

Juan Manuel López Zafra
Ricardo A. Queralt Sánchez de las Matas

ALQUIMIA

CÓMO LOS DATOS SE ESTÁN
TRANSFORMANDO EN ORO



Una crónica sobre el nacimiento
del Homo Algorithmus

DEUSTO

Alquimia

Cómo los datos
se están transformando en oro

JUAN MANUEL LÓPEZ ZAFRA

**RICARDO A. QUERALT
SÁNCHEZ DE LAS MATAS**



EDICIONES DEUSTO

© Ricardo Antonio Queralt Sanchez de las Matas, 2019

© Juan Manuel Lopez-Zafra, 2019

© STATPRO 2000 CLIMA, S.L, 2019

© Editorial Planeta, S.A., 2019

© de esta edición: Centro de Libros PAPP, SLU.

Deusto es un sello editorial de Centro de Libros PAPP, SLU.

Av. Diagonal, 662-664

08034 Barcelona

www.planetadelibros.com

ISBN: 978-84-234-3080-2

Depósito legal: B. 20.034-2019

Primera edición: octubre de 2019

Preimpresión: Medium Preimpresió

Impreso por Romanyà Valls, S.A.

Impreso en España - *Printed in Spain*

No se permite la reproducción total o parcial de este libro, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio, sea éste electrónico, mecánico, por fotocopia, por grabación u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito del editor. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (Art. 270 y siguientes del Código Penal).

Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra. Puede contactar con CEDRO a través de la web www.conlicencia.com o por teléfono en el 91 702 19 70 / 93 272 04 47.

Sumario

Introducción	11
1. El origen de los alquimistas	23
2. Finanzas y seguros	47
Los satélites toman Wall Street.	48
Sandy, un huracán de viento y datos.	57
3. Comercio minorista y servicios profesionales	73
El muerto que mutó en río	73
Ábrete, Sésamo.	79
No sé qué ponerme	82
¿Abogados de ciencias?	90
4. Comunicación corporativa y política	99
Nubes de puntos en la agenda del dircom	99
Política 2.0	112
5. Turismo	125
Sábanas de información.	127
Mi casa es tu casa	134
Billetes adaptativos	143
La isla conectada	148
6. Internet de las cosas y ciberriesgos, el desafío de los datos	153
Quiero llorar	153
Infecciones en la ciudad inteligente	157
Qué cosas tiene internet.	164

7. Deportes y salud	171
Ligas, anillos y otras prendas de vestir	172
Los datos salvan vidas	189
8. Bases del gobierno del dato.	207
9. Epílogo. La ética del dato y el cambio de paradigma.	
Hacia el <i>Homo algorithmus</i>	221
 Bibliografía	 241
 Referencias.	 245

El origen de los alquimistas

Octubre de 1950. *Mind*, la prestigiosa revista de filosofía de la Oxford University Press, publica «Computing machinery and intelligence», un artículo de 28 páginas en el que su autor, Alan M. Turing, plantea ya en la primera línea la pregunta que tratará de resolver a lo largo del texto: «¿Pueden las máquinas pensar?». El propio autor es consciente de las dificultades que supone dar respuesta a tal cuestión, y decide sustituirla por un juego que él mismo denomina *the imitation game* o el juego de la imitación. En él, un hombre y una mujer deben contestar a las preguntas de un tercero que, separado de ellos, debe averiguar, mediante preguntas, el sexo de ambos. La modificación del juego propuesta por el autor, de cara a responder la pregunta inicial, es sustituir por un ordenador o máquina a uno de los contendientes iniciales, de forma que la labor del juez sea descubrir quién es humano y quién no. En el caso de que las respuestas del juez cayesen por debajo de una tasa de acierto del 50 por ciento, Turing afirma que podría considerarse que, efectivamente, las máquinas pueden pensar. Esta versión del juego de la imitación es la que ha pasado a conocerse como test de Turing, y se mantiene, desde entonces, como la prueba definitiva acerca de la pretendida inteligencia de las máquinas.

Menos de seis años después, una iniciativa de John McCarthy, por entonces profesor adjunto de matemáticas del Dartmouth

College de New Hampshire, tomaba forma bajo lo que se ha conocido, desde entonces, como el «Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence».¹⁴ Otros promotores de ese período de reflexión abierta, que tuvo lugar durante dos meses en el verano de 1956, fueron Marvin Minsky (posterior fundador del laboratorio de inteligencia artificial del Instituto Tecnológico de Massachusetts [MIT, por sus siglas en inglés]), Nathaniel Rochester (diseñador de la primera computadora comercial de IBM, la 701) y Claude Shannon (investigador de Bell Laboratories y padre de la teoría matemática de la información). En esas sesiones de trabajo se acuñó el concepto de inteligencia artificial. El objetivo de esas sesiones de trabajo era arduo: «El estudio debe basarse en la conjetura de que cada aspecto del aprendizaje, o cualquier otra característica de la inteligencia, puede, en principio, describirse con tanta precisión que se puede hacer una máquina para simularla. Se intentará encontrar cómo hacer que las máquinas usen el lenguaje, formen abstracciones y conceptos, resuelvan tipos de problemas que ahora están reservados para los humanos y se mejoren a sí mismas».

Casi nadie por entonces pensaba que las máquinas pudiesen nunca superar el test de Turing. Cincuenta años después de la primera conferencia sobre inteligencia artificial, la conferencia de aniversario en el mismo Dartmouth College pretendía hacer algo más que homenajear a los visionarios que crearon una nueva disciplina científica, como era estudiar la evolución del concepto en esos años y plantearse dónde estaríamos cincuenta años después, en 2056. El propio McCarthy señaló entonces que para esa fecha estaremos muy cerca de lograrlo; Gordon Selfridge, el padre de la percepción artificial¹⁵ y también participante de la primera edición, no era tan optimista y señalaba que para entonces, y a pesar de estar rodeados por ellas, las máquinas no habrán alcanzado el esta-

14. Proyecto de investigación de verano de Dartmouth sobre inteligencia artificial.

15. Por «percepción artificial» se entiende la capacidad de un sistema informático de interpretar los datos de forma similar, cuando no análoga, a como lo hacemos las personas, sin intervención de elementos externos como un teclado o un ratón.

tus que les permita superar el test de Turing. Raymond Kurzweil tenía sólo ocho años cuando los demás se reunieron por primera vez en Hanover; sin embargo, en 2006 vaticinaba que el test sería superado en menos de 25 años. Su «profecía» fue recibida con cuchicheos, medias sonrisas, miradas oblicuas y conversaciones a media voz. Deep Blue ya había ganado a Garri Kaspárov casi nueve años antes, pero aún faltaban otros cinco para que Watson, el supersistema de IBM, entrase en escena. Desde entonces hemos transitado más de la mitad del camino marcado, y el progreso ha sido constante.

La historia del vehículo autónomo, capaz de decidir cuándo arrancar, acelerar, girar y parar, está íntimamente ligada a la exploración espacial y a la Universidad de Stanford. En 1961, el estudiante de grado James Adams trató de llevar a cabo la primera aproximación al por entonces muy lejano concepto. Y lo hizo para resolver un problema esencial para la NASA: controlar a distancia un vehículo que se desplazaría sobre la superficie de un planeta o satélite y que debería estar bajo control terrestre. Provisto de una cámara que miraba al frente y de cuatro ruedas de bicicleta, el experimento sirvió para comprobar cómo el tiempo de retardo existente entre el emisor y el receptor situado en la Luna (calculado en unos dos segundos y medio) hacía inviable el control si el vehículo circulaba a velocidades superiores a los 300 metros por hora. Dos años más tarde, las mejoras técnicas introducidas por Paul W. Braisted (también estudiante) elevaron la velocidad de control hasta 8 kilómetros por hora, pero siguieron sin resolver un problema fundamental: si el tiempo que la señal tardaba en llegar al vehículo era mayor que el tiempo necesario para esquivar un objeto imprevisto, la colisión era inevitable. Su evolución natural llegó al poco tiempo, y un primer proyecto de vehículo semiautónomo se puso en marcha en la misma Universidad de Stanford, en el campo de prácticas circular creado al efecto para probar tanto el vehículo como el recién nacido SAIL, o lenguaje de inteligencia artificial de Stanford; los problemas técnicos, derivados fundamentalmente de la lentitud del procesamiento de instrucciones (la velocidad del ordenador del que disponían los investigadores era de 650.000 instrucciones por segundo, o 0,65 MIPS, equivalente a la del primer

procesador que equiparon los ordenadores de propósito general, el Intel 8080 de 1974).¹⁶ Finalmente, en 1979, provisto de una cámara que se desplazaba de lado a lado del vehículo sin necesidad de moverlo, y con un ordenador que ya alcanzaba una velocidad de proceso de 2,5 MIPS, el estudiante de doctorado Hans Moravec, desplazado específicamente a Stanford para desarrollar su investigación sobre navegación visual, programó el vehículo para que de forma autónoma fuese capaz de recorrer una habitación plagada de obstáculos. El vehículo avanzaba un metro tras analizar, durante quince minutos, qué ruta debía tomar para evitar las colisiones. Fueron las cinco primeras horas de vida de un vehículo totalmente autónomo.

Muchas cosas ocurrieron a partir de entonces, siendo quizá la más importante la irrupción de Garri Kaspárov en el mundo del ajedrez y la enorme importancia que eso supuso, no sólo a nivel del juego, sino, también, sobre el desarrollo de la disciplina que nos ocupa. En 1984, el joven maestro azerí se desplazó a Hamburgo para preparar su segunda confrontación con el campeón Anatoli Kárpov, también natural de la Unión Soviética. En su entrenamiento tuvieron un papel fundamental los computadores específicos. En concreto, destacaron los equipos de NOVAG y SciSys de Hong Kong, Hegener & Glaser de Alemania y Fidelity de Estados Unidos, las cuatro empresas productoras de los mejores equipos de entonces y que, gustosamente, les enviaron para someterlos a la prueba definitiva: ganar a un candidato a campeón del mundo. Kaspárov se enfrentó a 32 computadoras en un ejercicio de simultáneas, con un resultado abrumador, al ganar todas las partidas. Poco después, y con sólo veintidós años, seis meses y veintisiete días, Kaspárov se proclamaba el campeón del mundo más joven de la historia hasta entonces. Sólo cinco años después, derrota sin ningún problema al programa Deep Thought en un encuentro a dos partidas. Más tarde, en 1996, Kaspárov se

16. Ésta es la V de velocidad del *big data*. Para hacernos una idea, basta saber que el procesador IBM de una Xbox 360 de 2005 trabajaba a 6.500 MIPS, y que el procesador Cell de la PlayStation 3 de 2006 lo hacía a 21.800 MIPS; por último, el Intel i7 5820K de 2014 alcanzaba los 33.120 MIPS y el i9 7900X de 2017, los 57.411 MIPS.

enfrenta a Deep Blue en formato estándar de campeonato, esto es, con controles usuales de tiempos. El de Bakú vuelve a ganar, aunque tras perder la primera partida contra el ordenador de IBM. Había declarado, antes de comenzar el juego, que ganaría a la máquina en cualquier circunstancia.

«Es sólo una máquina. Las máquinas son estúpidas.» Esa frase resultaría lapidaria, pues menos de quince meses después se enfrenta a la nueva versión de la máquina, conocida como Deeper Blue. Si la anterior podía analizar 100 millones de posiciones por segundo, esta doblaba esa capacidad. En su programación se habían empleado 700.000 partidas de ajedrez, seleccionadas por el equipo de grandes maestros que apoyó a IBM desde el comienzo; mediante 8.000 funciones, era asimismo capaz de evaluar el estado del juego en cada momento. La partida, con una enorme repercusión mediática, dio lugar a un documental¹⁷ y a una portada de *Newsweek* de esas que se califican como históricas, con Kaspárov (por entonces, una auténtica estrella) sosteniendo la figura del rey y un titular: «El último bastión del cerebro». Con empate tras cinco partidas, Kaspárov cometió un tremendo error al comienzo de la sexta y decisiva, que a la postre le supuso la derrota. El cansancio, la actitud del equipo de IBM, incluso una velada acusación de trampa; sea como fuere, Kaspárov perdió por vez primera contra una máquina, llegando a declarar posteriormente que llegó a sentir, por vez primera en su vida de partidas contra máquinas, «un nuevo tipo de inteligencia al otro lado de la mesa». Orgullosa, solicitó la revancha, a lo que IBM se negó. Hoy, Deeper Blue se expone en el Museo Smithsonian de Washington. Más allá de la victoria y lo que supuso (y, aún hoy, supone) como hito en la capacidad de aprendizaje de una máquina, los desarrollos de IBM permitieron explorar los límites del proceso en paralelo, y permitieron grandes avances en análisis de mercado y gestión del riesgo, en ciencia de datos gracias a la búsqueda de patrones repetitivos para poder anticipar escenarios probables, e incluso en dinámica molecular, un valio-

17. *Game over: Kasparov and the machine*, de Vikram Jayanti, coproducido por Alliance Atlantis y el National Film Board of Canada, 2003.

so instrumento para el desarrollo de nuevos fármacos.¹⁸ Desde la íntima perspectiva de la inteligencia artificial, para IBM supuso la semilla de un nuevo reto: diseñar y construir una nueva máquina que mejorase el rendimiento de Deep Blue. Eso suponía cambiar la forma de actuación. Ya no valdría la ingesta de cientos de miles de partidas de cara a aprender de ellas mediante fuerza bruta. El enfoque, si pretendía ser novedoso, debería permitir a la máquina aprender en situaciones imprevistas y tomar, en ellas, las mejores decisiones.

Pasarían casi catorce años hasta que ese momento llegase. *Jeopardy!* es uno de los concursos de televisión más populares de Estados Unidos. Nacido a mediados de los años sesenta, se ha emitido prácticamente sin interrupción desde entonces. Es un concurso de conocimiento general sobre cualquier cuestión, desde historia hasta folclore, pasando por artes o deportes. Todo cabe en el programa. En febrero de 2011, dos de los jugadores más importantes de la historia del programa, Ken Jennings (la persona que más victorias obtuvo, con 74 apariciones consecutivas) y Brad Rutter (el ganador del mayor premio hasta ese momento, de 3,25 millones de dólares) se enfrentaban a un tercero, Watson, que, por vez primera, no era humano. Se trataba de un supercomputador de IBM de diez servidores colocados en una sala aparte para evitar el ruido del sistema de refrigeración. A pesar de cometer errores en ciertas categorías, especialmente en aquellas con pistas cortas y pocas palabras, la evolución de Watson a lo largo del juego resultó sorprendente. Para cada pista, las respuestas más probables de Watson se mostraban en la pantalla del televisor. Watson tuvo acceso a 200 millones de páginas de contenido, estructuradas y no estructuradas, y consumió cuatro terabytes de almacenamiento en disco, incluyendo el texto completo de la Wikipedia en inglés. Watson no estuvo conectado a internet durante el juego. Al cabo de tres noches de duelo, Watson, nombrado así en honor al fundador de la compañía, derrotaba a sus contrincantes humanos para

18. La repercusión cultural ha sido, también, enorme; Kasparov *versus* Deep Blue es una banda de rock experimental que ha publicado un EP en 2014 y un álbum completo en 2016.

llevarse un premio de un millón de dólares. Todos los episodios fueron ganados por la máquina.

Poco antes, tres estudiantes de doctorado de la Unidad Gatsby de Neurociencia Computacional del University College de Londres creaban DeepMind Technologies. Demis Hassabis, cofundador con Shane Legg y Mustafa Suleyman, fue el segundo mejor jugador de ajedrez del mundo de menos de catorce años, y con diecisiete ya había recibido el premio Golden Joystick al mejor videojuego del año, según decidieron los usuarios. Presentó, junto con sus socios, una curiosa versión del Breakout de Atari. Este videojuego de salón fue muy popular en los años ochenta; el jugador controla la barra inferior mediante movimiento derecha-izquierda y debe romper la mayor cantidad de ladrillos que forman el muro de la parte superior, como si de un frontón se tratase. Como curiosidad, uno de los desarrolladores del videojuego fue Steve Wozniak, cofundador de Apple con Steve Jobs, que fue quien le contrató (y, según parece, estafó) para la ingeniería de software; según el propio Wozniak, el trabajo para este videojuego le permitió desarrollar el Apple II, el ordenador con el que Apple revolucionó la informática doméstica, lanzado al mercado meses después del Breakout.

Volviendo a DeepMind, los fundadores presentaron una versión del videojuego con una característica diferenciadora esencial: no requería intervención humana. Este detalle, que desde el punto de vista lúdico le resta todo el atractivo que un juego de casi cuarenta años pudiera tener, resultó, sin embargo, definitivo: el programa de control de la barra inferior (el jugador virtual) sólo recibe una orden: conseguir la máxima puntuación posible. No conoce cómo, no sabe si tiene o no que mover la barra, sólo recibía esa instrucción y la sensibilidad para identificar (digamos, «ver») lo que sucede en pantalla. En otras palabras, el algoritmo debe «aprender» a jugar desde cero, como un niño que se acerca por primera vez en su vida a un videojuego, sin nadie a su lado que le indique nada.

Los comienzos resultan complicados, evidentemente, con un algoritmo que necesita ensayar el movimiento, identificar trayectorias, predecir rebotes, etc. Al cabo de dos horas, la habili-

dad para desplazar la barra y anticipar movimientos de la pelota eran equiparables a los de un jugador experimentado. Al cabo de cuatro horas, el algoritmo descubre que haciendo un agujero profundo en el muro y metiendo la bola por él, el juego de rebotes en la parte superior del muro, por lo demás cerrado, aumentaba inmediatamente su puntuación, sin riesgo mientras la bola no saliese del recinto.

Los ojeadores Google quedaron fascinados. Al interesarse por el algoritmo, descubrieron que la empresa estaba en negociaciones con otro gigante, Facebook. No dudaron en ofrecer 500 millones de libras por la empresa, hoy conocida como Google DeepMind y base de casi todos los desarrollos de los de Mountain View. El algoritmo empleaba una implementación del aprendizaje por refuerzo Q-learning en redes neuronales, en concreto, una mejora denominada Deep Q-learning que evita ciertos problemas de inestabilidad del aprendizaje del algoritmo del que proviene. La importancia de DeepMind en Google y en nuestra vida diaria es realmente grande; no en vano, las mejoras experimentadas por el traductor de Google a partir de finales de 2016 (y que todos los usuarios hemos notado y agradecido) se deben, entre otros, al conocimiento que este procedimiento de aprendizaje ha supuesto.

Los creadores de DeepMind no se pararon en el Breakout; ya dentro de Google, desarrollaron Alpha Go, un algoritmo de juego del Go. En este juego de estrategia de más de 2.500 años de antigüedad, dos jugadores se enfrentan con el objetivo de rodear a su rival. Son habituales los tableros de 19 líneas verticales por otras tantas horizontales, sobre cuyas intersecciones se disponen piedras blancas y negras, sorteadas al comienzo de la partida. Está considerado el juego de estrategia más complicado del mundo; así, si las combinaciones posibles en el ajedrez rondan las 2×10^{43} , las del Go estarían en torno a las 2×10^{170} , esto es, un 2 seguido de 170 ceros, multiplicado por dos. Eso supone que una de las principales características de los superordenadores, la fuerza bruta, quedaba descartada como solución para vencer a un maestro internacional del juego. El escogido fue Fan Hui, campeón europeo del juego y segundo Dan, de nueve posibles entre los profesionales, que perdió por cinco a cero. Unos meses

después, en marzo de 2016, el mismo programa se enfrentó al coreano Lee Sedol, dieciocho veces campeón del mundo. Esta serie de cinco partidas está considerada como el equivalente al encuentro de Kaspárov contra Deep Blue de veinte años antes, y tuvo una enorme repercusión mediática en Oriente.

Desgraciadamente para nuestra especie, el coreano perdió por cuatro a uno. Sin embargo, esa partida que Sedol ganó, la cuarta, se considera como la gran esperanza; en el movimiento 78, Sedol, con blancas, consiguió zafarse de la presión de Alpha Go para acabar ganando. Para muchos, se trató de la jugada de Dios, pero muchos otros lo consideraron de forma aún más dramática, definiéndola como el último bastión de la humanidad.

Como siempre ocurre en este tipo de enfrentamientos, los egos y la vanidad personales aparecieron en algún momento. Ke Jie, campeón del mundo y considerado uno de los mejores jugadores de Go de todos los tiempos, señaló que él jamás hubiese perdido contra Alpha Go. Después de perder tres partidas online contra AlphaGo Master en enero de 2017, Google ofreció una bolsa de 1,5 millones de dólares al ganador y 300.000 dólares al perdedor; en mayo de ese mismo año se desarrolló el combate en el Future of Go Summit de Wuzhen (China). Aunque estuvo a punto de ganar la primera partida, muy ajustada, Jie abandonó las dos siguientes tras 155 y 209 movimientos, respectivamente. La evolución de AlphaGo Master es AlphaGo Zero, un sistema de inteligencia artificial aún más avanzado que aprendió a jugar solo, sin intervención humana, jugando contra sí mismo, a partir de posiciones completamente aleatorias. Al cabo de tres días, AlphaGo Zero ya había superado el nivel de la versión que derrotó a Lee Sedol. En 21 superaba el nivel de AlphaGo Master, la inteligencia que batió a Ke Jie. Al cabo de 42 días, superó cualquier nivel previamente alcanzado por nadie y se convirtió, presumiblemente, en el mejor jugador de Go de la historia, sin intervención humana y sin emplear ningún dato histórico. AlphaGo Zero aprendió por sí mismo y ganó cien partidas consecutivas al programa que derrotó a Lee Sedol unos meses antes.

Uno de los aspectos más habituales al referirnos a la idea de inteligencia artificial es la capacidad de un algoritmo de repro-

ducir tareas reservadas a nosotros, los seres humanos. Si bien los robots de Boston Dynamics y sus exoesqueletos son capaces no sólo de ayudar, sino de realizar trabajos que para un individuo serían imposibles, existen otros elementos que resultan controvertidos. Así, en julio de 2016, el festival internacional de creatividad de Cannes otorgó dos Lions¹⁹ en las categorías Cyber y Creative Data a la compañía J. Walter Thompson de Ámsterdam por «The next Rembrandt». Realizado bajo el patrocinio de ING, JWT diseñó un algoritmo de *deep learning* que tras analizar 148 millones de píxeles procedentes de 170.000 fragmentos de 346 obras del maestro holandés, fue capaz de reproducir *el próximo Rembrandt*, una obra en la que no sólo se aprecia el estilo global del autor, sino que se puede tocar. El algoritmo analizó los patrones del trazo, el sentido, los ropajes, los tonos, las sombras, las miradas, y fue capaz de reproducirlos con óleo empleando pintura de la época sobre un lienzo. Este exhaustivo análisis de todos los datos disponibles es un magnífico ejemplo de lo que supone un proyecto de ciencia de datos, con un equipo multidisciplinar formado por historiadores de arte, investigadores de materiales, científicos de datos e ingenieros y materializado en una *nueva* obra del pintor de Leiden.

Los algoritmos presentan utilidades que resultan quizá más prosaicas, pero, tal vez también, enormemente aplicables para cambiar la vida de las personas. En 2009, el hoy gigante Google comenzó su proyecto de coche autónomo. Bajo su actual nombre, Waymo, estaba preparado para la siguiente fase en noviembre de 2017. A partir de esa fecha, los vehículos autopropulsados de Waymo realizan pruebas en las carreteras públicas, sin nadie manejando el volante desde el asiento del conductor. Los modelos de aprendizaje automático y de inteligencia artificial trabajan codo con codo en las dos tareas esenciales: recopilar información y procesarla para tomar decisiones. De la tarea de recopilación de datos

19. El Festival Internacional de Publicidad, también conocido como Festival Internacional de Creatividad Cannes Lions, está considerado como el festival de creatividad publicitaria más importante del mundo. De periodicidad anual, sus premios reciben el nombre de Lions, «leones».

se encargan los múltiples sensores de los que el coche está provisto, entre ellos el que lleva en el techo. En este caso, no se trata de una cámara al uso, sino de un LiDAR, acrónimo de *light imaging, detection and ranging*. El dispositivo, existente desde los años sesenta, emite un haz de luz fuera del espectro visible y calcula el tiempo que tarda en volver para, de ese modo, construir un mapa en tres dimensiones de una zona de hasta doscientos metros alrededor del coche. La idea es análoga a la del radar y la del sonar, pero mientras que el primero trabaja muy bien en largas distancias y el segundo en cortas, el LiDAR está especializado en el rango intermedio. Es la tecnología que empleó la misión del Apolo 15 para elaborar el mapa de la superficie lunar. Los datos que genera el dispositivo acompañan a los de la cámara interior, la encargada de identificar los obstáculos a muy corta distancia y de leer las señales de tráfico y los semáforos. Una antena GPS recibe la posición del coche en todo momento, mientras que del movimiento del vehículo se encarga otro sensor situado en las ruedas traseras. El altímetro, el giroscopio y el tacómetro son otros dispositivos adicionales que alimentan de datos el sistema de movimiento autónomo. Por separado, ninguno de ellos es capaz de determinar con precisión qué ruta seguir ni qué acciones tomar, sino que es su combinación la que define la acción. Tras millones de kilómetros recorridos (de acuerdo con la página web de la compañía, a fecha de junio de 2018, más de 16 millones reales y más de 11.000 millones simulados), el algoritmo de aprendizaje automático permite comparar las situaciones a las que, en cada momento, se enfrenta el vehículo para generar una decisión. La colaboración de los ingenieros de Waymo con los científicos de datos del Google AI Brain Team²⁰ ha permitido diseñar algoritmos específicos para el tratamiento masivo de datos a velocidades que permitan reaccionar al vehículo en condiciones reales. Después de más de ocho años de pruebas y desarrollo, ya están lis-

20. El equipo de investigación de Google y Alphabet en inteligencia artificial se caracteriza por no disponer de una agenda cerrada de proyectos, sino por su capacidad de generar innovación en el área de la inteligencia de las máquinas. Es un área transversal a toda la organización, de la que se surte de datos e ideas con los que trata de resolver problemas. Es uno de los departamentos con mayor producción científica de Google y Alphabet.

tos para desbloquear el potencial de la tecnología de autoconducción con el fin de que sea más fácil y más seguro moverse por todo el mundo. Los Waymo están capacitados para actuar de forma totalmente autónoma, sin intervención humana de ningún tipo; en determinadas situaciones, el vehículo puede comunicarse con la central, que, en tal caso, toma la decisión que el algoritmo es incapaz de resolver, aunque sin conducirlo en remoto en ningún caso. Es decir, a pesar de los millones de simulaciones llevadas a cabo y los millones de kilómetros recorridos, pueden darse circunstancias imprevistas que requieran ayuda externa. Esta es la principal debilidad desde la perspectiva de un sistema cien por cien inteligente, y se deriva no tanto de la incapacidad de reaccionar y decidir por sí mismo como de primar la seguridad de los pasajeros y del entorno. Se trata de una aplicación, esta del coche autónomo, que, como señalamos, cambiará completamente nuestro entorno.

Como hemos señalado, existen situaciones en las que, actualmente, el coche autónomo requiere intervención humana. Eso significa que, aun estando cerca de ser indistinguible de una persona, queda un cierto camino por recorrer. Sin embargo, en otros aspectos de nuestra vida diaria, ese camino pendiente es mucho más breve, cuando no inexistente. En mayo de 2018, el director general de Google, Sundar Pichai, presentó una nueva capacidad del asistente virtual de Google llamada Duplex. Mediante la combinación de aprendizaje automático (*machine learning*) y una red neuronal recurrente, el asistente de Google es capaz de efectuar llamadas de teléfono que resultan prácticamente indistinguibles de las efectuadas por una persona. La máquina es capaz de comprender contextos y adaptarse y modificar la entonación para lograr una experiencia *casi* humana. Si bien en un principio sólo estará disponible para efectuar reservas en establecimientos comerciales (hostelería, peluquerías, etc.), la idea de sus desarrolladores es darle acceso a cada vez más actividades; una de ellas, cómo no, podría ser la de actuar, en nombre del usuario, en intermediación financiera.

Uno de los últimos avances de la inteligencia artificial se ha dado en medicina, más concretamente en oncología. Sólo tres semanas después de que Pichai presentara la última versión del

Google Assistant, la revista *Annals of Oncology* publicaba el artículo «Artificial intelligence for melanoma diagnosis: how can we deliver on the promise?». En él se daba cuenta de cómo un equipo de investigadores de Francia, Estados Unidos y Alemania enseñó a un sistema de inteligencia artificial a distinguir lesiones cutáneas benignas de aquellas que podrían derivar en enfermedades. En este proceso, el algoritmo, una red neuronal convolucional de aprendizaje profundo (*deep learning*), revisó más de 100.000 imágenes con las que aprender a realizar los diagnósticos. La máquina se enfrentó a un total de 58 dermatólogos de diecisiete países para llevarlos a cabo, basándose en imágenes tanto de melanomas malignos como de otros benignos. Frente al 86,6 por ciento de diagnósticos correctos de los especialistas, la máquina finalizó correctamente el 95 por ciento de ellos. Esta investigación sigue a otras, como la dirigida por André Esteva y publicada en *Nature* un año antes, en la que un algoritmo del mismo tipo, entrenado con 130.000 imágenes, conseguía resultados idénticos a los de 21 especialistas en cáncer de piel. Este hito en la detección de melanomas debe ponerse en contexto: sólo en Estados Unidos, se estiman casi 200.000 diagnósticos para 2019, con una mortalidad que alcanzará a más de 7.200 personas. Esta cifra supone un aumento del 22 por ciento respecto al año anterior. Si bien la tasa de supervivencia al melanoma es del 92 por ciento, la detección precoz aumenta la supervivencia al 98 por ciento. Los costes asociados al tratamiento de melanomas están estimados en unos 3.300 millones de dólares anuales.

No debe verse aquí una intromisión del algoritmo en el trabajo del especialista, sino un complemento. Salvando las distancias, es un caso similar al del robot cirujano Da Vinci, que al acabar el primer semestre de 2018 contaba con 46 unidades operativas en España; en ese mismo período sumaban más de 2.800 intervenciones, mientras que en 2017 las operaciones en las que intervino el robot en todo el mundo fueron más de 900.000. Desde que se instaló la primera unidad en España, se han formado en su manejo más de 750 profesionales sanitarios, de los que 150 son cirujanos.

Una mezcla de desasosiego y tranquilidad emerge de este torrente evolutivo, cuya curva de aceleración es exponencial. Si bien el test de Turing se considera como la prueba definitiva de la inteligencia artificial, debemos recordar que el propio autor lo denominó «el juego de imitación». Las máquinas pueden reproducir el comportamiento humano, mejor o peor, y hacernos la vida más fácil. La inteligencia supone una capacidad muy general que excede el conocimiento, la habilidad de aprender y reproducir tareas y, por supuesto, la capacidad de superar pruebas. La inteligencia supone todo eso, pero también razonar, discernir, distinguir entre el bien y el mal, pensar de forma abstracta y resolver problemas complejos. Howard Gardner, psicólogo estadounidense, desarrolló el concepto de las inteligencias múltiples para recoger, precisamente, todo el conjunto de habilidades que quedaban fuera del concepto tradicional. Distinguió así entre inteligencia lógica y matemática, la lingüística y verbal (presente entre aquellos especialmente capaces en el lenguaje, escritores y poetas), la musical, la naturalista (que permite entender y mejorar el entorno natural, de la que estarían especialmente dotados quienes estudian y trabajan la biología, la física, las ciencias de la naturaleza y de la vida), la visual y espacial (compartida por quienes son capaces de representar con formas y colores su entorno, y los problemas relacionados con ellos, como arquitectos, pintores, diseñadores), o la interpersonal e intrapersonal (relacionada, la primera, con la empatía y la capacidad de relacionarnos con los demás; la segunda, con la posibilidad de introspección y de análisis de la propia conciencia). En este sentido, no extraña que pueda haber personas o entes muy inteligentes en algún aspecto y, sin embargo, poco dotados en otros.

Resulta muy enriquecedor el debate entre Nicholas Taleb y muchos psicólogos acerca de la «medida» de la inteligencia, en general mediante el coeficiente o cociente intelectual, que recoge la relación por cociente entre la edad mental del individuo y su edad cronológica. En su blog, el inclasificable autor de *El cisne negro* califica de estafa seudocientífica la medición de la inteligencia mediante los test tradicionales. Taleb afirma que, de hecho, la prueba recoge más la falta extrema de inteligencia (re-

lacionada con problemas de aprendizaje) que su propia presencia, y, en ese sentido, la acusa de medir más por la vía negativa que por la positiva. En su habitual lenguaje brusco, ausente de la más mínima corrección política, Taleb acusa a los promotores del empleo de tal medida de racistas («Está conduciendo a imbéciles racistas que piensan que si un país tiene un coeficiente intelectual de 82 [...] significa, políticamente, que todas las personas allí tienen un coeficiente intelectual de 82; en consecuencia, prohibamos su inmigración») y eugenistas («Algunas personas usan los cocientes intelectuales nacionales como base para las diferencias genéticas, sin explicar los cambios bruscos en Irlanda y Croacia en la integración europea, o, en sentido opuesto, la diferencia entre los israelíes y los asquenazíes estadounidenses»). De acuerdo con lo que el autor señala, no se puede afirmar, en modo alguno, que ciertas naciones tengan una inteligencia inferior a otras por el hecho de presentar cocientes intelectuales medios inferiores a otras. Plantea, asimismo, la inmoralidad de encasillar a las personas en una determinada caja por un resultado en una prueba científica, pues, de acuerdo con su propia investigación, sólo explicaría adecuadamente entre el 2 y el 13 por ciento de los resultados en determinadas tareas —precisamente, en aquellas más parecidas a las que el test evalúa—. «No puede considerarse científica ninguna medida que yerre entre el 80 y el 95 por ciento de las veces —apunta—, como tampoco puede serlo la psicología, dada su siniestra trayectoria, aunque esa es otra discusión.»

Pero más allá de la forma de medir la inteligencia, en el debate de la toma de decisiones es fundamental entender cómo los datos se posicionan frente a la intuición. Y ahí es donde se sitúa el debate actual, con posiciones abiertas en varios frentes intelectuales.

Es muy interesante cómo la escuela económica conductual o, empleando el término anglosajón que triunfa, *behaviorista* ha trasladado a la opinión pública, en general, y a la práctica empresarial, en particular, sus aportaciones a la forma de adoptar decisiones. Como quizá el lector conozca, esta escuela de pensamiento económico relaciona los estudios económicos tradicio-

nales sobre la toma de decisiones individuales —llevados a cabo, inicialmente, por John von Neumann y Oskar Morgenstern en su *Teoría de juegos y comportamiento económico*— con los de la disciplina que, de forma natural, se preocupa del comportamiento humano, la psicología. En 1979, Daniel Kahneman y Amos Tversky publican en *Econometrica* su «Prospect theory: an analysis of decisions under risk», en el que asientan las bases de una nueva aproximación (denominada, desde entonces, conductual) a la toma de decisiones en situaciones de riesgo. La situación o ambiente de riesgo se caracteriza por la ausencia de control, por parte del decisor, de todos los elementos que intervienen en el proceso de obtener un determinado resultado. Tenemos certeza de que al lanzar una pelota a nuestro perro, la pelota acabará cayendo; lo *sabemos*. No la tenemos, sin embargo, sobre si finalmente el can atrapará o no el juguete, pues intervienen factores que, siendo medibles, escapan a nuestro control: la velocidad a la que lanzamos la bola, la velocidad del perro, su habilidad para saltar, su interés en el juego, la presencia de rachas de viento si estamos al aire libre, etc. Todos esos elementos son medibles, y están presentes (aunque no les prestemos atención cuando estamos jugando con el animal), pero no los controlamos; pueden adoptar distintas formas o estados, e impactar, en consecuencia, de un modo u otro en el juego, afectando necesariamente al resultado final. Si el impacto de la aportación de Von Neumann y Morgenstern fue considerable (a pesar de haber sido relegado por una parte de la academia y una buena parte de los programas docentes de grado, pues supone, al final, que son los individuos —y no otros entes de naturaleza jurídica agregada— quienes adoptan las mejores decisiones posibles de acuerdo con su conocimiento del entorno, sus expectativas y sus propios gustos), el de los conductuales no puede tampoco despreciarse, en absoluto. Al premio Nobel de Economía de Daniel Kahneman (que en su discurso recordó que tan merecedor como él era su coautor y amigo Amos Tversky, ya fallecido en el momento de recibir el premio, en 2002) *ex aequo* con Vernon Smith (economista entonces de la George Mason University, que llevó a cabo la prueba de la hipótesis neoclásica del equilibrio de los mercados en competencia

perfecta mediante experimentos con oferentes y demandantes aleatorios, sometidos a distintos niveles de información, alcanzando resultados bastante compatibles con la teoría) le siguió en 2017 el de Richard Thaler, precisamente «por sus contribuciones a la economía conductual». El profesor de Rochester, discípulo de Kahneman y Tversky según él mismo ha señalado en alguna ocasión, trató de establecer el marco que explicase los sesgos en la decisiones individuales; un marco distinto del tradicional, para el que el ser humano, enfrentado a situaciones de escasez de recursos, evolucionó hasta convertirse en una nueva especie, el *Homo oeconomicus*, dotado de una inteligencia y racionalidad excepcional que le permite valorar perfectamente qué decisión es la óptima en cada instante, mediante un simple análisis de su entorno, sus alternativas, y sus resultados posibles.

Son precisamente las aportaciones de los economistas (y psicólogos) conductuales las que ponen en cuestión el concepto de inteligencia artificial como un tipo superior de conciencia. Edge.org es la prolongación en la red de The Reality Club, una organización informal de intelectuales que, entre 1981 y 1996, se reunía en locales variopintos para que sus miembros expusiesen públicamente sus aportaciones, sujetas de inmediato al muchas veces brusco escrutinio del resto de los miembros del club. La idea era desafiar el conocimiento establecido mediante la discusión de mentes brillantes acerca de las más diversas cuestiones. La aparición de internet hizo derivar las discusiones al espacio, y aunque las reuniones se mantuvieron, muy pronto se amplió el espectro de participantes. En su desafío de 2015, casi 200 intelectuales del mundo de las artes, las ciencias y las letras, entre ellos dos premios Nobel de Física y uno de Economía, tuvieron que responder a una sencilla pregunta: ¿qué piensa de las máquinas que piensan? El de Economía era Richard Thaler, aunque aún no había sido nombrado como tal, ni siquiera nominado. Su respuesta es lo suficientemente vaga como para dar cabida a cualquier interpretación; no en vano empieza citando a su mentor Amos Tversky, señalando que cuando una vez fue preguntado sobre la inteligencia artificial respondió diciendo que él no entendía mucho de la cuestión, sino que más bien se ocupaba

de la estupidez natural. Más allá del chascarrillo, Thaler asegura no entender la oposición de cierta parte de la sociedad a que las máquinas lleven a cabo tareas en las que son, indudablemente, mejores que los seres humanos. «Cualquier ejercicio rutinario que implique una decisión, desde la detección de un fraude o de un tumor hasta reclutar empleados, es realizado mejor por un sencillo modelo estadístico que por el mayor experto en la materia.» Observemos de nuevo cómo Thaler evita pronunciarse sobre el problema, pues no parece plausible que confunda la inteligencia artificial con un modelo estadístico. Y sí es consciente de los problemas que pueden producirse en ciertos momentos por las decisiones de las máquinas. Recuerda, en ese sentido, el *flash crash* de 2010,²¹ aunque lo presenta más como un ejemplo de *estupidez artificial* que de otra cosa.

En todo el proceso que hemos venido señalando, la evolución fue impulsada por distintos factores, íntimamente ligados, que de forma conjunta crean las condiciones perfectas para este desarrollo. Por un lado, la tecnología ha permitido incrementos tanto en la velocidad de tratamiento como en la posibilidad de almacenamiento. Un segundo elemento es la disponibilidad de los datos, cada vez más fácil y en mayores cantidades. Los datos son esenciales en el entrenamiento de las máquinas, pues para ellas, el entorno es binario, al menos hasta ahora. La explosión del *big*

21. El 6 de mayo de 2010, en una jornada inicialmente bajista de la Bolsa estadounidense, con el trasfondo de la crisis de la deuda griega, el índice Dow Jones tuvo la que, hasta hoy, ha sido su segunda mayor caída intradía, 998,5 puntos, equivalentes al 9 por ciento de la capitalización, o alrededor de un billón continental de euros. Al cabo de poco más de media hora, los precios prácticamente se habían recuperado. La investigación culpó, inicialmente, a un *flash boy* de Londres, Navinder Singh Sarao, cuya firma ganó más de 40 millones de dólares durante el evento. Fue detenido en 2015, y en 2017 fue puesto en libertad bajo fianza, con la prohibición de operar en los mercados y bajo la custodia de su padre. En el *paper* «The Flash Crash: High-Frequency Trading in an Electronic Market», de enero de 2017, de *The Journal of Finance*, los autores concluyen que los sistemas automáticos de decisión de los *flash traders* no cambiaron durante el suceso; esta investigación coincide con la de los investigadores oficiales, que ya en septiembre de 2010 señalaron que ni el método de los *traders* ni los sistemas automáticos de *trading* fueron un factor determinante en el *crash*.

data, combinada con la disponibilidad a coste cero de cientos de bibliotecas de modelos y algoritmos estadísticos, han facilitado la labor de entrenar a las máquinas en la búsqueda de la superación del test de Turing. No podemos olvidar, por último, cómo los nuevos retos han motivado a los investigadores tanto en la aplicación de modelos de análisis clásicos a estas nuevas situaciones como a desarrollar nuevos algoritmos.

Toda la información generada y registrada desde los albores de la humanidad hasta hace dos años equivale a la que se ha creado y almacenado en los dos últimos. Da igual cuándo leamos esto. La digitalización de toda nuestra actividad, la aparición de internet y la multiplicación de conexiones de dispositivos electrónicos gracias al internet de las cosas (ese enchufe que tenemos en casa que activamos y desactivamos desde nuestro teléfono inteligente) hacen que los datos dominen nuestro entorno. Si le añadimos la radical disminución de los costes de procesamiento y almacenamiento, es normal que todas las empresas se muestren activas en la transformación del dato en información, y de la información en conocimiento.

Allá a comienzo de siglo, las memorias USB tenían una capacidad de 64Mb. Estos dispositivos son quizá los que mejor han sobrevivido a la revolución tecnológica, debido a su versatilidad y a su pequeño tamaño, que los hacen muy utilizados en todos los niveles. Ningún otro dispositivo de grabación y reproducción ha aguantado el paso del tiempo como este tipo de memorias, que hoy pueden encontrarse por un precio similar, menos de 40 dólares, con el mismo tamaño, pero con una capacidad 4.000 veces mayor y una velocidad de escritura que en los más avanzados USB 3.1 ha pasado de los 12 Mb por segundo hasta los 10 Gb por segundo, siempre que el ordenador al que lo conectemos disponga del puerto correcto. De la versatilidad da cuenta que los puertos de conexión son externamente idénticos, permitiéndonos emplear las más modernas memorias flash en puertos antiguos, adaptando, eso sí, las capacidades del dispositivo a las del puerto de acceso.

La evolución tecnológica ha revolucionado todo: las velocidades de acceso, la memoria disponible, el tamaño de los micro-

chips y los precios. En 1980, un ordenador IBM 3380 de 20 Gb de memoria RAM estaba formado por ocho módulos de 2,5 Gb y pesaba dos toneladas, con un precio aproximado de 1.000.000 de dólares. Hoy, una tarjeta de memoria micro SD de 32 GB (un 60 por ciento más de capacidad) pesa menos de medio gramo y se encuentra por menos de 7 dólares. La miniaturización de los microprocesadores, con capacidades de proceso exponencialmente crecientes a precios exponencialmente decrecientes, ha permitido poner al alcance de cualquier persona equipos con los que desarrollar tareas que, hace sólo veinte años, estaban reservadas a los equipos de investigación y desarrollo de las mayores empresas tecnológicas del mundo, aparte de los departamentos de defensa de contados países.

El primer procesador que recibió el prefijo de micro fue el Intel 4004 de 1971, que fue desarrollado para una calculadora con 2.300 transistores y una arquitectura de 4 bits que le permitían hacer hasta 60.000 operaciones por segundo con una frecuencia de reloj de 700 kHz. El primero de 16 bits fue el 8086, lanzado también por Intel en 1978, y que inauguró la arquitectura x86, usado aún hoy día; superaba los 4 MHz de velocidad de reloj. A mediados de los años ochenta, el muy exitoso Intel 386 fue uno de los primeros de 32 bits y superaba los 40MHz de frecuencia. Los ordenadores personales empezaban a ser populares en Estados Unidos. La evolución ha permitido que por menos de 350 dólares podamos contar con microprocesadores como el Intel Core i7-7700K, con velocidades de proceso de hasta 4,5 GHz. La competencia de AMD ha provocado que la guerra se cobre, como primer beneficiado, al consumidor, que puede adquirir microprocesadores de última generación a precios muy competitivos.

Un buen ordenador de sobremesa dispone de un disco duro de 1 Tb, o, lo que es lo mismo, 1.000 Gb de capacidad. En 2020, se estima que la cantidad de información disponible en el mundo alcance los 40 zettabytes, el equivalente a 1.000 millones de discos duros como el que podemos tener en casa.²² Evidentemen-

22. Aquí aparece otra de las V del *big data*, la de volumen.

te, no tiene sentido contar con equipos físicos para almacenar esa información, así que los desarrolladores optaron por subir los datos a la nube. Desde los populares sistemas como el Drive de Google, el iCloud de Apple, el OneDrive de Microsoft o el Dropbox, muy utilizados por los usuarios finales y las pequeñas empresas, hasta los potentes servicios de almacenamiento de Google (Cloud Storage), de Microsoft (Azure Storage) o de Amazon (Drive), parece que los dispositivos de memoria flash pueden tener sus días contados. Sin embargo, estos grandes almacenes de datos no serían completos si no viniesen acompañados de servicios adicionales de computación. Surgen, entonces, todos los servicios que transforman y hacen habitual la combinación de almacenaje masivo con capacidades de proceso de datos y de generación de inteligencia a partir de ellos. Amazon Web Services, Alibaba Cloud, Google Cloud Services, Microsoft Azure, Oracle Cloud Services son sólo los sistemas más conocidos. El incremento en el ancho de banda de estos últimos años ha posibilitado el acceso masivo a estos servicios, que estaban, muchos de ellos, ya disponibles desde los años sesenta del siglo pasado. La computación en la nube ha dado lugar a la creación de lo que se conoce como software, plataforma e infraestructuras como servicio.²³ Y el último paso de estos proveedores es aprovechar su conocimiento y su posición para ofrecer soluciones de *machine learning* y de inteligencia artificial a sus clientes. Eso significa que cualquier empresa puede tener, en la misma plataforma y bajo una misma infraestructura, no sólo todo el software que necesite (sin tener que instalarlo localmente en cada uno de los ordenadores de la empresa, reduciendo costes y tiempos), sino múltiples algoritmos que permiten tratar toda la información disponible y obtener toda la potencia disponible de los datos.

23. Respectivamente, SaaS, PaaS e IaaS, en las que los sufijos aaS señalan *as a service*, «como servicio». De hecho, podemos decir que se ha inaugurado ya la era del XaaS, el «todo como servicio», pues en lo relativo al almacenamiento y la computación, todas las necesidades que pueda requerir una empresa ya están disponibles en la nube.

A la par que los desarrollos tecnológicos y la generación de datos masivos, la denominada revolución del *big data* no puede entenderse sin la evolución de los métodos estadísticos, entendiendo por tales todos los relativos al tratamiento de los datos con el fin de entender qué ha ocurrido y, cómo no, qué puede ocurrir. Porque todo empieza y todo acaba con la estadística, pues todo tiene que ver con la identificación y la cuantificación de la información en un entorno de incertidumbre.

La estadística se encuentra en la base de investigación de todas las disciplinas científicas, desde la astronomía (con la que prácticamente nace) hasta la medicina, pasando por la economía y las finanzas, por supuesto, hasta la ingeniería y la física. Sus dos enfoques metodológicos, el frecuentista y el bayesiano, son esenciales para tratar de aproximarnos a la realidad que nos rodea. Y si bien nunca tendremos el conocimiento perfecto de cuál va a ser la actitud de un individuo (la acción humana escapa, siempre, a las ecuaciones), gracias a ella podemos medir la posibilidad de ocurrencia de ciertos movimientos agregados. Sin alcanzar la certeza, la estadística nos ofrece, al menos, una medida de la incertidumbre.

Los modelos siempre han estado ahí. Ahora la novedad estriba en que están disponibles para todos los investigadores en un plazo muy breve, desde el momento en que los propios autores se encargan de programar y de poner a disposición de toda la comunidad de usuarios bibliotecas que los implementan en código abierto. Fundamentalmente, nos referimos al lenguaje R, el más empleado en análisis y modelado de datos. Gracias a R, una derivación del lenguaje de programación S, todo el mundo tiene acceso a la última innovación en cualquier disciplina científica relacionada con el modelado de datos, a coste cero, en su propio ordenador personal. A finales de abril de 2019, en el repositorio oficial del programa, el CRAN (Comprehensive R Archive Network), constaban más de 14.400 bibliotecas o *macros* específicas para resolver prácticamente cualquier problema que requiera un análisis de datos. Junto con Python, el conocido lenguaje creado a finales de los ochenta por Guido van Rossum, mucho más orientado a la producción que el anterior, conforman la base de

programación que hace de la ciencia de datos el paradigma de la investigación actual.

De todos estos avances nos hemos beneficiado todos, y seguiremos haciéndolo. También, por supuesto, las empresas, y, entre ellas, las financieras.