



VIDA



ERIC GOLES

ARTIFICIAL

UN VIAJE PERSONAL AL
CORAZÓN DE LAS MÁQUINAS



VIDA ARTIFICIAL

Este libro no podrá ser reproducido, ni total ni parcialmente, sin el previo permiso escrito del editor. Todos los derechos reservados.

Queda expresamente prohibida la utilización o reproducción de este libro o de cualquiera de sus partes con el propósito de entrenar o alimentar sistemas o tecnologías de inteligencia artificial.

© 2025, Eric Goles

Derechos exclusivos de edición:

© 2025, Editorial Planeta Chilena S.A.

Avda. Andrés Bello 2115, 8° piso, Providencia,
Santiago de Chile

Diseño de cubierta: Catalina Chung Astudillo

Diagramación: Ricardo Alarcón Klaussen

1ª edición: marzo de 2025

RPI: 2025-A-102

ISBN: 978-956-408-700-9

Impreso en: CyC Impresores Ltda.

VIDA ARTIFICIAL

UN VIAJE PERSONAL
AL CORAZÓN DE LAS MÁQUINAS



Eric Goles

*A mis nietos
Tomás y Maximilien.*

Y dijo Dios: “Hagamos al hombre a nuestra imagen, conforme a nuestra semejanza; y señoree en los peces del mar, en las aves de los cielos, en las bestias, en toda la tierra, y en todo animal que se arrastra sobre la tierra”. Y creó Dios al hombre a su imagen, a imagen de Dios lo creó; varón y hembra los creó. Y los bendijo Dios, y les dijo: “Sean fecundos y multiplíquense. Llenen la tierra y sométanla. Señoreen en los peces del mar, en las aves de los cielos, y en todas las bestias que se mueven sobre la tierra”.

GÉNESIS 1:26-28



Les dejo el código QR de mi canal
de YouTube @EricGolesOficial

Índice

Gracias por favores concedidos	15
1. Vida artificial: a modo de prólogo	17
2. <i>Miss</i> Ulam	35
3. La mañana de los relojeros	39
4. El turco ajedrecista	41
5. Byron Babbage Byron	49
6. La manzana y la máquina	57
7. El cerebro artificial	65
8. El origen del orden	71
9. Computadores	77
10. Autómatas celulares	85
11. Cristales vivos	109
12. El replicador de von Neumann	113
13. Hay alguien allá afuera	125
14. Los circuitos de Banks	135
15. El Juego de la Vida	143
16. Autómatas reversibles	149
17. Objetos Virtuales No IdentificadoS	157
18. El gran teatro del mundo	183
19. Computación evolutiva	187
20. Hormigas artificiales	199
21. El último de nosotros	207
22. Porque sí	219
Brevículos	223

1. Vida artificial: a modo de prólogo

La vida artificial es posible,
porque la esencia no reside en
su origen, sino en su capacidad
de adaptarse, evolucionar y
crear.

CHATGPT.

Julien Offray de La Mettrie apenas se había levantado esa mañana, cuando le avisaron que una turba de energúmenos quemaba su libro y que ya lo buscaban con la aviesa intención de que corriera la misma suerte.

En su libro, *El hombre máquina*, publicado en pleno siglo de las luces, afirmaba que el hombre es justamente una máquina. En consecuencia, el pensamiento era una propiedad de la materia, tan natural como la dilatación térmica que sufren los metales. ¿Y el alma? Nada de alma, solo una especie de sudor del cuerpo.

El hombre: una máquina. Idea, por cierto, en más de un sentido, peligrosa.

En este libro presento una hipótesis semejante, que sin ser una absoluta novedad es poco frecuente, sujeto de controversias, ridiculizada y, en la actualidad, si no peligrosa, ciertamente incómoda: La vida artificial es posible.

No estoy pensando en el rabino de la sinagoga de Praga que animó mediante símbolos cabalísticos un monigote de barro o en el doctor Frankenstein

que fabricó la vida a partir de la electricidad y la carne muerta. Tampoco pienso en autómatas de relojería o robots o en una mujer imaginaria cantada por un poeta. No, nada de leyendas ni monstruos góticos salidos de un lúgubre laboratorio decimonónico ni tecnología japonesa o poesía.

Nada de eso.

Matemática.

Pienso en matemática.

Cómo, desde los griegos, pasando por Galileo, Newton, Maxwell, Einstein, hasta los más recientes avances de la computación y la informática cuántica, la matemática sigue siendo el lenguaje en que está escrito el libro de la naturaleza.

Formalismos y ecuaciones que sostienen e inventan el mundo.

Al menos hasta la década de los cuarenta esencialmente mediante el cálculo diferencial e integral, creado por Newton y Leibniz, que permite concebir lo infinitamente pequeño como una posibilidad, lo que lleva a suponer, al aplicarlo al mundo físico, que la naturaleza es continua y en consecuencia descrita y gobernada por ecuaciones diferenciales.

Todo un éxito, aunque algo empañado por la aparente imposibilidad de extrapolar dicha óptica a los avatares de la vida, de lo orgánico. Por lo demás, antes de los cuarenta, no había muchos científicos buscando modelos matemáticos de lo vivo.

Aunque en matemática, en el modo en que los matemáticos miraban la disciplina, por razones del todo propias y completamente ajenas al aparente fracaso de las “ecuaciones” en el mundo biológico, a fines del siglo XIX las cosas comenzaron a cambiar. Aparte de razones filosóficas, quizás porque, muy sencillamente, si la matemática aspiraba a ser la “reina de las ciencias”, responsable nada menos que del lenguaje en que se escribía el libro de la naturaleza, pues bien, había que precisarlo; estudiar la sintaxis, sus posibilidades y sus límites. Sobre todo, convencerse de que era correcto, que no llevaba a contradicciones, al error.

Eso querían dejar muy en claro el matemático David Hilbert y su grupo de la Universidad de Gotinga.

Ilusos.

En 1930, en Viena, Kurt Gödel, un joven austriaco de veinticuatro años, demostró que todo aquello era imposible: nunca en nuestro universo (quizás en cualquiera) podría saberse si las reglas del juego matemático están libres de contradicción.

No solo eso; apenas seis años más tarde, otro joven, también de veinticuatro años, Alan Mathison Turing, hundió aún más el cuchillo: existen (infinitas) afirmaciones para las cuales (de nuevo en este universo) jamás sabremos si son verdaderas o falsas: son indecidibles.

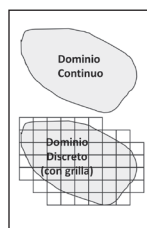
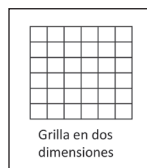
Desde entonces caminamos, construimos los cimientos del universo, sobre arenas movedizas.

Sin embargo, maravillosa cosa rara, la matemática sigue funcionando; si se caen algunos puentes o edificios es casi siempre por estafas o falla humana, no porque colapsen las leyes de Newton.

Hay más, el lapidario resultado de Turing no se agota en la indecidibilidad, también trajo consigo un objeto lógico tan importante para la humanidad como el descubrimiento del fuego o la rueda y, a la vez, tan inquietante y peligroso como el monstruo engendrado por el doctor Frankenstein: Turing concibió el esqueleto lógico y el modo de operar del computador, de cualquier computador.

El computador de Turing, tal como los actuales, consideraba una lista finita de instrucciones, estados, números y símbolos, que se leían e imprimían sobre una cinta de papel dividida en celdas. Una máquina de naturaleza discreta en el tiempo y en el espacio¹.

Por ello, el paradigma de un universo continuo comenzó a cambiar.



1. En matemáticas, espacio discreto y tiempo discreto son conceptos relacionados con sistemas donde las variables o los eventos están definidos en valores separados y no son continuos. En cuanto al espacio (discreto) se entiende como un conjunto de puntos separados entre sí, sin puntos intermedios entre dos consecutivos. En cuanto al tiempo (discreto) me refiero a un modelo donde los eventos o estados del sistema se definen en intervalos de tiempos separados, instante 1, 2, 3, etcétera. A diferencia del tiempo continuo, no se considera lo que ocurre entre esos instantes de tiempo; por ejemplo, en este contexto, no tiene sentido referirse al evento del instante 2,3.

Para muchas, si no la mayoría, de las ecuaciones de la física, no hay soluciones exactas, me refiero a fórmulas, como la que aprendimos en el liceo para determinar las raíces de una ecuación de segundo grado. De modo que se resuelven mediante tanteos, aproximaciones, lo que significa cientos, miles, a veces millones de cálculos numéricos. Para tal efecto, es crucial el uso de computadores que en lugar de resolver el problema en el espacio continuo lo discretizan, aproximando las ecuaciones sobre una grilla como la que figura a la derecha del texto.

A fin de hacer esto de manera eficiente se inventaron lenguajes para “conversar” con el computador y las ecuaciones fueron reemplazadas por listas de instrucciones que llamamos programas. Y esto es importante, pues permitió asociar las ecuaciones clásicas con un objeto nuevo, los programas. Un cambio, digamos, epistemológico: diversos fenómenos físicos modelados por ecuaciones diferenciales es posible representarlos directamente por un programa (un conjunto de instrucciones ejecutables y comprendidas por un computador).

Lo cual es algo paradójico: desde Newton se asume que el espacio es continuo; hipótesis del todo adecuada para las ecuaciones diferenciales derivadas de la física. No obstante, en la mayoría de los casos esas ecuaciones no tienen soluciones analíticas (fórmulas) y la única manera de resolverlas es mediante el uso de un computador; discretizar el espacio, convertirlo en una grilla y resolver el problema considerando solo un conjunto finito de números (no mayores de lo que permite la memoria del computador).

¿Por qué no, entonces, olvidarse de las ecuaciones diferenciales y adoptar derechamente el espacio discreto?

Tampoco nada demasiado novedoso, ya en el siglo v a. C., los filósofos griegos Leucipo y Demócrito, para refutar la negación del movimiento defendida por la escuela eleata, postularon que el universo estaba compuesto de átomos (partículas indivisibles) moviéndose al azar en el vacío, como las motas de polvo iluminadas por un rayo de sol. Y nada nuevo parece haber justamente bajo el sol pues, casi veinticuatro siglos más tarde, comenzó de verdad a desenredarse la madeja. Aparece la teoría atómica de Dalton, la mecánica cuántica y los descubrimientos de más y más partículas

elementales, hasta el presente. Así, muchas situaciones físicas que nos parecen continuas tienen una clara raíz discreta; por ejemplo, la temperatura que medimos (en apariencia) de manera continua, es el resultado del deambular y chocar de innumerables partículas o moléculas de un gas. Las variables y ecuaciones macroscópicas de la termodinámica son solo el resultado del promedio de las velocidades y azarosos choques de partículas².

Luego, la naturaleza, a pesar de las apariencias, es discreta y el cálculo diferencial, al aplicarse al espacio físico, es una idealización.

No funciona en un colador. El espacio está lleno de hoyos.

Otro paso hacia la discretización (y desde la biología) lo dieron el neurofisiólogo Warren McCulloch y el genial adolescente Walter Pitts, quienes, en los años cuarenta, inspirados por el intento de Bertrand Russell y Alfred Whitehead de reducir la matemática a la lógica y en la máquina universal (el computador) de Turing, concibieron un cerebro artificial como una red de neuronas representadas por funciones lógicas con respuestas de todo o nada; 0 o 1, de acuerdo a si la suma ponderada de sus entradas (sinapsis) supera un valor umbral. Un cerebro discreto, no continuo. Y, a pesar de la escasez de números (solo dos: 0 o 1), demostraron que podía realizar todo lo que hacía el computador propuesto por Turing.

Ya estaba en el aire que lo más complejo concebido por el ser humano era un computador.

Y el cerebro artificial podía hacer lo mismo que un computador. ¿Nosotros, sus creadores, podíamos hacer más? Pregunta que comenzaba ya a dar vueltas y que yo, parcialmente, retomo en este libro.

Pero volvamos al cerebro artificial.

Aunque Pitts, años más tarde, deprimido y alcoholizado, abandonó la partida, las redes de neuronas artificiales siguieron progresando. A fines de los sesenta, Warren McCulloch, conjuntamente con un joven médico, Stuart Kauffman, extendieron el modelo al estudio, no ya de las funciones lógicas específicas que definían las neuronas artificiales sino a cualquier función lógica.

2. En un mol (un volumen muy pequeño) de sustancia hay $6,02214076 \times 10^{23}$ partículas o moléculas. El universo en una gota de agua, diría el poeta William Blake, refiriéndose al número de Avogadro.

En 1969 Stuart Kauffman publicó su célebre artículo asociando la dinámica de esas redes a la interacción entre genes y a los diferentes tipos de células que tienen los organismos³.

Otra vez aparecía la relación entre vida, programas e información. Como el rabino de Praga seguíamos buscando las palabras y los símbolos para crear la vida.

Volviendo a los cuarenta, el cerebro artificial impresionó muchísimo a John von Neumann, que a pesar de haber trabajado con el grupo de Gotinga y conocedor de los trabajos de Gödel y Turing, prefería los modelos continuos. Por ese entonces, von Neumann trataba de resolver las ecuaciones diferenciales asociadas a la explosión de la bomba atómica, para las cuales, qué duda cabe, no existían soluciones analíticas, fórmulas. Había que resolverlas en un computador y los existentes eran rudimentarios, poco confiables y con una arquitectura muy dependiente de la electrónica de la época.

Von Neumann, inspirado en las neuronas artificiales de McCulloch y Pitts y, sin duda, en los trabajos de Turing, concibió un modelo general partiendo desde el diseño lógico y no de la tecnología. No solo eso; la electrónica de la época no era de lo mejor, los tubos de vacío, imprescindibles para hacer los circuitos del computador, se quemaban a cada rato. Por ello, von Neumann buscó la manera de que la máquina funcionara correctamente, sin descomponerse todo el tiempo, incluso con unidades deficientes. Calcular a pesar de las fallas, autorrepararse. Y si se habla de autorreparación, pues el ejemplo son los organismos que, a pesar de sufrir fallas o heridas, se reparan. Es más, se reproducen y se copian. Por ahí tenía que buscar. Un artefacto capaz de replicarse. Por cierto, acostumbrado a las “exitosas” ecuaciones diferenciales, trató infructuosamente de construir un modelo continuo. Hasta que por sugerencia de su colega y amigo, el matemático Stanisław Ulam, adoptó el modelo discreto de crecimiento de cristales que este había simulado en el computador Maniac de Los Álamos. A partir de esta idea concibió un artefacto formal de veintinueve

3. Kauffmann, Stuart. “Metabolic stability and epigenesis in randomly constructed genetic nets”, *Journal of Theoretical Biology*, 22(3), 1969, pp. 437-467.

estados que evolucionaba en una grilla y que se iba copiando a sí mismo. Todavía sin nombre, se trataba de un autómatas celular. El primero de ellos⁴.

Más allá de lo engorroso del sistema elaborado por von Neumann, lo importante es que mostró que era posible modelar matemáticamente la reproducción y la copia. No solo eso, ¡de manera discreta, en una grilla, mediante un programa! No había ecuaciones como la célebre $E = mc^2$, solo un listado de instrucciones que se ejecutan en un computador.

Nada tan extraordinario, pensamos hoy, sabiendo que la reproducción de todos los organismos se basa en la copia de la molécula del ADN, formada solo por cuatro bases químicas, adenina, citosina, guanina y timina; digamos, A, C, G, T, cuatro símbolos⁵.

A veces, en matemática, para demostrar una conjetura lo que se hace es generalizarla, colocarse en un horizonte más amplio. Así puede ser interpretado entonces lo que afirmó en 1967 el ingeniero alemán y primer constructor en 1941, en los inicios de la Segunda Guerra Mundial, de un computador programable, Konrad Zuse. Que no se refirió a la vida ni a los mecanismos de reproducción, sino al universo (sí, bien digo, el universo): el universo, según el ingeniero Zuse, era una descomunal red de computadores.

El cosmos ejecutado por un desmesurado programa, responsable desde el ínfimo choque de un par de partículas, pasando por el quehacer de un hormiguero, el ronroneo de un gato, hasta las fuerzas pantagruélicas del colosal hoyo negro que se come la galaxia. No solo eso; en su libro *Calculating Space* (1969), el ingeniero Zuse es todavía más radical: el supuesto programa del universo sería un autómatas celular, como el modelo reproductor de von Neumann.

4. Un autómatas celular consiste gruesamente en un tablero (grilla como la del ajedrez o el Go), un número finito de estados que pueden ocupar cada casilla y una regla de cambio de estados que depende, para cualquier casilla, de un conjunto de casillas vecinas. La regla se aplica simultáneamente a todas las casillas de la grilla. No se preocupen, volveré al tema, y latamente, en capítulos ulteriores.

5. Pero lo que sí es sorprendente es que, cuando von Neumann trabajó en el modelo a fines de los cuarenta, poco se sabía del ADN, menos aún de cómo se copiaba. Solo en 1953 la estructura fue dilucidada por Watson y Crick.

Loca posibilidad. Ni tanto. Si de ciencia se trata, en buena hora, ideas locas, siempre las hay y las habrá, aún más desquiciadas. Así, de repente, salta la liebre y las cosas progresan⁶.

De hecho, la misma idea inundó el caletre de otro visionario de la computación, el piloto de combate y programador Edward Fredkin. Y de un modo más dramático, un poco conspiracionista, sin duda hollywoodense: algo o alguien simula el universo. Somos el producto de una simulación. Simples avatares de una especie de juego de video, diríamos hoy. Como en una novela de Philip K. Dick. Una *Matrix* con décadas de anticipación.

Y si bien es cierto esta idea ha inspirado novelas y películas de ciencia ficción, también la sostienen o la discuten en la actualidad filósofos y científicos⁷.

Una de las primeras objetos imaginarios que descubrió Fredkin en este contexto, sin duda inspirado por el modelo de von Neumann, fue un autómatas celular reproductor muchísimo más simple, solo con dos estados. Por desgracia incontinente: copiaba, reproducía, cualquier configuración. Además no era universal —capaz de emular un computador. Le encargó entonces la tarea a Roger Banks, estudiante doctoral que determinó un método para construir autómatas celulares universales. En especial uno con dos estados, aunque mucho menos célebre que el Juego de la Vida de Conway, también universal y con dos estados, que apareció más o menos al mismo tiempo⁸.

Estaba entonces probado que existían programas basados en autómatas celulares que podían hacer todo lo que realizaba un computador. Es más, en el caso de Banks, también con su

6. Esto me recuerda una anécdota. A mediados de los ochenta, en la Escuela de Ingeniería de la Universidad de Chile un colega me comentó, irónico, que fulano perdía el tiempo frente a la pantalla de su estación de trabajo simulando la vida. ¿Y si da en el clavo?, le retruqué.

7. Ver artículo “La thèse de l’illusion se précise”, J. P. Delahaye, *Pour la Science*, Septiembre, 2024. O el artículo de N. Bostrom, “Are we living in a computer simulation?”, *The Philosophical Quarterly*, 2003.

8. El Juego de la Vida tiene dos estados, 1 y 0 (vivo, nada) y una regla tomando en cuenta los ocho vecinos inmediatos en una grilla: Un estado en 0 nace (pasa a 1) si en la vecindad hay exactamente tres celdas vivas (en estado 1). Una celda viva (en 1) sigue viva si en la vecindad hay dos o tres celdas vivas (en 1). La regla se aplica simultáneamente a todas las casillas del tablero. Volveré en capítulo ulterior.

metodología, podía adaptarse de manera simple para, además de universal, ser reproductor. Avances que no eran en absoluto suficientes para aplacar la obsesión de Fredkin. Le preguntó entonces a su colega John McCarthy⁹ cómo podría descubrirse si alguien o algo simulaba el universo. McCarthy, impertérrito, le respondió que, si algo o alguien nos estaba simulando mediante un programa, bastaba encontrar los errores de redondeo. Ese algo o alguien se delataría por los errores de redondeo¹⁰. Pero ¿qué serían los errores de redondeo alienígenas?

¿Errores de la “realidad”, los *déjà vu*, como el gato de la película *Matrix*?

¿La fuerza de gravedad? ¿Un desecho, un error de redondeo?

Fredkin sabía que los computadores disipan energía, se calientan con los cálculos, al punto en que, con los primeros, había que trabajar en traje de baño. Y estaban los errores numéricos de redondeo; todos esos bits, transformados en calor quizás, temperatura que se podía medir. Tampoco nada raro, el resultado de una ley universal, el famoso segundo principio de la termodinámica¹¹. Quizás a eso se refería McCarthy, pero Fredkin no era de los que se andan con chicas, así que no fue nada raro que le diese otra vuelta de tuerca a su obsesión mental: si se trataba de “errores de programación” o “algo” perdido en los cálculos, quizás tenía que ver con energía disipada, con el segundo principio, que como era universal debería funcionar igual aquí y en la quebrada del ají: ¡también para los computadores alienígenas!

No necesariamente.

Porque si ese algo o alguien que nos simulaba poseía una tecnología superlativa, como para no disipar la más miserable gota de energía, capaz de suprimir los errores de redondeo, entonces no dejaría huellas. Un programa y un computador donde cada cálculo sería de precisión total y reversible; en cada operación no se perdería

9. John McCarthy, creador del lenguaje LISP y del término “inteligencia artificial”, IA.

10. El resultado de una operación aritmética entre números almacenados con precisión finita.

11. El calor fluye de la fuente caliente a la fuente fría. No existe ninguna máquina de rendimiento perfecto, siempre se disipa, se pierde energía, el desorden, la entropía, siempre aumenta.

nada, siempre sería posible volver atrás en los cálculos, asunto corroborado por innumerables leyes físicas que sí son reversibles.

¿Qué hacer entonces? Determinar ese hipotético programa o autómatas celular era como buscar una aguja en un pajar. Y qué pajar, ¡de dimensiones cósmicas! La alternativa era estudiar matemáticamente la posibilidad de construir un computador reversible. Si no se podía, bueno, algo habría avanzado, estaría más tranquilo, alejando la posibilidad de ser un mero avatar en un juego computacional.

Y para analizar la reversibilidad de los computadores, como están formados por circuitos, bastaría ver si era o no posible construir circuitos reversibles. Y lo hizo, creando un circuito reversible universal, en el sentido de que a partir de él se podía armar cualquier otro. No solo eso; a mediados de los ochenta, junto con Tommaso Toffoli, pergeñó un billar teórico que mediante las colisiones de pelotas ideales, en ausencia de roce, permitía simular su puerta reversible universal. Luego, ese billar teórico no disipaba ninguna energía, no había errores de redondeo.

Esas pelotas de billar artificiales —tiene que haber pensado Fredkin— representaban las verdaderas partículas, los ladrillos fundamentales del universo. Como, además, conjeturaba que el programa que manejaba el universo era un autómatas celular, le encargó a otro alumno doctoral, Norman Margolus, transformar el modelo del billar en un autómatas celular reversible.

Y lo logró.

Cierto, no se trataba de un artilugio capaz de simular el universo pero iba en la buena dirección. Al menos, era un buen candidato para reemplazar las ecuaciones diferenciales y su discretización (que llevaba a la pérdida de precisión y a los errores de redondeo) directamente por aquel billar computacional.

Era un logro interesante, pero si nosotros éramos capaces, aquí, en un pinche planeta en los suburbios de la galaxia, de construir un computador reversible, ¿por qué no podrían hacerlo allá afuera?

Nada todavía de lo que había avanzado podía despejar la posibilidad de una simulación alienígena —debe haber pensado Fredkin—.

Fui testigo de parte de esta aventura a mediados de los ochenta, época en que frecuenté el Grupo de Mecánica Computacional dirigido por Fredkin en el Laboratorio de Inteligencia Artificial del Instituto Tecnológico de Massachussets, MIT.

Ahí me encontré con Stephen Wolfram. Es más, compartimos oficina. Un genio. A los dieciséis años publicó su primer artículo, a los veinte obtuvo su doctorado en Caltech, la beca MacArthur y un posdoctorado en el Instituto de Estudios Avanzados de Princeton.

Venía de Princeton al Laboratorio de Inteligencia Artificial para programar autómatas celulares en el computador paralelo más poderoso del planeta, la Thinking Machine.

Wolfram redescubrió los autómatas celulares en esos años. Aparte de las conjeturas y afanes de Fredkin, el Juego de la Vida inventado por Conway y un puñado de entusiastas como yo, pocos se interesaban en el tema, la teoría languidecía, los autómatas celulares estaban por el suelo. De ahí los recogió Wolfram. Y, buen físico que es, no entró en el tema, como von Neumann o Fredkin, tras un autómata en particular, con un funcionamiento específico. Los estudió todos, programándolos en el computador, partiendo por los más simples (que ya son bastantes), y catalogándolos en cuatro clases de complejidad.

Y hasta por ahí, digamos hacia fines de los ochenta, llegó la primera fase pública del millonario físico¹², que pasaría la próxima década lejos de la academia, de las conferencias y no publicaría nada.

Durante todo ese tiempo no se anduvo con pequeñeces; como dijo en una entrevista, se dedicó a pensar el universo y toda aquella larga y solitaria reflexión la plasmó en un libro de 1927 páginas (sin contar el índice), *A New Kind of Science*, publicado el 2002. Parecido a Zuse y Fredkin, aunque no sostiene la hipótesis de que

12. Millonario, pues creó el *software* Mathematica orientado a resolver algebraicamente (cálculo simbólico) problemas matemáticos. En 1986, luego de una de mis estadias en el Laboratorio de Inteligencia Artificial del MIT, lo invité a Chile. Me agradeció y me dijo que, en principio aceptaba, pero que, a lo mejor, no podría porque tendría que dedicarse a administrar su fortuna. Como en septiembre de ese año me telefoneó (los *mails* aun no eran la norma) diciéndome que no podría visitarme porque efectivamente era millonario. Poco después leí en *Fortune* que su empresa de *software*, Wolfram Research, estaba entre los cien emprendimientos más prometedores del año. Y se forró.

somos simulados, afirma que el universo es programable: cada fenómeno que observamos en la naturaleza está producido por la ejecución de programas simples¹³.

Es más, fruto de billones de simulaciones de objetos discretos (muy en particular, autómatas celulares), de la lectura de miles (sí, miles) de libros y artículos y, por cierto, de conversaciones con una vasta cornucopia de científicos y (aunque sea redundante) de gente rara, concluyó que las complejidades observables, por ejemplo, en un hormiguero, un cerebro, un computador o en algunos programas simples como sus autómatas celulares, son todas equivalentes.

Por cierto, el universo no escapa al paradigma: por complejo que parezca, no lo es más que la dinámica de programas relativamente simples. Y, claro, de ser así, tal como Einstein acotó la velocidad máxima en el universo por la de la luz, dado que, según Wolfram, todo evento natural es un programa, la máxima complejidad alcanzable en nuestro cosmos es la de un computador.

No solo eso; frente a tan (aparentemente) desaforada afirmación, la vida (la de cualquier organismo, en particular nosotros, los orgullosos cerebros grandes) es solo un montón de información organizada en un conjunto de programas ejecutados de manera paralela y distribuida.

Otro de los méritos de las afirmaciones de Wolfram es que contribuyó decididamente a establecer la complejidad como una noción clave, ineludible, prácticamente en todas las disciplinas. Con una mirada holística, entender el todo como una emergencia de la interacción de las partes, más que el comportamiento particular de cada una de ellas.

Estamos acostumbrados a las explicaciones reduccionistas. De arriba abajo. Para entender el funcionamiento del todo estudiamos sus partes y, según el comportamiento de las partes, volvemos al todo. Como ocurre con un auto, si está descompuesto, buscamos la pieza que falla. Lo que no ocurre, por ejemplo, con nuestros cerebros grandes; el recuerdo de mi abuelita está diseminado en

13. ¿Suenan raro? Tanto o menos raro que afirmar, desde Galileo, que la naturaleza se escribe con matemática.

una vasta red de neuronas; no basta analizar una de ellas y sus sinapsis, incluso varios cientos o millones, para determinar dónde está alojado su recuerdo, apañándome cuando sufría de alergia o con las rodillas rasmilladas el día que se cayó. No está en una sino en muchas partes de mi red neuronal. No soy un auto, no basta “cambiar una pieza”, extraer aquel pedacito de mi sistema nervioso para olvidarme de ella o de ese amor que sigo recordando, que me seguirá doliendo.

Todos esos recuerdos, buenos o malos, están diseminados en mi red neuronal.

Similar a lo que sucede en un hormiguero: por más que elimine decenas o cientos de hormigas, sigue ahí, vuelve a organizarse, persiste.

Lo mismo ocurre con varios de los autómatas celulares descubiertos por Wolfram. Partes muy simples y comportamiento global (del todo) extraordinariamente complejo.

Azaroso, impredecible, indecible.

En matemática podemos hablar de los sistemas simples (aquellos como un auto, un televisor, un avión) y los complejos (un hormiguero, la sociedad, un sistema nervioso) como lineales y no lineales, respectivamente.

Para los primeros (lineales) basta estudiar las partes que, superpuestas, determinan el comportamiento del todo.

Para los sistemas no lineales, el principio de superposición no funciona; no basta el conocimiento de las partes para explicar el todo. En esta categoría cae la mayoría de los fenómenos naturales que todavía no comprendemos, muy en particular los biológicos.

Durante siglos la biología se ha preocupado de estudiar, de entender las partes de un organismo. Es decir, aplicar el conocido y exitoso método reduccionista, paradigma que es evidente, por ejemplo, en la medicina, dividida en especialidades. Óptica que se reflejaba en los artículos de divulgación médica de la revista *Reader's Digest* que leía en mi infancia: Yo soy el riñón de Pedro, yo soy el ojo de Pedro; el corazón, el hígado, el dedo meñique, la muela de Pedro.

Aparte de familiarizarme con enfermedades específicas del órgano en cuestión¹⁴ poco avanzaba en el conocimiento del Pedro entero, que, como todo organismo, no termina de explicarse por el funcionamiento de cada una de las partes. Su ser, su quehacer, emerge en la conjunción de todas ellas.

Pedro es, como todo ser vivo, la increíble emergencia de un sistema complejo.

De allí que a fines de los ochenta aparezca el paradigma de los sistemas complejos (no lineales) y en ese contexto el interés por los temas como los que nos ocuparán en este libro, redes de funciones lógicas, autómatas celulares y vida artificial (*Artificial Life*, *ALife*). Apelativo propuesto por Christopher Langton, que aparte de bautizar la disciplina propuso, como ejemplo de vida artificial, una hormiga computacional muy simple, cuyo paseo por una grilla es extraordinariamente complejo, de hecho universal, en el sentido de simular un computador¹⁵.

No obstante, con razón, usted lectora o lector podría (debería) objetar, entre otras cosas, que, claro, se han inventado modelos formales de autómatas celulares y otros artilugios capaces de reproducirse, pero son juguetes. Los seres vivos no solo hacen eso sino que van cambiando, mutando, alterándose. Haciéndose, en apariencia, más y más complejos.

La complejidad.

Ya lo había observado el mismo von Neumann que, luego de definir las reglas de su autómata autorreproductor, se preguntó cómo ir dotando las copias de mayor complejidad que los padres. Mediante mutaciones, se dijo, como en la naturaleza.

No alcanzó a hacerlo. Murió antes, de cáncer ramificado. Pero tenía toda la razón, eso había que hacer, formalizar matemáticamente los procedimientos de la selección natural que operan hace más de 3.500.000.000 de años.

14. Que las hay. Y muchas. El glaucoma ocurre en el ojo, la enfermedad coronaria radica en el corazón. Presas que, en este caso, no son de ese Pedro del *Reader's Digest*, hecho de letras, sino del mortal Goles que soy.

15. Gajardo, Anahí; Moreira, Andrés y Eric Goles. "Complexity of Langton's ant", *Discrete Applied Mathematics*, 117 (1-3), 2002, pp. 41-50.

Es lo que hizo el psicólogo e informático John Holland a mediados de los setenta inventando los algoritmos genéticos o evolutivos, introduciendo el azar en el diseño ingenieril, informático y matemático, muy en particular en los autómatas celulares y en la denominada vida artificial¹⁶.

A comienzos del 2023, vi la serie de televisión *The Last of Us*¹⁷. Un escenario apocalíptico, los humanos transformados en simples portadores, vehículos, para la propagación de una mutación del hongo *cordyceps*. Información que no tendría nada que hacer aquí si tres años antes, en febrero del 2020, no hubiese estado de visita en el Laboratorio de Computación No Convencional de la Universidad del Norte de Inglaterra, en Bristol.

Mientras se incubaba la pandemia (nadie todavía hacía mucho caso), junto con mi colega y anfitrión Andy Adamatzky estudiábamos las posibilidades de calcular con hongos. Construir computadores, al menos circuitos lógicos, con hongos.

Y se puede. Andy lo probó mediante hermosos experimentos.

A partir de estos experimentos, determinamos un modelo teórico basado en la manera en que los hongos intercambiaban información, los autómatas celulares compartimentados (*fungus automata*). Que para algunas reglas muy simples alcanzan la máxima complejidad: capaces de construir cualquier circuito y, por ende, simular un computador¹⁸.

Y hasta ahí nomás llegamos. A fines de marzo de ese año la pandemia estaba desatada y tuve que regresar en el último vuelo British Airways, con destino a Santiago de Chile, el 22 de marzo del 2020.

Apenas llegué cerraron el aeropuerto de Santiago, luego la ciudad y el planeta. Prácticamente todos nos confinamos. Como

16. Holland, John. *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. MIT Press, 1975.

17. Que, además, tiene como protagonista a un compatriota. Situación perfecta para que un buen guion, sazonado por nuestra necesidad de que se nos reconozca en el planeta, nos dejara pegados a la pantalla.

18. Goles, Eric; Antisthenis-Tsompanas, Michail; Adamatzky, Andrew; Tegelaar, Martin; Wosten, Han y Genaro Martínez. "Computational Universality of fungus sandpile automata". *Physics Letters A*, vol. 384, issue 22, August 2020.

tantas especies de hongos que, cuando todo va mal, se encapsulan a la espera de mejores condiciones.

De todo esto trata este libro. De variados insumos, disciplinas y modelos que he conocido o inventado.

Un viaje personal al corazón de las máquinas.

Llevándome a sostener que la vida artificial es posible. Y, claro, antes de que me lo pregunten, la inteligencia artificial ciertamente es una consecuencia¹⁹.

Como diría el iluminado (y malogrado) de La Mettrie, la vida no es solo asunto de un sustrato biológico o de la química del carbono; puede ser artificial, construida a partir de programas, redes de autómatas y otros materiales teóricos y físicos que todavía no vislumbramos. Y, claro, nada de alma.

¿Y el pensamiento?

Sudor de metales, circuitos y programas.

¿Y llegaremos a eso? ¿Goles no estará difiriendo?, se preguntarán.

Bueno, no voy a hacer espóiler. Según las reglas de la ficción los culpables se conocen al final, así que colóquenle algo de suspenso al asunto y esperen hasta el epílogo.

Antes de cerrar esta breve introducción, algunas precisiones sobre el texto. Se puede leer de varias maneras; entre otras, hojeándolo, leyendo un capítulo, algún encuadre, mirando imágenes. También capítulo a capítulo, saltándose detalles técnicos (que no son muchos) y sin leer las notas (“Brevículos”, como las llamo). O bien, lérselo todo.

Ninguna lectura es mala. Es más, recomiendo las tres. O la que a ustedes mismos les acomode. Pero lean.

Los “Brevículos” al final del libro son, tal vez, mis “errores de redondeo”, lo que no quedó en el texto, lo disipado. Que recupero en esas páginas. A veces me entusiasmo dejándome llevar por alguna divagación o cálculo (qué le voy a hacer, entre otras cosas,

19. Ojo, de manera seria, no chanta como esas publicidades que hablan de “inteligencia artificial” en una lavadora de platos, en la concepción de un cereal, hasta en el váter, demonizándola o vindicándola como si fuese un “algo” o un “alguien”, como si ya tuviese conciencia. Cháchara y más cháchara, sin tener idea de qué se trata.

soy matemático). No se asusten con los cálculos, son fáciles y es bueno que se animen con algunos de ellos. Así van a entender de verdad qué son los circuitos lógicos o los autómatas celulares. ¡Jueguen con alguna regla! Es menos complicado que un sudoku.

En cuanto a la redacción. Soy algo barroco, amaso y amaso. Vuelvo una y otra vez sobre conceptos y definiciones. De hecho, esta introducción es una suerte de resumen, muy grueso, de buena parte de lo que figura en el libro. Algo del profesor que he sido hay en eso de reiterar las cosas, machacarlas (como yo mismo lo hago en mi sesera). Para entenderlas mejor, diría.

Para que las entiendan mejor.

Además, para que usted lectora o lector no tenga a cada rato que volver atrás buscando alguna cosa que ya leyó y olvidó.

Y si se animan, vayan al canal de YouTube, @EricGolesOficial, donde encontrarán explicaciones sobre varios capítulos del libro.

Pero basta de cháchara. Vengan conmigo. Ya es hora de que conozcan a mi casera en Cambridge, Massachussets, *miss* Ulam.