creamos cuatro opiniones políticas estilizadas, que encarnan las estructuras de preferencias identificadas entre los partidos. Lo compartimos con los participantes, con el siguiente mensaje: "Después de la primera ronda de encuestas, las primarias han decidido que cuatro representantes políticos continuarán trabajando en la futura reforma de la atención médica. Los cuatro candidatos tienen las siguientes prioridades (informado por nuestra PCA). Por favor, clasi-

fíquelos desde el representante que mejor lo represente en estas deliberaciones, al que menos represente su opinión". El 89% de los participantes de nuestra primera ronda participaron en esta segunda ronda dos semanas después. Los participantes identificaron a dos de los cuatro representantes como los más representativos de sus preocupaciones. La opción que obtuvo el puntaje más alto optó por Obamacare cuando se trata del tema de la Salud de la Mujer, y por Trumpcare cuando se trata de MEDICAID (contra el apoyo a grupos de bajos ingresos). También les pedimos nuevamente que repitieran la encuesta original, y nuevamente detectamos este rasgo específico en la estructura de opinión del grupo. Esto reafirma que encontramos al menos una estructura de preferencias oculta importante en nuestro pequeño grupo de ciudadanos. Aquellos que se sienten fuertemente a favor de la opción de Obamacare para la Salud de la Mujer, se sienten menos favorables por la opción MEDICAID de Obamacare y favorecen la opción de Trumpcare, y viceversa. Esto no es de ninguna manera intuitivo (al menos no lo fue para nosotros), pero dentro de nuestro grupo ha sido revelado de manera consistente por el algoritmo de aprendizaje no supervisado.

Este hallazgo proporciona información importante para las negociaciones democráticas en torno al debate político en curso. Los votantes republicanos se molestaron cuando la tiranía de la mayoría favoreció la opción Obamacare de Salud de la Mujer, lo que lleva a resultados democráticos inestables. Varios de los temas involucrados han sido muy polémicos (incluido el financiamiento para abortos). Gracias al aprendizaje no supervisado, ahora sabemos que este acuerdo podría fortalecerse ofreciendo trabajar con la propuesta republicana en torno a MEDICAID. En promedio, hemos visto que aquellos que tienen como prioridad a Obamacare para la Salud de la Mujer, no tienen un fuerte apoyo de Obamacare para MEDICAID. Esto permite dar algo a la mayoría, y al mismo tiempo, ofrecer algo a la oposición.

Por supuesto, la intermediación de este acuerdo no satisfecerá a todos. Son estadísticas construidas a partir de promedios. También es impor-

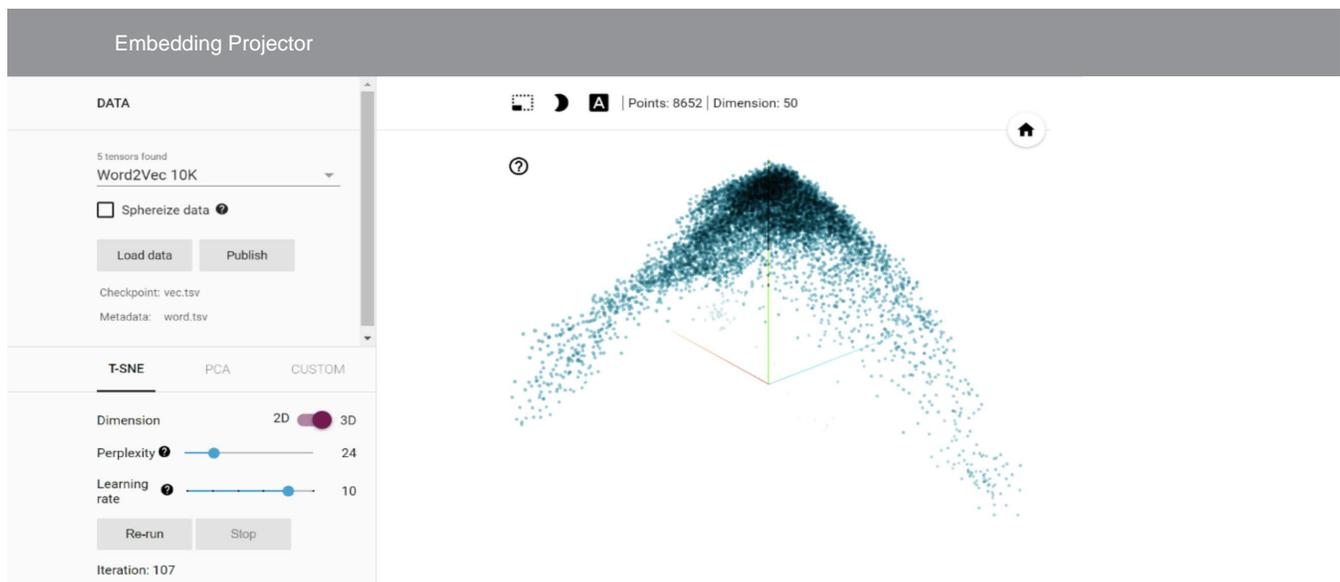


FIGURA 3 ESPACIO VECTORIAL WORD2VEC EXTRAÍDO A PARTIR DE 3.000 ARTÍCULOS PERIODÍSTICOS SOBRE LA REFORMA DEL SISTEMA DE SALUD ESTADOUNIDENSE.

tante enfatizar que no siempre es posible encontrar un óptimo que satisfaga a todos. Éste es un hecho matemático, debido a la multidimensionalidad de las estructuras de preferencias [Arrow, 1950]. Sin embargo a menudo se pueden encontrar óptimos locales, que satisfacen a la mayoría de las personas, y esto es democráticamente deseable. La nueva percepción podría ayudar a redactar proyectos de ley que disminuyan el número de ciudadanos frustrados y creen un resultado democrático más sostenible.

MAPEO DE ESPACIOS DE OPINIÓN MULTIDIMENSIONALES

Yendo un paso más allá, no solo podemos obtener los datos en bruto de la expansión de la papeleta de votación de una elección binaria a una encuesta larga, como se hizo en el caso anterior, sino el objetivo de extraer ideas procesables de expresiones de opinión puramente cualitativas. En lugar de pedirles a las personas que elijan entre opciones preformuladas, que a menudo ya distorsionan la voluntad de las personas, uno le pedirá a cada ciudadano que

simplemente exprese su opinión, de la manera que ellos deseen. Esto sería luego alimentado a una red neuronal profunda, que nos proveerá el espacio de opinión multidimensional que representa la realidad multidimensional de las opiniones democráticas mucho mejor que una perspectiva unidimensional de izquierda/derecha como fue realizado, por ejemplo, durante la consulta constitucional en Chile en 2016 [Fierro, Fuentes, Pérez, & Quezada, 2017].

La **Figura 3** visualiza este desafío en forma de un espacio vectorial Word2Vec [Mikolov, Sutskever, Chen, Corrado, & Dean, 2013], que creamos con la herramienta de acceso abierto de Google <http://projector.tensorflow.org/>. Recopilamos unos 3.000 artículos de opinión periodísticos sobre la reforma del sistema de salud estadounidense de Washington Post, CNN y Fox News, y creamos el siguiente espacio vectorial en 50 dimensiones (usando T-SNE para representarlo en 3D). Podemos ver claramente una forma de este espacio, y esperamos que éste nos permita comprender la estructura de opinión subyacente.

Este espacio fue creado mediante la conversión de palabras a vectores. Como ahora tratamos

con vectores, también podemos realizar las operaciones habituales de álgebra lineal en el espacio vectorial. "Por ejemplo, la relación hombre / mujer se aprende automáticamente, y con las representaciones vectoriales inducidas, "Rey - Hombre + Mujer" da como resultado un vector muy cercano a "Reina" [Mikolov, Yih, & Zweig, 2013]. En el mismo sentido, uno podría evaluar cuáles de los vectores que presentan intereses de un partido político se alinean más fuertemente con los intereses del partido opositor, y cuáles menos. Esto proporciona información importante para buscar soluciones de consenso al redactar proyectos de ley o al redactar mensajes políticos o agendas.

Es importante darse cuenta de que cada espacio vectorial creado es el resultado del conjunto de datos de entrenamiento subyacente. Experimentamos con algunas opciones y encontramos diferencias sensibles. Por ejemplo, si a nuestro espacio vectorial de la atención médica basado en 3.000 opiniones le damos cuatro términos ("hombre", "mujer", "inhumano", "Kevin") y calculamos cuál es el menos alineado con los demás, identificamos a "Kevin" como el menos alineado. Luego, entrenamos un espacio vectorial basado en un conjunto de

datos genérico de 3GB de Google y le hicimos la misma pregunta. Esta vez, identifiqué "inhumano" como el menos alineado. Ambas respuestas tienen sentido. "Kevin" es el único nombre, mientras que "inhumano" es el único término que describe algo que no es humano. Si nuestra ambición es utilizar dichas herramientas para el discurso democrático, debemos ser conscientes de estas diferencias sutiles. Queda, aún, mucho trabajo por hacer en este campo.

DE LOS POLÍTICOS A LOS ALGORITMOS

En resumen, el progreso tecnológico en el ámbito de la información y la comunicación llevó a un desajuste entre nuestra realidad tecnológica y nuestros procesos democráticos. Esto no es culpa de la tecnología en sí, sino de la tecnología que empleamos actualmente. La gran mayoría de las inversiones en el desarrollo del aprendizaje automático moderno y la inteligencia artificial tienen dos propósitos:

optimizar el marketing (por ejemplo, en Silicon Valley) y optimizar la seguridad nacional (por ejemplo, por la NSA, CIA, etc.). La adopción de las tecnologías resultantes con fines democráticos conduce a la creciente destrucción de la democracia. ¿Por qué debe una tecnología diseñada para optimizar la correspondencia económica entre la oferta y la demanda fomentar, también, el discurso democrático? ¿Por qué debe una tecnología diseñada para mantener a los ciudadanos seguros fomentar, también, las libertades democráticas individuales? Sería sorprendentemente agradable si fuera el caso, pero por el momento es algo demasiado ambicioso, y adoptar estas tecnologías para fines democráticos no ha funcionado.

Hasta ahora, no hay inversiones considerables para crear tecnología digital que realmente fomente la democracia. Sin embargo, en principio, dicha tecnología puede ser creada. Al mismo tiempo, será necesario reformar nuestras instituciones democráticas. Esto significará volver a escribir nuestras Constituciones. En una versión extrema de la visión propuesta,

una red neuronal profunda podría incluso reemplazar gran parte de lo que está haciendo el Congreso. En palabras de Madison: tomar la opinión pública en su "forma bruta" y "refinar y ampliar las opiniones del público, pasándolas a través de un medio" [Madison, 1787]. El medio no sería un grupo de personas, sino una red neuronal.

Por supuesto, uno no debería imaginarse el resultado final como una máquina mágica alimentada con la voluntad del pueblo, que luego produce leyes sólidas. Pero de la misma manera que las máquinas reemplazan actualmente gran parte del trabajo de abogados, periodistas, y analistas financieros, la inteligencia artificial también ofrece la posibilidad de reemplazar gran parte del trabajo realizado por representantes democráticos. La principal tarea de los representantes democráticos es sintetizar, expandir, refinar y ampliar la voluntad de los ciudadanos mediante el procesamiento de la información. Las máquinas son eventualmente mejores en eso. Y esto es algo bueno. Desde las revoluciones francesa y estadouni-



dense en el siglo XVII, ha sido la ambición de las democracias modernas reemplazar el "gobierno del hombre", que está sujeto a sesgos arbitrarios y de interés propio, con el objetivo del "estado de derecho" y el "imperio de la ley". Por definición, los algoritmos son el epítome del "imperio de la ley". Los algoritmos son la

encarnación del "imperio de la ley". La estructura de preferencia de los algoritmos no está tácitamente oculta o sesgada por intereses personales. Puede (¡y debe!) abrirse y verificarse de una manera muy transparente, mientras que, al mismo tiempo, procesa mucha más información de la que cualquier cerebro biológico podría

manejar. Como tales, nuestras democracias modernas solo pueden beneficiarse de la transferencia a algoritmos inteligentes de algunas tareas que hoy en día ejecutan nuestros políticos. ■

REFERENCIAS

- Arrow, K. J. (1950). A Difficulty in the Concept of Social Welfare. *Journal of Political Economy*, 58(4), 328–346.
- Bakshy, E., Messing, S., & Adamic, L. A. (2015). Exposure to ideologically diverse news and opinion on Facebook. *Science*, 348(6239), 1130–1132.
- Boichak, O., Jackson, S., Hemsley, J., & Tanupabrungsun, S. (2018). Automated Diffusion? Bots and Their Influence During the 2016 U.S. Presidential Election. In G. Chowdhury, J. McLeod, V. Gillet, & P. Willett (Eds.), *Transforming Digital Worlds* (pp. 17–26).
- Fierro, C., Fuentes, C., Pérez, J., & Quezada, M. (2017). 200K+ Crowdsourced Political Arguments for a New Chilean Constitution. In *Proceedings of the 4th Workshop on Argument Mining* (pp. 1–10). Copenhagen, Denmark: Association for Computational Linguistics.
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press.
- Hilbert, M. (2009). The Maturing Concept of E-Democracy: From E-Voting and Online Consultations to Democratic Value Out of Jumbled Online Chatter. *Journal of Information Technology & Politics*, 6(2), 87.
- Hilbert, M., Ahmed, S., Cho, J., Liu, B., & Luu, J. (2018). Communicating with Algorithms: A Transfer Entropy Analysis of Emotions-based Escapes from Online Echo Chambers. *Communication Methods and Measures*, 0(0), 1–16.
- Hinton, G., Dayan, P., & Revow, M. (1997). Modeling the manifolds of images of handwritten digits. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 8(1), 65–74.
- Hinton, G. E., & Salakhutdinov, R. R. (2006). Reducing the Dimensionality of Data with Neural Networks. *Science*, 313(5786), 504–507.
- Kupferschmidt, K. (2017). Bot-hunters eye mischief in German election. *Science*, 357(6356), 1081–1082.
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436–444.
- Madison, J. (1787). The Federalist No. 10 The Utility of the Union as a Safeguard Against Domestic Faction and Insurrection (continued). *Daily Advertiser*, Thursday, November 22. Retrieved from <http://www.constitution.org/fed/federa10.htm>
- Mikolov, T., Sutskever, I., Chen, K., Corrado, G. S., & Dean, J. (2013). Distributed Representations of Words and Phrases and their Compositionality. In *Advances in Neural Information Processing Systems* (pp. 3111–3119).
- Mikolov, T., Yih, S. W., & Zweig, G. (2013). Linguistic Regularities in Continuous Space Word Representations. Microsoft Research.
- Pariser, E. (2011). *The Filter Bubble: What the Internet Is Hiding from You*. Penguin.
- Pearson, K. (1901). LIII. On lines and planes of closest fit to systems of points in space. *Philosophical Magazine Series 6*, 2(11), 559–572.