5. *"Una breve historia de hombres y algoritmos"*

STEINER, Christopher

Traducción a cargo de **ALAMO,** Sofía, **ALONSO,** Julio y **ORTIZ,** María

La compleja matemática detrás de los algoritmos más inteligentes está disfrutando de un renacimiento. Nunca ha habido tantas personas que los entiendan, y nunca ha habido tantas personas trabajando para lograr que más personas los entiendan a través de investigaciones y discusiones. Todo lo que uno necesita para ver esto en acción es dirigirse al tablero de mensajes de la *Y Combinators Hacker News*[1], que ha crecido como uno de los sitios más influyentes en el mundo.

Aquí matemáticos, hackers, emprendedores, programadores de Wall Street, y personas en sintonía con las ondas de la web, se juntan a discutir sobre todos los temas posibles. Muchas de las discusiones son sobre programación, startups y Silicon Valley. Pero invariablemente cada uno o dos posteos en la portada de cualquier medio digital se está discutiendo sobre funciones gaussianas, lógicas booleanas, o sobre alguna rama de la matemática que hace este mundo algorítmico posible.

El asalto que ha sufrido nuestro mundo por parte de los algoritmos, ya sea en una oficina de contabilidad o en el escritorio de servicio al cliente, ha sido inminente desde que la matemática permitió que tales cosas fueran posibles. Alabamos aquellos que conquistan los mercados y la sociedad del trabajo con algoritmos y robots- pero son capaces de realizar tales cosas por las teorías construidas hace 250 años.

¿Dé dónde vienen los algoritmos?

Los humanos hemos ideado, alterado y compartido algoritmos por miles de años, antes de que el término tocara la superficie. Los algoritmos no necesitaban matemática para nada. Los babilonios emplearon los algoritmos para organizar leyes; los antiguos maestros de latín corregían gramática usando algoritmos; los doctores se han respaldado en algoritmos para asignar diagnósticos; e innumerables personas de todos los rincones del planeta han intentado predecir el futuro con ellos[2].

En su núcleo, un algoritmo es una serie de instrucciones que deben ser llevadas a cabo performativamente para lograr un resultado ideal. Se ingresa determinada información en un algoritmo dado y una respuesta sale como resultado. En su primer año de programación, muchos de los ingenieros deben diseñar un simple algoritmo que pueda jugar al ta-te-ti[3]. En el programa, la oposición, o ser humano, con sus movimientos genera una entrada. Con esa información, el algoritmo produce una salida en forma de movimientos propios. Un

---

[1] http://news.ycombinator.com

[2] Jean-Luc Chabert, ed., *A History of Algorithms: From the Pebble to the Microchip, translated by Chris Weeks* (Berlín: Springer-Verlag, 1999).

[3] El autor de este capítulo también tuvo esta consigna en sus años de estudiante de ingeniería durante su clase de Lenguaje de Programación C.

estudiante que espera sacarse un 10 necesita producir un algoritmo que nunca pierda un partido (o al menos empate de vez en cuando).

Los algoritmos usados para intercambios de alta frecuencia o reconocimiento de voz trabajan de la misma manera. Se les ingresa una entrada- quizá los movimientos de diferentes índices de precios, fluctuaciones de la tarifa monetaria, o precios de crudo- con los que producen una salida: por decir, comprar el stock de GE. Los intercambios algorítmicos no son nada más que el delegar en un algoritmo las respuestas de qué comprar y qué vender. Construir un algoritmo con tantas variables es a simple vista más difícil que uno para jugar ta-te-ti, pero la idea de base es idéntica.

La palabra algoritmo fue creada por Abdullah Muhammad ibn Musa Al-Khwarizmi, un matemático persa del siglo IX que produjo el primer libro conocido de álgebra: *Al-Kitab al-Mukhtasar fi Hisab al-Jabr wa l-Muqabala ("Compendio de cálculo por reintegración y comparación")*. El nombre *álgebra* viene directo del nombre al-Jabr del título en el libro. Como los escolares diseminaron el trabajo de Al-Khwarizmi en Latín durante el medioevo, la traducción de su nombre-"*algorism*"-fue utilizada para describir cualquier método de cálculo sistemático o automático[4].

El primer algoritmo grabado y luego encontrado por la civilización moderna viene de Shuruppak, cerca de la actual Baghdad. Los sumerios, que dominaron por mil quinientos años una porción del Valle del Eufrates, dejaron tablas de arcilla que datan aproximadamente del 2500 A.C. y que ilustraban un método repetitivo para medir equitativamente la cosecha de granos entre un número variable de hombres. El método descrito utilizaba herramientas de precisión para medir; era muy útil porque los vendedores de ese tiempo no tenían básculas lo suficientemente largas como para pesar miles de libras de comida de una vez. Las tablas que llevaban este algoritmo, representadas en símbolos, ahora descansan en el Museo de Estambul[5].

Algunos algoritmos desarrollados hace miles de años aún tienen un rol importante, aunque seguramente sus creadores no lo hayan pensado, en el mundo computarizado de hoy: muchos sitios web, routers inalámbricos, y lugares donde nombres de usuarios y contraseñas deben ser encriptados utilizando un algoritmo que fue concebido hace dos mil años por Euclides de Alejandría, un matemático griego.

El algoritmo de Euclides, como es referido por los matemáticos, es usado por docenas de industrias y puede ser usado para derivar la mayoría, sino todos, los patrones rítmicos de la música[6]. Alrededor del 300 A.C., Euclides escribió *Elementos*, un trabajo que sería la espina dorsal de los textos de geometría para los próximos dos mil trescientos años. En el texto, incluyó un algoritmo que encontraba el divisor más largo entre dos números diferentes.

---

[4] Chabert, *A History of Algorithms.* Esta sección introductoria se basa en gran parte en el trabajo de este autor.

[5] *Ibid*

[6] Godfried Toussaint, *The Euclidean Algorithm Generates Tradictional MusicalRhythms* (Montereal: School of Computer Science, McGill University, 2005), http://cgm.cs.mcgill.ca-godfried/pulications/banff.pdf

Cualquiera con el conocimiento de un alumno de 5to grado puede utilizarlo para determinar rápidamente que 17 es el máximo común divisor entre 1785 y 374[7].

La media de oro

Las personas que trabajan en biología, botánica, astronomía, e incluso arquitectura deberían estar familiarizadas con el concepto desarrollado en Europa cuando se adoptó el sistema decimal con los modernos numerales en el siglo XII[8]. Los matemáticos, en particular, comenzaron a jugar con la curiosa proporción de 1,618-conocida como la media de oro o proporción áurea- un número a veces exhibido en la naturaleza, como en la geometría fractal de los helechos, la estructura atómica del ADN, y en los patrones orbitales de las galaxias[9]. Los arquitectos con sentidos afilados para las proporciones y escalas gravitan hacia esa proporción también. Grandes edificios que parecen "derechos" a simple vista, normalmente presentan espacios y patrones basados en la proporción de 1,618. Le Corbusier, el influyente arquitecto franco-suizo del siglo XX, utilizó explícitamente esta proporción en muchas construcciones, como Villa Stein en Garches cerca de París, en 1929. Recientemente, muchos diseñadores han descubierto la proporción en muchos de los productos de Apple, incluyendo su logo[10].

Leonardo Fibonacci, el hombre detrás de la media de oro, es uno de los responsables de que Europa adoptara los números modernos y considerado por muchos historiadores el matemático más importante de la Edad Media. Antes del surgimiento en Italia de lo que hoy conocemos como la bancarización de la economía, Leonardo de Pisa viajó a lo ancho de la cuenca del mediterráneo e incluso hacia el Oriente; su padre era aduanero en lo que hoy es Béjaïa, Argelia[11]. Fibonacci es conocido por haber descubierto la utilidad de los sistemas numéricos indo-arábigos, comparado con los torpes números romanos, especialmente para los cálculos matemáticos.

Fibonacci publicó *Liber Abaci* (El libro de los cálculos) en 1202. Dentro del libro, el joven matemático explica cómo los decimales se relacionan con las fracciones y como pueden ser esgrimidos para facilitar la contabilidad cotidiana y resolver problemas de la vida real. Fibonacci despacha enigmas comunes para la época; en sus ejemplos, incluía métodos para dividir alimentos como pimientos, pieles y quesos. Citando a Al-Khwarizmi, Fibonacci proveyó a la civilización occidental de una serie de algoritmos que serían usados por los siglos venideros, como aquellos para calcular el valor presente de futuras corrientes monetarias y los sistemas de pago por interés que se asemejan a nuestras hipotecas de hoy[12].

---

7 Midhat J. Gazale, *Gnomon: From Pharashs to Fractals* (Princeton, NJ: Princeton University Press, 1999), p. 33.
8 Niall Ferguson, *The Ascent of Money* (New York: Penguin, 2008).
9 Henry Linger, ed., *Constructing the infrastructure for the Knowledge Economy,* Proceedings of the 12th International Conference on Information Systems and Development, Melbourne, Australia, 2003 (New York: Kluwer Academic / Plenum Publishers, 2004).
10 "Aplle and the Golden Ratio", *Paul Martin's Blog,* http://paulmmartinblog.wordpress.com/2011/07/18/apple-and-the-golden-ratio/
11 Ferguson, *The Ascent of Money*, p. 34.
12 Dirk Struik, *A Concise History of Mathematics* (Mineola, NY: Dover, 1948), p. 80.

Mientras el nombre de varios antiguos matemáticos de renombre acumulan polvo en sus libros, el nombre de Fibonacci sigue siendo tan conocido en Wall Street como en la cultura popular. El novelista Dan Brown puso un poco de luz en su nombre en el *Código Da Vinci*, un libro que vendió más de cien millones de copias. Brown fue astuto en apuntar sobre la curiosidad de la secuencia de Fibonacci, incluida en *Liber Abaci* en lacual cada número es la suma de los dos que lo preceden: 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, etc. A medida que la secuencia progresa, la proporción de los números y su inmediato predecesor convergen hacia la proporción áurea de 1,618.

En Wall Street el número también ha encendido cierta creencia en sus poderes: algunos de los comerciantes más extravagantes han arriesgado billones de dólares en algoritmos basados en la proporción dorada o los llamados números de Fibonacci. Centenares de libros han sido publicados pregonando el poder de esta proporción y de su importante presencia en diversos mercados como las manufacturas, valores y cambio de moneda extranjera. Y eso solamente en los últimos veinte años. No existe evidencia alguna de que esto haya sido verdad, pero Wall Street no es sino una paradoja donde las teorías ridículas y las lógicas rígidas coexisten felizmente en igual abundancia.

El padrino de los algoritmos modernos

Gottfried Leibniz, así como Isaac Newton, su contemporáneo, era un erudito. Su conocimiento y curiosidad abarcaba todo el continente europeo y todos sus objetos de interés. Respecto a la filosofía, Leibniz decía que sólo existían dos absolutos: Dios y la nada[13]. A partir de ambos todas las cosas existen. Curiosamente, él concebía el lenguaje del cálculo definido solamente por dos figuras: 0 y 1.

Leibniz desarrolló este sistema para expresar todos los números y operaciones de la aritmética- suma, resta, multiplicación y división- en el lenguaje binario de 1's y 0's. El matemático definió este lenguaje en su documento de 1703, "Explicación de la aritmética binaria".

Leibniz nació en Leipzig en 1646 en una calle que hoy lleva su nombre. Un prodigio que comenzó la universidad a los quince y tuvo su doctorado a los veinte. Conocido por su sociabilidad, habló con su médico sobre la alquimia hasta momentos antes de fallecer en su cama a los setenta años[14]. La gran sombra que proyecta Leibniz en esta historia se rastrea hasta sus convicciones sobre la amplitud que podría lograr su sistema binario, de ser aplicado. Él proyectaba lejos del erudito mundo matemático o las teorías de cálculo newtonianas.

Todos los cambios físicos tienen causas, según el autor. Incluso las personas, hasta cierto punto, tienen sus caminos marcados por fuerzas exteriores que actúan sobre ellas, un hecho explotado por la teoría del juego, mucho tiempo después de la época de Leibniz. Por tanto, Leibniz creía que el futuro de los objetos podría ser predecido al examinar sus conexiones

[13] David Berlinski, *The Advent of the Algorithm: The 300-Year Journey from an Idea to the Computer* (New York: Mariner, 2001), p. 14.
[14] Ibid, p. 2.

casuales[15]. Esto ha sido tomando en cuenta por los modernos titanes de Wall Street. Si Leibniz hubiera nacido mucho tiempo después, seguramente habría conseguido levantar una exitosa campaña en Wall Street.

Pero antes que nadie, Leibniz concibió algo cercano a la inteligencia artificial. El matemático estipuló que el pensamiento cognitivo y la lógica podrían ser reducidos a una serie de expresiones binarias. Cuanto más complicado el pensamiento, más simples deberían ser los conceptos necesarios para describirlo. Los algoritmos complicados son, en cambio, una larga serie de algoritmos simples. La lógica, decía el autor, puede ser implacablemente reducida a su esqueleto, como una serie de simples interruptores de ferrocarril de doble vía que comprende una red nacional ferroviaria vertiginosa y complicada. Si la lógica puede ser obtenida a partir de una serie de decisiones binarias, aún si las secuencias se alargan por millas, entonces ¿por qué no podría ser ejecutada por otra cosa que no sea humana? Leibniz soñaba con reducir todo el pensamiento lógico a una operación mecánica comenzando por una máquina diseñada por él mismo[16].

Luego de escuchar sobre una máquina de sumar construida por Blas Pascal, Leibniz se dispuso a ganarle. Su máquina podría realizar sumas y restas de manera más suave e incluso resolver problemas de multiplicación y división, algo que la máquina de Pascal no podría ni soñar. Luego de diseñar los planos, Leibniz contrató a un inventor de relojes de Paris para crear la máquina en 1674[17].

Leibniz cruzó el canal inglés para demostrar la eficacia de su máquina ante la Sociedad Real de Londres, ante árbitros de prestigio intelectual. Pero la máquina falló durante su demostración y Leibniz se vio obligado a llevar adelante las divisiones de manera manual[18]. Pareció perderse el interés por la máquina luego de la exhibición pero su diseño continuó dominando durante cien o doscientos años, con las subsecuentes generaciones de calculadoras basadas en su plan, según han sido registradas. La máquina en sí misma había sido perdida por más de dos siglos. Aparentemente Leibniz almacenó el cilindro en al ático de un edificio de la Universidad de Göttingen, donde permaneció hasta que un grupo de mantenimiento subió a reparar una grieta del techo y la encontró en 1879.

Más allá de máquinas calculadoras, Leibniz creía que desarmando la lógica y el pensamiento en pequeños cálculos aritméticos, podría encontrar un cálculo racional, un tipo de algoritmo que podría resolver discusiones. Imaginaba que los desacuerdos no necesitarían de dos personas gritándose. En cambio, sí necesitarían de dos contrincantes con lápiz y papel en mano, listos para calcular quién, de acuerdo a la lógica, tenía razón[19]. Claramente, Leibniz no conoció el mundo de la política norteamericana e internacional.

---

[15] Bertrand Russel, *A Critical Exposition of the Philosophy of Leibniz* (New York: Conimo Books, 2008), p. 192.
[16] Chabert, *A history of Algorithm,* p. 3.
[17] Bruce Collier and James MacLachlan, *Charles Babbage and the Engines of Perfection* (New York: Oxford University Press, 1998), p. 46.
[18] Berlinsky, *The Advent of the Algorithm,* p. 3.
[19] William Ewald, *From Kant to Hilbert: A Source Book in the Foundations of Mathematics* (Oxford: Oxford University Press, 1996), p.446.

La controversia estropeó el final de la vida de Leibniz. Aunque ahora es aceptado universalmente que él y Newton descubrieron el cálculo en paralelo, en ese momento, Leibniz, que frecuentemente intercambiaba correspondencia con Newton, fue acusado de plagio. Y aunque fuera difícil compartir escenario con el matemático y físico más prolífico que haya vivido, Leibniz hizo bastante como para destacarse. Respecto al cálculo, fue él y no Newton quien desarrolló elegantes notas para las funciones integrales y derivadas que todos los estudiantes aprenden hoy en día.

El desarrollo de Leibniz de símbolos y teorías de cálculo para el estudio preciso de la modelización del cambio le dio a los matemáticos una poderosa arma con la cual crear semi-conductores, conectarnos a través de la radio[20], y poner satélites en órbita con la precisión de un láser. El cálculo y los algoritmos tienen historias entrelazadas, significados y poder. Su relación ha sido acertadamente resumida por el matemático David Berlinski en su libro *Ascenso infinito:*

> Y ahora ocurre un estampido supersónico en la historia del pensamiento. Antes del descubrimiento del cálculo, las matemáticas habían sido una disciplina de gran interés, luego de ello, se convirtió en una herramienta de gran poder. Sólo es comparable el advenimiento del algoritmo (computarizado) en el siglo XX como una idea de tanta influencia. El cálculo y el algoritmo son las dos ideas más pujantes de la ciencia occidental[21].

Nadie que haya vivido antes de los 60's ha sido llamado "hacker" o "quant". Quizá tales apodos deberían haberse extendido a este alemán que vivió durante los últimos días del renacimiento europeo. Leibniz avanzó en la ciencia algorítmica de tres maneras diferentes. Fue uno de los instigadores fundadores del cálculo y, casi tan importante para esta discusión, introdujo el método de construcción de algoritmos para expresar difíciles soluciones en una serie de sencillos bloques binarios.

La tercera contribución importante de Leibniz al poder de los algoritmos recae en el enlace buscado entre los fragmentos simples del lenguaje que revelan las emociones humanas. Leibniz pensaba que la forma en que los humanos utilizan el lenguaje debería ser estudiado académicamente de manera rigurosa. Descubrió que si algo tan complicado como la existencia humana podía ser reducido a dos absolutos: Dios y la nada o 0 y 1, ¿por qué el lenguaje no podía ser deconstruido en una manera en que párrafos, oraciones, cláusulas y palabras pudieran ser cernidas para mayor entendimiento? El filósofo y matemático especulaba que los humanos pronunciaban palabras y frases que encajaban en sus percepciones y emociones individuales[22].

Sabiendo lo que una persona dice, podemos saber quien es. Sabiendo quien es una persona, es más fácil predecir qué hará exactamente en el futuro. En el corazón de todas estas revoluciones en Wall Street y otros lugares basadas en algoritmos, existe un objetivo

[20] Paul Nahin, *The Science of Radio* (New York: Springer-Verlag, 2001), p. xxxvi.
[21] David Berlinski, *Infinite Ascent: A Short History of Mathematics* (New york: Modern Library, 2005), p. 45.
[22] Nicholas Jolley, ed., *The Cambridge Companion to Leibniz* (Cambridge: Cambridge University Press, 1995), p. 251.

persistente: predicciones-para ser más exactos, la predicción sobre qué harán otros humanos. Así es como se hace el dinero. La corazonada de Leibniz -que los humanos serían programados para comportarse de maneras predecibles- fue bastante más acertada de lo que pensaban, y es un hecho que empodera varios de los algoritmos en Wall Street. Luego en este libro, veremos cómo la ciencia predictiva del comportamiento humano que Leibniz especuló en su momento fue desarrollada por la NASA y cómo se esparce en nuestra vida cotidiana.

Leibniz no llegó a ver cómo su creación binaria llegaba a las alturas que él había visionado. Pero en los comienzos del '30, en Estados Unidos, Alemania y Francia comenzaron a aparecer circuitos electrónicos capaces de ejecutar problemas aritméticos. Utilizaban el sistema numérico binario de Leibniz, que tuvo que esperar doscientos cincuenta años de desarrollo en materiales para que pudiera alcanzar sus brillantes descubrimientos.

El sistema binario es el responsable de la existencia de todos los lenguajes de programación que conocemos actualmente, ya que no son más que vehículos que permiten escribir algoritmos fácilmente. Pero también es el sistema que refuerza los chips y circuitos de nuestras computadoras para correr esos algoritmos.

Gauss: haciendo posible la lógica detrás de los algoritmos

Los algoritmos funcionan cuando conocemos los factores exactos que necesitan ser examinados o manipulados. Un algoritmo que determina el valor justo de las acciones sería imposible de construir sin tener en cuenta que este precio es totalmente dependiente de la volatilidad de los precios históricos de esas acciones, de las tasas de interés y de su precio actual. Si Peterffy, Black o Scholes no hubiesen sabido que estos eran los factores más importantes y hubiesen creado un algoritmo para que intervenga en la compra y venta de acciones, su propuesta hubiera sido inviable. Lo mismo sucede con los algoritmos que saben lo que estás pensando al examinar las palabras que usas al escribir. Para llegar a la predicción, estos algoritmos tienen que estar imbuidos en la lógica de los patrones de nuestro discurso y en la estructura de nuestras oraciones.

En ocasiones averiguar cuáles variables son las más importantes de estas relaciones es tan difícil como construir el algoritmo en sí. En un modelo como el del mercado de acciones o en la cantidad de palabras que usamos en un día miles de cuestiones entran en funcionamiento y que deben ser categorizadas. Pero la mayor parte de los datos son tan sólo ruido, sin significado. Para funcionar, los algoritmos predictivos necesitan instrucciones que les permitan discernir entre el ruido y los factores que importan. Y este discernimiento entre aquellos factores importantes y aquellos que sólo endulzan nuestros oídos en el mercado de acciones implica el análisis de grandes cantidades de datos. El método más común de cribado de datos y que reconoce las relaciones más interesantes y poco intuitivas se llama "análisis de regresión", una técnica que permite a los físicos, a los estadistas o los ingenieros realizar predicciones precisas basadas en los datos del pasado. El desarrollo de las técnicas que existen actualmente se lo debemos, en parte, a la familia real inglesa.

Los miembros de la realeza no fueron tan inteligentes como para llevarlas a cabo; sin embargo, el Rey Jorge IV fue lo suficientemente inteligente para contratar a Carl Friedrich

Gauss en 1817 para analizar el Reino de Hannover.[23] Gauss, un matemático ya consagrado, encontró que las herramientas de análisis del momento no eran precisas, entonces inventó una nueva: el heliotropo, que usa un espejo para reflejar la luz del sol a través de largas distancias. Incluso con este nuevo instrumento, Gauss supo que cualquier intento de medir una propiedad tan larga sería propenso al error. Logró desarrollar un método para sortear este problema veinte años antes, a sus 18 años, conocido como el método de estimación por mínimos cuadrados.

El método de mínimos cuadrados da lugar a la construcción de modelos predictivos basados en resultados observados. Para encontrar el modelo que más se ajustaba a los datos que tenía, Gauss desarrolló ecuaciones que minimizaron los cuadrados de las diferencias entre los valores de medición y los valores proporcionados por un modelo predictivo. El modelo, que puede ser desde una función cuadrática hasta un algoritmo de varios niveles, se ajusta hacia arriba y abajo hasta que se encuentre el punto de mínimos cuadrados. Este método forma el esqueleto de las estadística moderna y de los modelos de construcción de algoritmos actuales. Para construir un algoritmo implica hacerlo correr por bucles de datos que representan los días, precios anteriores, etc. Una función o curva, es derivada de los datos más allá de la especulación de un operador. Cuando los ingenieros o físicos hablan de análisis de datos de ajuste o la regresión, es probable que estén trabajando con la innovación de Gauss[24].

En su investigación de la distribución de los errores de las mediciones, Gauss también concluyó que las desviaciones (errores) tenían lo que él llamó una distribución normal (también conocida como distribución gausseana). Esta distribución, al ser plasmada en su versión gráfica, es parecida a una campana. Gauss y otros matemáticos de la época observaron que todo lo medible, incluso en la naturaleza, mantiene la misma distribución[25]. Existen una gran cantidad de puntos de datos cerca del valor medio, en el centro de la campana, y cada vez menos puntos de datos a medida que la campana se extiende hacia fuera, lejos de la media. Distribuciones similares se observan en las puntuaciones de pruebas de los estudiantes, el tamaño y la altura de las personas, y una multitud de fenómenos en la naturaleza.

Los bordes externos de la curva de la campana (colas) tienden a cero. En situaciones de la vida real, que pueden ser afectadas por la irracionalidad humana, como sucede en los mercados financieros, las colas no son tan finas. Cuando la psiquis y el comportamiento humano están involucrados, existe una mayor probabilidad de que sucedan eventos atípicos, produciendo una distribución de colas gruesas, algo que no se ajusta a la distribución gaussiana. Se han ganado fortunas en Wall Street con las apuestas sobre distribuciones de Gauss, y al mismo tiempo mucho dinero se ha perdido en algoritmos que abrazan los resultados de Gauss, pero no dan cuenta de las colas gruesas.

---

[23] Richard Lindsey and Barry Schachter, *How I Became a Quant: Insights from 25 of Wall Street's Elite* (Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2007), p. 126.
[24] Stephen M. Stigler, "Gauss and the Invention of Least Squares," *Annals of Statistics 9, no. 3* (1981): 465-74.
[25] Jyotiprasad Medhi, *Statistical Methods: An Introductory Text* (New Delhi: New Age International Publishers, 1992), p. 199.

Es más fácil escribir algoritmos que encajen en distribuciones normales. Y a pesar de que la historia nos ha demostrado que el comportamiento humano no se distribuye de esta manera, muchos hackers se dedican a escribir algoritmos de distribuciones normales. Asumiendo esto se puede ganar dinero en días “normales”, pero ante el primer Lunes Negro de 1987, o la entrada en default de la duda rusa en 1998, o el Crash de 2:45 de 2010, esos algoritmos quedan destruidos. Incluso el propio Gauss, más de doscientos años atrás, advirtió sobre la magnitud de los errores que la distribución normal podía acarrear[26].

La introducción de la distribución normal transformó la humanidad y forjó el campo de las estadísticas modernas, lo que permitió la venta de seguros de vida, la construcción de mejores puentes, hasta las apuestas en los partidos de basket.

A pesar del éxito que Gauss alcanzó a temprana edad, se mantuvo humilde y evitó la controversia publicando solamente aquellos trabajos que consideró irrefutables. Admiraba a Euler y Newton[27], pero los expertos lo sumarían a su compañía. Muchos académicos dicen que Arquímedes, Newton y Gauss componen el triunvirato inmortal de la matemática. Existen docenas de historias que hablan de su talento en la materia, algunos cuentan sobre sus habilidades con la aritmética desde los tres años[28]. Una de estas historias cuenta que a los siete años en su escuela, su maestro asignó la tarea a la clase de sumar todos los números desde el 1 al 100. Unos segundos más tarde, Gauss encontró la respuesta: aparentemente había deducido en su cabeza un algoritmo que usaban los discípulos de Pitágoras como contraseña para su sociedad secreta[29]:

> 1/2n(n+1)
> La variable *n* denota el último número de la secuencia, en este caso, 100, y *S* equivale a la suma. El joven Gauss se dio cuenta que 1+100 daba 101, del mismo modo que 99+2 y y 97+3, lo que significaba que había 50 sets de 101, o 5x101=5050.

Nacido en 1777, Gauss viene de una familia humilde, muy lejos de la clase intelectual. Cuando tenía 14 años su talento matemático llamó la atención del Duque de Brunswick, quien le asignó un honorario y luego una beca en la universidad de Götingen[30]. Su mente producía ideas tan rápido que muchas veces no llegaba a escribirlas[31].

Gauss alcanzó su Doctorado a la edad de veintiún años, con una disertación donde ofreció la primera prueba de la teoría fundamental de Álgebra, algo que Newton y Euler habían intentado sin terminarlo[32]. La mente de Gauss lo guió hacia muchos descubrimientos en distintos rincones de la matemática, incluyendo la teoría de los números, ecuaciones

---

26 Jagdish K. Patel and Campbell B. Read, *Handbook of the Normal Distribution* (New York: CRC Press, 1996), p. 4.
27 Michael Bradley, *The Foundations of Mathematics* (New York, Chelsea House, 2006), p.5
28 Ioan James, *Remarkable Mathematicians: From Euler to von Neumann* (Cambridge: Cambridge University Press, 2002), p.58.
29 Jane Muir, *Of Men and Numbers: The Story of the Great Mathematicians* (New York: Dodd, Mead & Company, 1961), p. 158.
30 Ibid., p. 159.
31 Elena Prestini, *Applied Harmonic Analysis: Models of the Real World* (New York: Spinger-Verlag, 2004), p. 99.
32 Michael Bradley, *The Foundations of Mathematics* (New York: Chelsea House, 2006), p. 20.

cuadráticas, y el patrón general de la distribución de los números primos entre los números enteros.

Algunos pueden asociar el nombre de Gauss con la cópula gaussiana, una fórmula menudo demonizado presentada a Wall Street en 2000 por David X. Li. En estadística, una cópula es utilizada para determinar la relación del comportamiento entre dos o más variables. Li estaba investigando la correlación del riesgo entre hipotecas. Como Li no contaba con grandes cantidades de datos históricos sobre las hipotecas *subprime*[33] (debido a que no existían), construyó su cópula sobre los datos que sí tenía: los precios históricos de los precios de las permutas de incumplimientos crediticios[34] (CDS), lo que resultó en un pago al dueño del canje si las hipotecas (en este caso) entraban en *default.* Sin embargo, el mercado de las permutas de incumplimiento crediticio alcanzó, tal como todos sabemos, un precio notoriamente erróneo gracias los hombres que comerciaron los canjes y fijaron los precios. No obstante, Wall Street adoptó la fórmula de Li como un hecho sólido y válido. La cópula debería haber sido una de las opciones disponibles para las agencias y analistas que examinaban y aprobaban los valores de las hipotecas. En cambio, se volvió su única opción.

El auge resultante en obligaciones de deuda garantizadas y la burbuja del mercado inmobiliario devino directamente en un mal uso de lo que debería haber sido un algoritmo inofensivo para los banqueros. Las cópulas de Gauss son son útiles herramientas para ser usadas en ciertos campos, pero lo único para lo que no sirven es para entender la dependencia entre fenómenos extremos e irracionales, algo en lo que los humanos son expertos[35].

Pascal, Bernoulli y el juego de dados que cambió el mundo.

La mayor parte de las finanzas modernas, desde las rentas anuales a los seguros y al comercio algorítmico, tienen sus raíces en la teoría de probabilidad, tal como en otros negocios que van desde los casinos, la construcción de rascacielos y la fabricación de aviones. Además, las bases de la medicina (el testeo y los diversos métodos de diagnóstico) dependen de la probabilidad. Los partidos políticos toman decisiones sobre qué candidatos postular no en base a la ética o el pragmatismo, sino basándose en las teorías de la probabilidad. Los entrenadores de fútbol consultan sus anotaciones para tomar decisiones en base a las probabilidades del juego del oponente, sobre todo cuando el tiempo apremia.

---

[33] N.d.T: Las hipotecas subprime o créditos subprime son una modalidad crediticia del mercado financiero de Estados Unidos que se caracteriza por tener un nivel de riesgo de impago superior a la media del resto de créditos.

[34] N.d.T: Una permuta de incumplimiento crediticio (también conocida por su término en inglés, *credit default swap o CDS*) es un producto financiero que consiste en una operación financiera de cobertura de riesgos, incluido dentro de la categoría de productos derivados de crédito, que se materializa mediante un contrato de *swap* (permuta) sobre un determinado instrumento de crédito (normalmente un bono o un préstamo) en el que el comprador de la permuta realiza una serie de pagos periódicos (denominados *spread*) al vendedor y, a cambio, recibe de éste una cantidad de dinero en caso de que el título que sirve de activo subyacente al contrato sea impagado a su vencimiento o la entidad emisora incurra en suspensión de pagos

[35] Bernhard Fleishmann, *Operations Research Proceedings 2008* (Berlin: Springer-Verlag, 2009), p. 235.

En fin, todas estas manifestaciones de la teoría de la probabilidad pueden ser rastreadas a una carta de 1654 que une a dos franceses: Blaise Pascal y Pierre Fermat. En esa carta Pascal proponía cómo uno podría ganar un juego que aún no había terminado. El jugador A, por ejemplo, había ganado 5 rondas y su oponente había ganado dos. Pascal se preguntaba cuánto de la apuesta comunal se llevaría cada uno. En un ensayo de tres mil palabras estableció un método para calcular el valor exacto en eventos de estas características. La respuesta para esta estas preguntas es calcular la probabilidad de cada uno de los jugadores en juego y dividir el premio de la apuesta comunal en esos porcentajes[36]

Tras cinco años del cruce de esa carta de un matemático a otro, el mundo comenzó a cambiar en función de estos supuestos. La existencia de esta mejor forma de calcular el futuro le permitió la emergencia de flamantes industrias y la operación con mayores certezas de muchos empresarios. La carta de Pascal es una de las principales razones por las que Londres se convirtió en la ciudad más valorada del mundo por al menos un siglo, pues sus comerciantes contaban con la flota de ultramar más grande del mundo, que les permitía sortear cualquier inconveniente del comercio por tierra evitando los enormes riesgos que tales venturas implicaban.

A partir del trabajo de Pascal, Jacob Bernoulli, como Christiaan Huygens unos años antes, se obsesionó con agotar el análisis de los juegos de probabilidad que incluían elementos como datos y cartas[37]. Fue gracias a este estudio que Bernoulli desarrolló lo que hoy conocemos como la "ley de los grandes números"[38].

Para aquellos procesos con probabilidades que pueden ser calculadas, tal como el tirar una moneda (50% cara, 50% ceca), la ley de Bernoulli explica que mientras más veces se repita el juego, el promedio resultante convergerá en las probabilidades calculadas anteriormente. Sacar un 70% de "caras" al tirar una moneda, por ejemplo, no es tan poco probable, pero sacar un 70% de "caras" en mil tiros es virtualmente imposible.

Este principio guía a los apostadores de blackjack y a los jugadores de poker. También guía a muchos, o bien la mayoría, de los grandes comerciantes de Wall Street, quienes mantienen los volúmenes de sus intercambios lo más alto posible para asegurarse alcanzar mayores probabilidades. Esta teoría también guía a los managers de los grandes clubes de béisbol cuando buscan jugadores con talento cuyas estadísticas hayan permanecido bajas por un tiempo prolongado. Esta búsqueda de mala fortuna puede ser revelada por una medición estadística mucho más compleja que muestra cómo, desde el caso del lanzador, quizás haya lanzado un número descomunal de bolas que se han convertido en éxito para su equipo, pero desde el lado del bateador, no. Existe, incluso, una nueva clase de doctores que, al diagnosticar a sus pacientes, antes que nada, buscan algoritmos basándose en probabilidades.

---

[36] Keith Devlin, *The Unfinished Game: Pascal Fermat, and the Seventeenth-Century Letter That Made the World Modern* (New York: Basic Books, 2008), p. 5.
[37] Michael Otte, *Analysis and Synthesis in Mathematics: History and Philosophy* (Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1997), p.79.
[38] Stephen M. Stigler, *The History of Statistics: The Measurement of Uncertainty before 1900* (Cambridge, MA: Harvard University Press, 1986), p. 5.

En el caso de los comerciantes de acciones, un algoritmo que persigue capturar la diferencia entre una oferta de venta y una oferta de compra puede ser frustrado cuando el mercado cambie, lo que puede dejar al vendedor y su algoritmo con una sola opción: aquella que esté del lado incorrecto del intercambio. Si un algoritmo compra una acción de Microsoft a U$S 50.00 y luego no puede venderla al segundo siguiente por U$S51.00 antes de que el mercado caiga, el vendedor tendrá que asumir una pérdida cuando intente venderla a U$S 49,00.

Estos algoritmos se construyen para predecir el comportamiento del mercado. Para ser exitoso, un algoritmo tienen que operar correctamente el 51% de las veces. Pero con este porcentaje de éxito, también puede estar abierto a grandes pérdidas si sólo realiza sólo 10 intercambios por día. Podría haber varios días en los que pierda 7 de cada 10 veces. Pero los comerciantes de acciones de alta frecuencia son llamados así, justamente por la cantidad de veces que compran y venden y compran: decenas de miles de de intercambios que representan millones de acciones. A medida que sus repeticiones escalan, tal como expuso Bernoulli, la cantidad de sus intercambios exitosos se va a acercar cada vez más a ese deseado 51%. Este es el motivo por el cual los algoritmos más poderosos pueden llegar a un año o más sin tener un día de pérdida.

Más allá de Wall Street, la mayoría de los matemáticos agradecen a Bernoulli por su gran trabajo al definir el cálculo de interés compuesto, una de las primeros conceptos que se aprenden sobre finanzas. Al definir su algoritmo de interés compuesto, Bernoulli, descubrió la constante matemática *e.* En continuidad con Leibniz, Bernoulli se refirió al número como *b*, quizás debido a la inicial de su nombre,por luego fue reconocido como *e* gracias Leonhard Euler quien se refirió a ese número de esa manera.

Dando forma visual a los algoritmos

En 1791, el famoso compositor austríaco Joseph Haydn asistió a una majestuosa puesta en escena del Mesías George Frideric Handel en el Westminster Abbey de Londres. Hacia el final de la obra, de la que participaron mil personas, entre miembros del coro y de la orquesta, Haydn lloró. A través de sus lágrimas, dijo de Handel, su contemporáneo, "Es el maestro de todos nosotros"[39].

Más o menos al mismo tiempo, Pierre-Simon Laplace, el matemático francés y uno de los gigantes del pensamiento que desarrolló el campo de la estadística, exclamaba lo mismo, pero no se refería al compositor del Mesías. El hombre que Laplace proclamaba ser "el maestro de todos" era Leonhard Euler[40].

Euler era otro producto de la Universidad de Basilea, un núcleo de inteligencia que alteraba el mundo. El Papa Pío II fundó la universidad, la más antigua de Suiza, en 1460, y durante siglos reunió los intelectos más altos como Erasmo de Rotterdam, los Bernoullis, los Eulers, Jacob Burckhardt, Friedrich Nietzsche, y Carl Jung. Nacido en 1707, Euler fue escolarizado

[39] Romain Rolland, *Handel* (New York: Henry Holt, 1916), p. 108.
[40] Robert Bradley, *Leonhard Euler: Life, Work, and Legacy* (Amsterdam: Elsevier, 2007), p. 448.

por un tiempo por Johann Bernoulli, el hermano de Jacob, que probablemente fuera en esa época el mejor matemático en actividad del mundo[41].

Durante su tiempo en la universidad, Euler pasaba sus tardes de sábado hablando de matemáticas y filosofía con el hermano menor de los Bernoulli. "Amablemente él me explicaba todo lo que no podía entender", recordaba Euler[42]. Para cuando finalizó sus estudios, ya no quedaban muchos temas que necesitaran de una explicación. Entonces Euler emprendió el período más prolífico de publicaciones matemáticas jamás alcanzado en la historia por una sóla persona.

Como profesor nuevo en la Academia de Ciencias de San Petersburgo de Rusia, Euler abordó el problema conocido como los Siete Puentes de Königsberg, que había obsesionado a mucha gente en esa parte del continente. Königsberg, hoy llamada Kaliningrado y situada en una pequeña región de Rusia encajada entre Polonia y Lituania era, en tiempos de Euler, parte de Prusia. La ciudad estaba dividida por brazos del río Pregel en varias masas de tierra, incluyendo dos islas, que se encontraban conectadas por una serie de siete puentes. Un pasatiempos popular de quienes paseaban por la ciudad consistía en tratar de encontrar una ruta que atravesara la ciudad cruzando cada uno de los puentes -pero sólo una vez[43].

Para ilustrar el problema, Euler dibujó una serie de puntos, llamados nodos, conectados por líneas, llamadas bordes, representando a las masas de tierra y los puentes. Observó que las distancias y la forma de las líneas podían alterarse de cualquier modo y que los nodos podían moverse, siempre y cuando las líneas permanecieran intactas. Euler creó lo que hoy en día en matemáticas se conoce como un gráfico, que permitió demostrar que atravesar Königsberg usando cada puente una única vez era de hecho posible. En la resolución de este problema, Euler desarrolló la teoría de los gráficos.

La teoría de gráficos desarrollada por Euler es distinta a los gráficos que estamos acostumbrados a ver, como por ejemplo, el mercado de valores o un informe de ventas. Los gráficos de Euler son diagramas con forma de árbol que pueden simbolizar redes de la naturaleza, circuitos en un microchip o relaciones entre personas dentro de una ciudad. Escribir algoritmos específicamente para la teoría de gráficos representa uno de los más fascinantes nuevos capítulos de la moderna ciencia computacional, que permite a los biólogos establecer conexiones entre secuencias de ADN y rasgos físicos, a profesores decodificar la música de los Beatles, a la CIA conectar terroristas a lo ancho del mundo, y a los observadores de Wall Street encontrar relaciones entre cosas aparentemente dispares. La teoría de gráficos es especialmente útil para quienes examinan redes de Facebook, en las que los miembros más influyentes pueden determinarse en un análisis de cuáles de los nodos del gráfico (personas) atraen a la mayor cantidad de líneas (conexiones) y cuáles líneas (conexiones) son las más activas en términos de atraer miradas y comentarios. En las entrevistas laborales para ingresar a Facebook, se les suele preguntar a los ingenieros por la teoría de gráficos.

---

[41] William Dunham, *Euler: The Master of Us All* (Albuquerque, NM: Integre Technical Publishing, 1999), p. xx.
[42] Charles Gillespie, *Dictionary of Scientific Biography* (New York: Charles Scribner's Sons, 1976), p. 468.
[43] Robert Bradley, *Leonhard Euler*, p. 412.

Euler vivió 76 años, pero sus trabajos siguieron publicándose durante casi un siglo después de su muerte. Fue autor de 886 libros, artículos, libros de texto, y manuales técnicos, un volumen que representaba un tercio entero de todas las publicaciones matemáticas durante su vida. Abrió tantos caminos en matemáticas que en un esfuerzo por evitar nombrar tantas cosas a nombre de un sólo hombre, muchos teoremas y ecuaciones fueron nombrados tras la primera persona en descubrir o aplicarlos después de Euler[44].

Alguna gente tal vez recuerde de la escuela la fórmula de Euler: V - E + F = 2. La ecuación, sobre la cual se basan innumerables algoritmos, describe las formas tridimensionales, donde *V* equivale al número de vértices (esquinas en las que las líneas se intersectan), *E* es el número de bordes de la forma, y *F* equivale al número de caras del objeto. Un cubo, por ejemplo, tiene seis lados o caras (F=6), doce bordes (E=12) y ocho vértices (V=8).

Esta ecuación llevó a Euler mucho más allá de las formas elementales y rígidas como cubos, pirámides, conos, y esferas. La fórmula de Euler ayudaría más adelante a explicar la geometría de las moléculas de carbono, sistemas climáticos aparentemente aleatorios, óptica, magnetismo e hidrodinámica. A través de la teoría detrás de la fórmula que lleva su nombre, Euler empezó a reflexionar sobre las formas no rígidas, cuyo estudio se conoce como topología. La topología es una rama de la teoría del caos, gracias a la cual los matemáticos llegados a Wall Street en las últimas dos décadas para construir algoritmos lograron edificar fortunas.

Máquinas lógicas booleanas

Todos los genios matemáticos mencionados hasta aquí han contemplado el pensamiento humano, sus orígenes, sus limitaciones y sus métodos. Leibniz fue el primero en teorizar que el pensamiento humano podía descomponerse en sus componentes más básicos, representados por una serie de decisiones binarias. Estas elecciones binarias, según Leibniz, podrían apilarse una encima de la otra, tan alto como fuera necesario, para formar pensamientos – o algoritmos –volviéndose más complejos.

Si Leibniz dio el primer paso hacia la construcción de las máquinas que ahora gobiernan nuestras vidas, fue George Boole quien tomó la inercia de Leibniz, que en su época ya tenía casi 200 años. Fue el sistema de cálculo de Boole, y su innovadora forma de álgebra, lo que permite que la Web funcione, desde las imágenes que la gente sube al Facebook, hasta el texto que la gente publica en sus blogs. Los algoritmos complejos que han llegado a reinar nuestras vidas no serían nada si no pudieran pegar saltos casi humanos en su lógica. Por ejemplo, Google le mostrará a un usuario su correo sólo *si* ingresa correctamente su contraseña *y si*, al ser preguntado, descifra correctamente la palabra-garabato de difícil lectura. Google *no* te mostrará un correo electrónico marcado como spam porque el mismo correo fue enviado a diez millones de casillas de correo Gmail *y no* proviene de un remitente masivo confiable como Groupon *o de* alguien con quien cada una de estas personas ya haya mantenido una conversación vía correo electrónico. Son estos modificadores, los *si, y, o, no*, que hacen que las ciencias de la computación y los algoritmos funcionen.

[44] David Richeson, *Euler's Gem: The Polyhedron Formula and the Birth of Topology* (Princeton, NJ: Princeton University Press, 2008), p. 86.

Las raíces de esta revelación iluminaron a Boole, de diecisiete años, mientras paseaba por un prado. De la nada, llegó a la idea de que se podría usar símbolos algebraicos de alguna clase para definir un lenguaje lógico, un lenguaje de pensamiento – un modo de descomponer la actividad interior de la racionalización humana. La idea demostró ser tan revolucionaria para el mundo y tan importante para la vida de Boole que empezó a considerar el poder de una mente sin compromiso. La ciencia había logrado demostrar que el subconsciente humano es tal vez la más fuerte de las herramientas humanas, pero nadie había teorizado sobre este hecho antes que Boole. Él se refirió a éste como el "inconsciente"[45].

Boole nació en 1815 en Lincoln, Inglaterra. Su padre era zapatero, pero poseía una serie de hobbies eruditos, incluyendo, astronomía y la construcción de instrumentos ópticos. John Boole no podía permitirse enviar a su hijo a la universidad, así que George aprendió por su cuenta. Sus métodos autodidactas funcionaron tan bien, que antes de la adolescencia ya podía leer y escribir en cuatro idiomas; para ese entonces enseñaba en escuelas locales[46].

Con 20 años, Boole empezó a atacar problemas de matemáticas avanzadas; en 1841, sus trabajos empezaron a publicarse en revistas científicas. Cuatro años más tarde, sería nombrado profesor fundador de matemáticas en el Queen's College en Cork, Irlanda (ahora llamado University College Cork). En 1854 Boole cosechó las semillas sembradas en aquel médano a sus diecisiete años, al publicar *An Investigation of the Laws of Thought, on Which Are Founded the Mathematical Theories of Logic and Probabilities*. (*"Una investigación de las leyes del pensamiento, sobre las cuales se basan las teorías matemáticas de la lógica y probabilidades".*) En este esfuerzo, perseguía lo mismo sobre lo cual Leibniz ya venía pensando hacía tiempo atrás. Pero fue Boole, y no Leibniz, quien logró acorralar la idea de un modo que pudiera usarse.

Al principio de su libro, Boole escribió: *"El diseño del siguiente tratado es investigar las leyes fundamentales de aquellas operaciones de la mente que intervienen en el razonamiento".*

El inglés procuraba definir un lenguaje para el pensamiento que pudiera descomponer el proceso de deducción humana en una serie de expresiones matemáticas fácilmente transcribibles a papel, con símbolos que representaran compuertas hacia el interior del pensamiento humano: *si, y, o, no*, que pudieran usarse con operadores aritméticos normales como la multiplicación y la división. Cualquiera que haya escrito algo de código, aunque muy básico, está familiarizado con estos operadores. El álgebra booleana venía a convertirse en los intestinos de los circuitos computacionales. Sin ella, la ejecución de algoritmos infinitamente complejos – del tipo que hoy en día cambian el mundo todos los días – sería imposible.

Las ideas de Boole no dejaron al mundo en llamas tras su publicación. Muy pocos ingleses, incluso matemáticos, tenían alguna familiaridad con la teoría lógica. Y no había ninguna manera obvia de aplicar lo que ahora se conoce por álgebra booleana sin máquinas o computadoras capaces de leer algoritmos.

---

[45] Howard Rheingold, (New York: Simon & Schuster, 1986), p. 39.
[46] Ivor Grattan-Guiness and Gérard Bornet, eds., George Boole: Selected Manuscripts on Logic and Its Philosophy *(Basel: Birkhäuser Verlag 1997), vol. 2. p. 151*

Eso no quiere decir que nadie lo haya intentado. Tal vez la más importante fue Ada Lovelace, quien además de ser una erudita de las matemáticas en un período en que muy pocas mujeres tenían permiso para estudiar, suele ser considerada la primera *hacker*. En 1842, mientras documentaba la máquina analítica de Charles Babbage, una máquina de cómputo mecánico que Babbage nunca llegó a completar, Lovelace diseñó varias entradas (inputs) diferentes que teóricamente permitirían que la máquina realice algunos cálculos y tareas. En este proceso, Lovelace había compuesto el primer algoritmo ideado para una máquina. El trabajo de Lovelace no empleaba símbolos Booleanos, así que aún quedaba por buscar el modo de expresar los procesos del pensamiento humano. Quería que el dispositivo "tanteara" para descubrir la decisión o el camino correcto[47], escribió ella. En 1979, más de un siglo después de la muerte de Lovelace, el Departamento de Defensa de EEUU le puso a su nuevo lenguaje computacional el nombre Ada, en homenaje a la hacker original[48].

A pesar de los intentos de construir computadoras mecánicas de Babbage, Lovelace y otros, la epifanía de Boole, si bien era respetada cual teorema matemático a principios de los 1900s, aún no había prendido entre los ingenieros y físicos que empezaban a fundar la era electrónica[49]. Pero en la medida que la tecnología progresaba y los científicos intentaban construir circuitos más y más avanzados, a los ingenieros les faltaba algo – una herramienta matemática- que los ayudara a domesticar y utilizar en su totalidad la sofisticada electrónica que estaban construyendo.

Hacia finales de los 1930s, un graduado del MIT llamado Claude Shannon combinó el sistema de cálculo binario y numérico de Leibniz con los operadores Booleanos como *y, o, no, no o, y si,* entre otros. Shannon encontró que todas estas expresiones podían estar incorporadas en circuitos electrónicos – y que así podrían también resolver casi cualquier problema matemático, almacenar datos, y editar todo tipo de información, desde imágenes a texto. Shannon, que tuvo muchos logros en su larga vida, es conocido como el padre de la era de la información[50].

Y así tenía lugar el verdadero nacimiento de los circuitos y lenguajes computacionales, y con ello el algoritmo moderno y los comienzos de las máquinas que pueden imitar a las personas.

[47] Margaret A. Boden, *Mind as Machine: A History of Cognitive Science* (New York: Oxford University Press, 2006), vol. 2, p.151.
[48] Anne B. Keating and Joseph Hargitai, *The Wired Professor: A Guide to Incorporating the World Wide Web in College Instruction* (New York: NYU Press, 1999), p.30.
[49] Ibid., p. 38.
[50] Ibid.