

Prefacio

Conozco a dos jóvenes adolescentes que poseen más conocimientos que cualquier científico, filósofo o erudito de épocas pasadas. Son mis hijos. No, no soy un padrazo que se maravilla de lo extraordinariamente dotados que están sus hijos. Pero estos dos niños tienen en sus bolsillos dispositivos que les conectan con el más vasto depósito de información que jamás se haya creado. No hay pregunta objetiva que no puedan responder, ahora que dominan el arte de saber dónde buscar en internet. Pueden traducir de y a lenguas extranjeras sin tener que hojear voluminosos diccionarios, que aún conservamos en casa para que sepan cómo eran las cosas hace sólo unos años. Las noticias, desde cualquier lugar, les llegan en un instante. Pueden comunicarse con sus compañeros antes de que se den cuenta, sin importar en qué parte del mundo viven. Pueden planificar sus salidas con perfecto detalle. Por desgracia, pueden perder el tiempo si se abandonan a los juegos o siguen tendencias que cambian tan rápido que no sé por qué importan.

Todo lo anterior ha sido posible gracias a los enormes avances de la tecnología digital. Hoy en día llevamos en el bolsillo más potencia informática que la que se utilizó para llevar a los humanos a la Luna. Como muestran estos dos adolescentes, los cambios en nuestras vidas han sido inmensos; las predicciones para el futuro varían desde las utopías, en las que la gente realmente no necesitará trabajar, has-

ta las distopías, en las que unos pocos privilegiados llevarán una vida plena, mientras que el resto estará condenado a un letargo intrascendente. Afortunadamente, podemos modelar este futuro, y un factor importante de nuestra capacidad para hacerlo es el grado de conocimiento de las tecnologías que subyacen a los logros y los cambios que tenemos ante nosotros. Aunque lo perdamos de vista en el ajetreo de nuestra vida cotidiana, vivimos en el mejor periodo de la historia de la humanidad. Estamos más sanos que nunca y esperamos vivir más tiempo, por término medio, que cualquier otra generación que haya existido. A pesar de la iniquidad que supone la flagrante desigualdad, enormes franjas de la humanidad se han librado de las cadenas de la pobreza. Nunca hemos estado más cerca unos de otros, tanto virtual como literalmente. Podemos denunciar el mercantilismo del turismo mundial de masas, pero los viajes baratos nos permiten conocer diferentes culturas y visitar lugares que antes sólo podíamos conocer en los libros. Todo este progreso puede y debe continuar.

Pero para participar en este progreso no basta con utilizar la tecnología digital. Tenemos que ser capaces de entenderla. Primero, por la razón eminentemente práctica de que ofrece excelentes oportunidades profesionales. En segundo lugar, porque incluso si no nos interesa una carrera en la tecnología, debemos conocer sus principios subyacentes para apreciar su potencial y dar forma a nuestro propio papel en ella. La tecnología digital es posible tanto por su hardware, los componentes físicos que constituyen los ordenadores y dispositivos digitales, como por su software, los programas que se ejecutan en ellos. La columna vertebral de los programas son los algoritmos que implementan: el conjunto de instrucciones que describen la forma de resolver problemas concretos (si esto no parece una definición de lo que es un algoritmo, no te preocupes, tenemos el resto del libro para completar los detalles). Sin algoritmos, los ordenadores serían inútiles y no existiría ninguna tecnología moderna.

Lo que necesitamos saber cambia con el tiempo. Durante la mayor parte de la historia de la humanidad, la escolarización no se consideraba necesaria en absoluto. La mayoría de las personas eran analfabetas y, si se les enseñaba algo, era el dominio de alguna habilidad práctica o de las sagradas escrituras. A principios del siglo XIX,

La tecnología digital es posible tanto por su hardware, los componentes físicos que constituyen los ordenadores y dispositivos digitales, como por su software, los programas que se ejecutan en ellos. La columna vertebral de los programas son los algoritmos que implementan.

más del ochenta por ciento de la población mundial no estaba escolarizada en absoluto; hoy en día, la gran mayoría ha cursado varios años de escuela, y se prevé que para finales de siglo la proporción de personas sin escolarizar en el mundo se reduzca a cero. También han aumentado los años que se dedican a la educación. Mientras que en 1940 menos del cinco por ciento de los estadounidenses tenían una licenciatura, en 2015 casi un tercio de ellos la tenía.¹

En el siglo XIX, ninguna escuela enseñaba biología molecular porque nadie sabía nada al respecto; el ADN no se descubrió hasta bien entrado el siglo XX. Ahora forma parte de lo que aceptamos como canon de aprendizaje de una persona educada. Del mismo modo, aunque los algoritmos se descubrieron en la antigüedad, pocas personas se ocuparon de ellos hasta la llegada de los ordenadores modernos.

El autor cree firmemente que hemos llegado a un punto en el que los algoritmos están dentro del núcleo de lo que consideramos conocimiento esencial. A menos que sepamos qué son y cómo funcionan, no podremos entender qué pueden hacer, cómo pueden afectarnos, qué esperar de ellos, cuáles son sus límites y qué requieren para funcionar. En una sociedad que funciona cada vez más gracias a los algoritmos, nos corresponde, como ciudadanos informados, conocerlos.

También es posible que el aprendizaje de los algoritmos nos ayude de otra manera. Si el aprendizaje de las matemáticas nos introduce en una forma de razonamiento riguroso, la familiaridad con los algoritmos nos introduce en una nueva forma de pensamiento algorítmico: una forma de razonar para resolver problemas de forma práctica de manera que las implementaciones eficientes de los algoritmos como programas puedan ejecutarse rápidamente en los ordenadores. El enfoque en el diseño de procesos que sean prácticos y eficientes puede ser una herramienta mental útil, incluso si no somos programadores profesionales.

Este libro pretende presentar los algoritmos a un público no especializado de forma que el lector entienda cómo funcionan realmente. Su objetivo no es describir los efectos de los algoritmos en nuestras vidas; hay otros libros que hacen un gran trabajo describiendo cómo la mejora del procesamiento de los grandes datos, la inteligencia artificial y la integración de los dispositivos informáticos en el tejido de

La familiaridad con los algoritmos nos introduce en una nueva forma de pensamiento algorítmico: una forma de razonar para resolver problemas de forma práctica de manera que las implementaciones eficientes de los algoritmos como programas puedan ejecutarse rápidamente en los ordenadores.

nuestra vida cotidiana pueden cambiar la condición humana. Aquí no nos interesa *qué* puede ocurrir, sino *cómo* ocurre.

Para ello, presentaremos algoritmos reales y mostraremos no sólo lo que hacen sino también cómo funcionan realmente. Así que no nos iremos por las ramas y daremos explicaciones detalladas.

A la pregunta «¿Qué son los algoritmos?» la respuesta es sorprendentemente sencilla. Son formas particulares de resolver nuestros problemas. Estas formas de resolver nuestros problemas pueden describirse en sencillos pasos para que los ordenadores puedan ejecutarlas con una velocidad y eficacia asombrosas. Sin embargo, no hay nada mágico en estas soluciones. El hecho de que consten de pasos elementales y sencillos significa que no hay razón para que estén fuera del alcance de la mayoría de la gente.

De hecho, el libro no presupone un conocimiento del material más allá del que se enseña habitualmente en la escuela secundaria. Algunas matemáticas aparecen en las páginas siguientes porque no se puede hablar de algoritmos sin alguna notación. En el texto se explican los conceptos que son habituales en los algoritmos pero que no son tan comunes fuera de la informática.

El difunto físico Stephen Hawking escribió en la introducción de su exitoso libro *Breve historia del tiempo*, publicado en 1988: «Alguien me dijo que cada ecuación que incluyera en el libro reduciría las ventas a la mitad». Esto suena bastante siniestro para el presente libro, ya que las matemáticas aparecen más de una vez. Sin embargo, decidí seguir adelante por dos razones. En primer lugar, aunque el nivel de matemáticas requerido para la física de Hawking es el de una formación universitaria o superior, las matemáticas presentadas aquí son mucho más accesibles. En segundo lugar, como el propósito de este libro es mostrar no sólo para qué sirven los algoritmos, sino también cómo funcionan realmente, el lector debe conocer parte del vocabulario que utilizamos cuando hablamos de algoritmos. Y este vocabulario incluye algo de matemáticas. La notación no es una prerrogativa de los técnicos, y la familiaridad con ella ayudará a disipar cualquier mística que rodee el tema; al final, veremos que se reduce sobre todo a poder hablar de las cosas de una manera cuantitativa precisa.

Es imposible abarcar todo el tema de los algoritmos con un libro como este, pero es posible ofrecer una visión general e introducir al lector en el pensamiento algorítmico. El capítulo 1 sienta las bases explicando qué son los algoritmos y cómo podemos medir su eficacia. Podemos decir de entrada que un algoritmo es una secuencia finita de pasos que podemos realizar con un bolígrafo y un papel, y esta simple definición no estaría lejos de la verdad. El capítulo 1 parte de ahí, al tiempo que explora la relación entre los algoritmos y las matemáticas. Una diferencia clave entre ambos es la practicidad; en los algoritmos, nos interesan las formas prácticas de resolver nuestros problemas. Esto significa que tenemos que ser capaces de medir lo prácticos y eficientes que son nuestros algoritmos. Veremos que estas cuestiones pueden enmarcarse cuidadosamente a través de la noción de complejidad computacional; esto informará la discusión de los algoritmos en el resto del libro.

En los tres capítulos siguientes se estudian tres de las áreas de aplicación más esenciales de los algoritmos. El capítulo 2 trata de los algoritmos que se ocupan de la solución de problemas relacionados con redes, llamadas grafos, de cosas. Estos problemas pueden incluir la búsqueda del camino en una red de carreteras o la secuencia de enlaces que te conectan con alguien en una red social. También incluyen problemas en otras áreas que no son inmediatamente obvios en cuanto a su relación: la secuenciación del ADN y la programación de torneos; esto ilustrará que problemas distintos pueden resolverse eficazmente utilizando las mismas herramientas.

Los capítulos 3 y 4 exploran cómo buscar cosas y ordenarlas. Esto puede parecer prosaico, pero es una de las aplicaciones más importantes de los ordenadores. Los ordenadores dedican mucho tiempo a ordenar y buscar, pero no somos conscientes de este hecho precisamente porque son una parte integral e invisible de la mayoría de las aplicaciones. La ordenación y la búsqueda también nos ofrecen una visión de una faceta importante de los algoritmos: para muchos problemas, conocemos más de un algoritmo para resolverlos. Elegimos entre los algoritmos disponibles en función de sus características particulares; algunos algoritmos son más adecuados para ciertos tipos de problemas que otros. Por lo tanto, es instructi-

vo ver cómo diferentes algoritmos, con diferentes características, resuelven el mismo problema.

Los dos capítulos siguientes presentan importantes aplicaciones de los algoritmos a gran escala. El capítulo 5 retoma los grafos para explicar el algoritmo PageRank, que sirve para clasificar las páginas web por orden de importancia. PageRank fue el algoritmo utilizado por Google cuando se creó. El éxito del algoritmo a la hora de clasificar las páginas web en los resultados de las búsquedas desempeñó un papel fundamental en el fenomenal éxito de Google como empresa. Afortunadamente, no es difícil entender cómo funciona PageRank. Esto nos dará la oportunidad de ver cómo un algoritmo puede resolver un problema que, a primera vista, no parece susceptible de solución computacional: ¿cómo juzgamos lo que es importante?

El capítulo 6 presenta una de las áreas más activas de la informática: las redes neuronales y el aprendizaje profundo. Los medios populares se hacen eco de aplicaciones exitosas de las redes neuronales. Las historias despiertan nuestro interés al describir sistemas que realizan tareas como el análisis de imágenes, la traducción automática o el diagnóstico médico.

Empezaremos de forma sencilla, a partir de neuronas individuales, construyendo redes neuronales cada vez más grandes y capaces de realizar tareas cada vez más complejas. Veremos que todas ellas funcionan basándose en algunos principios fundamentales. Su eficacia surge de la interconexión de muchos componentes simples y de la aplicación de un algoritmo que permite a las redes neuronales aprender. Tras esbozar lo que pueden hacer los algoritmos, el epílogo explora los límites de la computación. Sabemos que los ordenadores han realizado hazañas asombrosas y esperamos mucho más de ellos en el futuro, pero ¿hay cosas que no pueden hacer? La discusión sobre los límites de la computación me permitirá ofrecer una explicación más precisa de la naturaleza de los algoritmos y la computación. Dijimos que podíamos describirla como una secuencia finita de pasos que se pueden realizar con papel y bolígrafo, pero ¿qué tipo de pasos podrían ser estos? ¿Y hasta qué punto se acerca la analogía del papel y el bolígrafo a lo que son realmente los algoritmos?