

## ALAN TURING Y LOS ORÍGENES DE LA INVESTIGACIÓN MULTIDISCIPLINAR

**Rafael Lahoz-Beltra**

*Dpto. de Matemática Aplicada (Biomatemática). Universidad Complutense de Madrid*

### RESUMEN

En marzo de 2013 el Museo de la Ciencia de Londres daba la noticia de que uno de los hallazgos de Alan Turing, la invención de una máquina teórica –fundamento de los ordenadores actuales-, había sido elegida por el público como la invención británica más importante del siglo XX. Sin embargo, más allá de su formidable e influyente legado científico, otro de los legados de este genial científico fue la forma en que Turing “hacía la ciencia”, contribuyendo con su figura al nacimiento de lo que hoy se conoce como *investigación multidisciplinar*.

Sin lugar a dudas el siglo XX pasará a la Historia como una de las épocas más violentas de la humanidad -dos guerras mundiales así lo atestiguan- pero también como uno de los periodos de mayor creatividad científica e intelectual. Un 23 de junio de 1912 nacía en Londres Alan Mathison Turing, quien pese a su corta vida -moriría un 8 de junio de 1954 a la temprana edad de 41 años- ha sido considerado como uno de los científicos más influyentes del siglo XX. Para celebrar el 100º aniversario de su nacimiento, 2012 fue elegido como “Año Conmemorativo de Alan Turing”, celebrándose homenajes, congresos y reuniones en todo el mundo.

Con un periplo vital tan breve, Turing tuvo tiempo suficiente para idear la célebre máquina de Turing, un dispositivo hipotético con capacidades similares a las de un ordenador actual y uno de los elementos fundamentales de la teoría de la computación. Su genialidad también se manifestó durante la II Guerra Mundial con el descifrado de los códigos alemanes de Enigma, lo que permitió a los países Aliados acortar la guerra. Concluida la guerra construye Pilot Model ACE, uno de los primeros ordenadores, basado en un diseño suyo, y termina con su incorporación a la Universidad de Manchester. Es en esta universidad donde Turing explora por vez primera el tratamiento con ordenador de algunos problemas en biología relacionados con el crecimiento y la forma de los seres vivos, dando así paso a una nueva disciplina, la biología matemática.

Ya próximo al final de su vida, suicidándose por medio de la ingestión de una manzana envenenada, propone el test de Turing, una de las pruebas más célebres de la inteligencia artificial. No describiremos su vida, ni tampoco los detalles de su obra científica sobre la que tanto se ha escrito y cuyos hallazgos y legado principal siguen aún vigentes. Su mejor biógrafo es el matemático de la Universidad de Oxford, Andrew Hodges, autor de *Alan Turing: The Enigma*, biografía publicada simultáneamente en dos ediciones, una británica (Vintage, Random House) y otra norteamericana (Princeton University Press). En 2005 el autor de este artículo publicó la primera biografía sobre Turing en castellano, a la que siguió una segunda edición en 2009. En 2008 aprovechando una estancia en la Universidad de Nottingham visitó algunos lugares emblemáticos en los que Alan Turing desarrolló su trabajo, tal es el caso de Bletchley Park en donde trabajó como criptógrafo y vio la luz *Colossus* el primer ordenador electrónico, escribiendo en 2012 una nueva versión de su biografía (Lahoz-Beltra, 2005, 2009, 2012). Pero ¿por qué es tan importante el personaje de Turing?. Más allá de su formidable e influyente obra científica, otro de sus legados fue la forma en la que Turing “hace ciencia”.

Sin lugar a dudas, podemos afirmar que “Turing inventa un nuevo tipo de científico que es el actual, el multidisciplinar, que lo mismo se ocupa de una hormiga que de los movimientos financieros”<sup>1</sup>. La II Guerra Mundial no sólo fue un derroche en vidas, sino también de inteligencia. El afán por acortar y ganar dicha contienda hizo que por vez primera los científicos se vieran avocados a participar en la resolución de un conflicto bélico.

Y fue en este ambiente en donde Alan Turing desplegó todo su ingenio en su tierra natal, Reino Unido, ayudando a su país a salir del asedio al que la Alemania nazi le tenía sometido cruelmente por mar y aire. Pero no sólo él sino también muchos otros científicos del otro lado del Atlántico, en EE.UU., como fue el caso de John von Neumann, contribuyeron a la victoria de los Aliados. Turing y von Neumann<sup>2</sup> murieron jóvenes, el primero por suicidio y el segundo de cáncer a la edad de 53 años, dejando ambos tras de sí parte de su legado científico sin concluir. Ambos compartieron inquietudes influenciándose mutuamente, y no sólo porque se conocieran personalmente a mediados de los años 30 en la Universidad de Princeton (EE.UU.), sino también, y esto es lo más curioso, porque ambos trabajaron en temas similares en el epílogo de su vida personal y científica.

Antes de que “todo terminara, y sólo fueran tiempo” -tal y como diría el poeta español Caballero Bonald- Turing y von Neumann se encontraban estudiando de forma independiente una posible analogía o paralelismo entre las máquinas y el cerebro. En 1958 von Neumann publicó su obra póstuma: “El Ordenador y el Cerebro”, justo cuatro años después de que Turing hubiera fallecido. Por su parte, en 1950 Turing publicó el trabajo titulado: “Maquinaria de computación e inteligencia”, uno de los artículos de investigación pioneros en el que se explora lo que él llamó “maquinaria inteligente”. En este trabajo Turing plantea la posibilidad de que un ordenador -o en su defecto una máquina- exhiba inteligencia artificial, jugando al ajedrez, traduciendo un texto de un idioma a otro o reconociendo, tal y como ocurre en la actualidad en los aparcamientos de las grandes ciudades, la matrícula de un vehículo.

Pero tal vez lo más interesante no sólo fueron los resultados teóricos a los que estos dos científicos llegaron de forma independiente, sino y una vez más, la forma tan parecida, y tan peculiar para entonces, que ambos tuvieron de “hacer ciencia”.

En primer lugar, tanto Turing como von Neumann hacen un trabajo puramente teórico pero sin olvidar su vertiente práctica. No todo es *investigación básica*, ni mucho menos teórica, tanto von Neumann como Turing también fueron capaces de vislumbrar las *aplicaciones* de sus investigaciones en curso. Así, por ejemplo, Turing diseñó en 1953 *Turochamp*, el primer programa de ordenador -si bien la computación se realizaba a mano, con lápiz y papel-, con el que una máquina podría jugar al ajedrez; o como el experimento que realizase con el ordenador MADAM de la Universidad de Manchester, programándolo para que escribiera cartas de amor.

Ahora bien, a principios de los años 50 ¿qué utilidad podía tener todo esto? Con estas experiencias Turing dará los primeros pasos hacia un nuevo paradigma sobre el que se sustentará el mundo actual. Con su trabajo sobre “maquinaria inteligente” Turing introduce la idea de que lo importante es el código, la información, y con ello será uno de los pioneros de la teoría de la información y la cibernética. Si para Platón lo importante no era la materia sino el símbolo y por tanto el concepto, para Turing todo es código, no sólo los números, por ejemplo, 2 y 3, sino también las operaciones con las que podemos transformar dichos números, por ejemplo  $2 + 3$ .

Esta idea fue precisamente la que permitió dar tras la Segunda Guerra Mundial un salto cualitativo en el diseño de los ordenadores. Hasta entonces, en los primeros ordenadores y otras

---

<sup>1</sup> Entrevista realizada al autor de este artículo en “El hombre que mordió la manzana”, El País Semanal nº 1.874, 26 de agosto de 2012:16-18.

<sup>2</sup> Véase el artículo de Sorin Istrail y Solomon Marcus: “Turing and von Neumann's Brains and their Computers”. *Proceedings of the Turing Centenary Conference*, 2012. [http://www.brown.edu/Research/Istrail\\_Lab/papers/Istrail-Marcus012912FINAL.pdf](http://www.brown.edu/Research/Istrail_Lab/papers/Istrail-Marcus012912FINAL.pdf)

máquinas de calcular, cada operación aritmética tenía asignado su propio circuito, por ejemplo la suma era efectuada por un circuito distinto del que realizaba la división. Gracias a Turing los circuitos, es decir el *hardware*, fueron sustituidos por código, esto es *software*, que realizaba la misma tarea. Esta sustitución facilitó el diseño de los ordenadores reduciéndose tanto su tamaño como el coste de construcción. Más aún, la idea de que algo material puede ser construido con código utilizando para tal fin algún lenguaje de programación<sup>3</sup>, tendrá un fuerte impacto en otras disciplinas distintas de la informática, como es el caso de la biología.

Al final de su vida Turing estudio la formación de patrones en la piel de los vertebrados, por ejemplo las bandas características de las cebras, introduciendo sus célebres ecuaciones diferenciales de reacción-difusión. Con este modelo matemático se explicaba la formación de patrones a partir de una sustancia imaginada por Turing, y por aquel entonces desconocida, a la que bautizó con el nombre de morfógeno. Aunque esta clase de sustancias fueron descubiertas en laboratorio en la década de los 60, el interés de Turing fue la simulación con ordenador, en un Ferranti Mark I del Laboratorio de Computación en Manchester, de la formación de patrones a partir del modelo matemático por él planteado. Las ecuaciones de reacción-difusión fueron publicadas en 1952 en un artículo titulado: “La base química de la morfogénesis” en la prestigiosa revista científica *Philosophical Transactions* de la *Royal Society*, siendo uno de los trabajos pioneros de la biología matemática.

Sin embargo, más allá de la importancia biológica del modelo, con este trabajo Turing demostraba otra idea crucial: la vida también puede ser expresada en términos de un código, ya sea una cadena de ceros y unos -por ejemplo, un programa de ordenador- o cualquier otra forma de expresión simbólica. Curiosamente esta idea será corroborada experimentalmente con el hallazgo de que en los seres vivos la información contenida en los genes, colocados uno tras otro como si de *software* se tratara, encuentra su sustrato material o *hardware* en la molécula de ADN. Su estructura fue descubierta por los británicos James D. Watson y Francis Crick en 1953, apenas un año antes de la muerte de Alan Turing.

Ahora bien ¿qué influencia tendrá para la posteridad el “idealismo platónico” de Turing? La idea en la que se sustentó gran parte de sus investigaciones y que podría ser resumida en la frase “todo es información”, contribuirá no sólo al nacimiento de algunas disciplinas como la biología matemática y la biología teórica, sino también a sentar las bases de un nuevo tipo de científico capaz de colaborar con investigadores de otras disciplinas a través de la formación de equipos multidisciplinares. A partir de mediados del siglo XX científicos que hasta entonces trabajaban y colaboraban únicamente con colegas de su misma disciplina se dan cuenta de que algunos de los problemas que son objeto de sus investigaciones comparten elementos comunes con otros problemas de naturaleza muy dispar al pertenecer a otras áreas de conocimiento.

La creación de equipos multidisciplinares conducirá a una nueva forma de hacer investigación en la que se combinarán las distintas técnicas de trabajo, resolviéndose o investigando sobre un cierto problema a través de una metodología a la que hoy, bajo distintos términos y matices, se conoce como *investigación transversal, interdisciplinar o multidisciplinar*. Así por ejemplo, en la actualidad hay investigadores para los que los comportamientos de un enjambre, el de los conductores en un atasco de tráfico o el de los agentes de bolsa ante los mercados financieros, representan una misma clase de problema con unas mismas reglas. Otro ejemplo es la investigación sobre el cáncer.

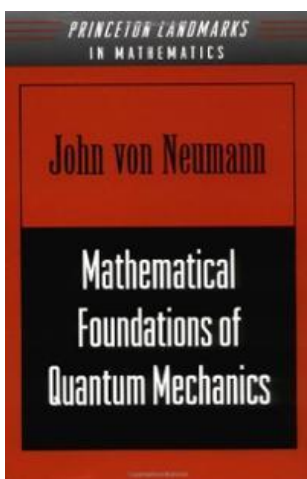
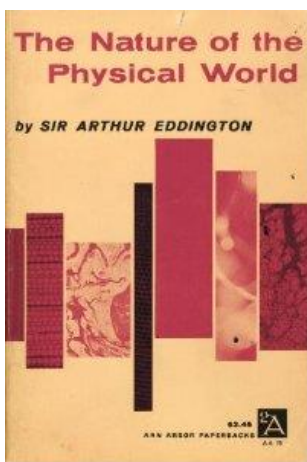
Una de las líneas de investigación más recientes consiste en el diseño de modelos matemáticos del cáncer en los que se utilizan ideas procedentes de la ecología. Así por ejemplo, la noción de nicho ecológico es aplicada al lugar, léase órgano, en el que habita el tumor, comparándose a las células sanas y a las cancerosas con dos poblaciones de individuos de distinta especie, y al fenómeno de

---

<sup>3</sup> Desde los orígenes de la informática hasta hoy en día ¿cuántos lenguajes de programación hay? Una respuesta puede hallarse en una curiosa página web <http://www.99-bottles-of-beer.net/> en la que bajo el título “99 Bottles of Beer” sus autores recogen una colección de 1.500 programas en distintos lenguajes de programación que realizan la misma tarea al ejecutarse en un ordenador: escriben la letra de una canción popular con este título.

metástasis con la colonización de un nuevo hábitat. Para estos investigadores, reunidos en equipos multidisciplinares, no se trata de un mero paralelismo entre ecología y cáncer, sino de la aplicación de los conceptos de la ecología a esta enfermedad con el fin de inspirar nuevas terapias y tratamientos clínicos.

En segundo lugar, y pese a que con su trabajo fue uno de los precursores de la investigación multidisciplinar “en equipo”, Turing prefería trabajar en solitario, perteneciendo a una de las últimas generaciones de genios solitarios. En la actualidad los genios como Newton, Einstein, Darwin o el propio Turing no podrían, en palabras de Deen Kith Simonton, investigador de la Universidad de California en Davis (EE.UU.) y especialista en el tema de la genialidad en la ciencia, trabajar en solitario. Según este investigador ello se debe a tres motivos: (i) A lo complejo que se ha hecho el conocimiento, y (ii) A la utilización en algunas áreas de investigación de grandes y costosos equipos experimentales. Por ejemplo, el Gran Colisionador de Hadrones fue necesario para confirmar experimentalmente la existencia del boson de Higgs que Peter Higgs propusiera a nivel teórico. Finalmente, (iii) El alto grado de especialización al que se ha llegado en ciencias (véase *Scientific genius is extinct*. 2013. *Nature* 493: 602). Es decir, hasta un genio como fue Turing requeriría hoy en día de un equipo de investigadores bajo su dirección. Según Jack Copeland, actualmente director del Archivo Turing<sup>4</sup> para la Historia de la Computación en Canterbury (Nueva Zelanda), lugar en el que está ubicado desde 1985, Turing tenía un sentido del humor travieso e irreverente que contagiaba a los que le rodeaban.



Las influencias de Alan Turing: (Izquierda) Su amigo Christopher Morcom. (Centro) Los libros de Eddington y de von Neumann fueron leídos por un joven Alan Turing introduciéndole en la teoría de la relatividad y la mecánica cuántica. (Derecha) Su madre Sara tuvo una especial preocupación su por su educación, escribiendo un libro tras el suicidio de su hijo en el que ponía en duda la causa de su muerte, alegando un posible accidente al realizar experimentos de química.

<sup>4</sup> The Turing Digital Archive, en: <http://www.turingarchive.org/>

De hecho en su corta vida trabajó en distintos lugares relacionándose correctamente con los que le rodeaban, ya fuera en las Universidades de Cambridge (Reino Unido) y Princeton (EE.UU.), en Bletchley Park en Milton Keynes, un lugar próximo a Londres, en el Laboratorio Nacional de Física (NPL por sus siglas en inglés) en Londres o al final de su vida en la Universidad de Manchester. Sin embargo, y en palabras de Copeland, “amaba el trabajo en solitario [...] dando la impresión al leer sus artículos científicos de que el resto de la humanidad simplemente no existía”. Sobre su carácter solitario en el trabajo también coincide su biógrafo Andrew Hodges, quien dice refiriéndose a su etapa como criptógrafo en Bletchley Park, y que aquí traducimos “Feliz de trabajar él solo en un problema que otros habían abandonado, Turing reventó el sistema (en el sentido de *crackear* Enigma, la máquina con la que los alemanes cifraban los mensajes) hacia finales de 1939 [...]”<sup>5</sup>.

En tercer lugar, Turing es un sujeto especialmente creativo. La forma en la que aborda la investigación de un problema intentando buscar ideas nuevas que se alejen de las convencionales, es lo que años después ha sido bautizado por Edward de Bono en 1967 como “pensamiento lateral” (“*lateral thinking*” en lengua inglesa). Se trata de ser creativo e innovador, explotando la intuición y la imaginación, en un afán por relacionar ideas aparentemente inconexas en lugar de sustentar la creatividad en un proceso lineal basado únicamente en el uso del razonamiento lógico y el conocimiento.

Si un investigador clásico es un sujeto que explota su hemisferio izquierdo, siendo su estilo de pensamiento analítico y su objeto de atención las partes; con esta nueva forma de pensar la ciencia recupera para el científico su “olvidado” hemisferio derecho, otorgando al sujeto de un estilo de pensamiento intuitivo y holístico en el que el todo es el objeto de su atención. Con el fin de entender mejor esta forma de pensar un buen ejemplo es el libro, aunque de difícil lectura, titulado “Gödel, Escher, Bach: un Eterno y Grácil Bucle” [http://es.wikipedia.org/wiki/G%C3%B6del,\\_Escher,\\_Bach:\\_un\\_Eterno\\_y\\_Gr%C3%A1cil\\_Bucle-cite\\_note-1](http://es.wikipedia.org/wiki/G%C3%B6del,_Escher,_Bach:_un_Eterno_y_Gr%C3%A1cil_Bucle-cite_note-1) de Douglas Hofstadter, publicado en 1979, y en el que su autor relaciona entre sí la obra pictórica de Escher, con el lógico Gödel, y la música de Bach. Otro ejemplo, es el libro de Clifford A. Pickover publicado en 1990 y titulado “*Computers, pattern, chaos and beauty*”. Su autor explica bajo un enfoque propio de la ciencia recreativa un sinnúmero de sencillos pero sorprendentes experimentos con ordenador con los que ilustra cómo el pensamiento lateral aplicado a la investigación puede llevarnos a resultados sorprendentes. Así por ejemplo, propone el estudio de las moléculas aplicando programas para el análisis de sonido. Utilizando esta idea su autor compara la estructura de una de las moléculas más importantes para la vida, las proteínas, con la de algunas obras del músico J.S. Bach.

La lectura de estos libros puede ayudarnos a entender el estilo de trabajo, y por tanto de pensamiento, que le permitió a Turing llegar a resultados sorprendentes. En palabras de Maurice V. Wilkes, investigador británico creador en 1949 del ordenador EDSAC, “Turing sentía una gran predilección por trabajar sobre cualquier tema desmarcándose de los principios establecidos. Normalmente empezaba sin consultar los trabajos previos sobre la materia, y sin duda ese hábito fue el que le proporcionó a su trabajo ese aire tan característico de originalidad”.

Más allá de la investigación científica en la actualidad el pensamiento lateral es uno de los ingredientes que forma parte de muchas de las técnicas que hoy en día se enseñan en las escuelas de negocios, y que son práctica habitual en el mundo empresarial. Pero ¿de dónde procedía esta forma de pensar en Turing?. De hecho son varias las anécdotas que atestiguan que ya desde niño sentía predilección por la resolución de problemas de una forma un tanto peculiar.

Se cuenta que a la edad de siete años, en una merienda en Ullapool, ciudad situada al norte de Escocia, el joven Alan pensó que la mejor manera de recolectar miel era dibujar el trayecto que

---

<sup>5</sup> Véase en HODGES, A. (2006). Alan Turing Internet Scarpbook, <http://www.turing.org.uk/bio/part4.html>

realizaban las abejas con el fin de obtener el punto de intersección de los recorridos, ya que en ese lugar estaría precisamente el panal. O en otra ocasión se percató de que la cadena de su bicicleta se salía tras un número determinado de vueltas del plato y los piñones... Acaso ¿no hubiera sido más sencillo cambiar la cadena tal y como hubiera hecho cualquier otro muchacho *normal* de su misma edad? Su carácter e inquietudes se vieron reforzados por su gran amistad en el Sherborne School con Christopher Morcom, un alumno de un curso superior al suyo, de gran talento científico, y que tuvo un gran impacto en la vida de Turing pese a su repentina muerte. Tras su muerte Turing pensó que sobre él recaía la obligación de llevar a cabo durante el resto de su vida el *trabajo pendiente* que su amigo ya no podría realizar. De esta etapa nace en Turing un interés por la mente y la mecánica cuántica que le llevará años después a sentar las bases de la inteligencia artificial.

En cuarto lugar, Turing coincide con Darwin en lo que ha sido definido por Daniel Dennett, un investigador del Centro de Estudios Cognitivos de la Universidad de Tufts (EE.UU.), como la “extraña inversión de un razonamiento” (*Darwin’s “strange inversion of reasoning”*. 2009. *PNAS* 106: 10061-10065). Según Dennett científicos como Newton, Darwin o Turing habrían hecho grandes contribuciones a la filosofía. Así, por ejemplo Darwin, con su trabajo sobre la evolución por selección natural logró aunar mundos aparentemente opuestos.

Antes de Darwin el mundo no viviente, inorgánico, *abiótico*, estaba separado del orgánico, *biótico* o viviente. Después de Darwin esta separación entre la materia inorgánica y la materia orgánica desaparece. Todo es un continuo. Sin embargo, y éste es el aspecto realmente novedoso de la teoría de Darwin, la evolución es completamente ciega e ignorante sobre cómo “construir un ser vivo” lo que no impedirá que a lo largo de millones de años nuestro planeta, la Tierra, se vea invadida con éxito por toda clase de plantas, animales y microorganismos.

Esta ceguera de un mecanismo realmente tan creativo como es la evolución, es la idea central que explora de manera magistral el libro de Richard Dawkins “El relojero ciego”. De una forma similar a Darwin ocurre con el trabajo teórico realizado por Turing. Antes de Turing, y de los ordenadores, los cálculos matemáticos eran realizados a mano por seres humanos no por máquinas, principalmente por mujeres, dada su especial habilidad en cuestiones de cálculo. Sin embargo, Turing demostró que es posible construir una máquina similar a los actuales ordenadores, sin que sea un requisito que la máquina en cuestión “conozca” qué es la aritmética o cualquier otra clase de operación matemática.

En resumen, las investigaciones realizadas por Turing conducirán no sólo a importantes hallazgos científicos sino también a una nueva forma de “hacer ciencia” y en consecuencia a una nueva clase de científico. Este científico se hará preguntas pero las respuestas no las buscará bajo las directrices y metodologías propias de un cierto paradigma, aquel que es consustancial a su área de investigación, hallando las respuestas bajo una postura multidisciplinar. Además, Turing representará junto con otros científicos el final de una época, la de los investigadores solitarios, y por tanto la de una visión romántica de hacer ciencia y que en nuestro país tiene como ejemplo la figura de Santiago Ramón y Cajal.

La creatividad en Turing, su genialidad, busca nuevos caminos no explorados con anterioridad, explotando como estrategia de razonamiento el pensamiento lateral. Finalmente, su capacidad de abstracción es tal que coincide con otros grandes científicos en lo que ha sido definido más arriba como extraña inversión de un razonamiento. La aproximación de los resultados de sus investigaciones a la filosofía, permitirá a una disciplina avanzar, tal y como ha ocurrido con la teoría de la evolución en biología o con la noción de máquina de Turing en informática. Próximo a concluir el siglo XX, en un número de la revista *Time* publicado en marzo de 1999, Alan Turing fue seleccionado como una de las veinte personas más influyentes de un siglo, el XX, cuyos hechos más singulares y personajes son ya historia.

## **BIBLIOGRAFIA**

- HODGES, A. (2012): Alan Turing: The Enigma. The Centenary Edition. Princeton University Press.
- LAHOZ-BELTRA, R. (2005, 2009): Turing. Del primer ordenador a la inteligencia artificial. Madrid: Nivola.
- LAHOZ-BELTRA, R. (2012): Turing. La computación. Grandes Ideas de la Ciencia. Barcelona: RBA.