

# VIDA ARTIFICIAL, EL NUEVO PARADIGMA

*José Jesús Martínez Páez\**  
*Departamento de Ingeniería de Sistemas*  
*Facultad de Ingeniería*  
*Universidad Nacional de Colombia*

## Resumen

Se presenta una síntesis cronológica de los hechos más importantes en el desarrollo teórico y de simulación computacional, que han llevado a la formación de un nuevo paradigma que se conoce como vida artificial; se analizan sus características y sus principales líneas de investigación. Finalmente, se hace una descripción de su trabajo en la Universidad Nacional.

## INTRODUCCIÓN

Hace 2000 años, aproximadamente, Aristóteles hizo la observación de que “posesión de vida” implica que “una cosa puede nutrirse y decaer”. También consideró que la capacidad de autoreproducción es una condición necesaria para la vida. De esa época a hoy, las opiniones han variado.

La física newtoniana, la revolución industrial y las leyes de la termodinámica empezaron a extender el dominio de la ciencia, y el reino biológico se hizo menos místico. La visión newtoniana del mundo

permitió predecir la posición de los cuerpos celestiales en determinado momento; ¿no sería el trabajo de la vida igualmente predecible? Emergió una nueva escuela de pensamiento, que consideraba la vida un proceso mecánico. Así, la vida era literalmente un autómatas. ¿Se podría entonces duplicar? Mecanicistas como Descartes y Leibnitz pensaron que había posibilidad de hacerlo. Algunos se atrevieron, y construyeron una clase especial de autómatas, dispositivos mecánicos que mostraban un comportamiento realista.

El más famoso de éstos fue un pato artificial hecho de cobre dorado, que bebía, comía, graznaba, aleteaba sobre el agua y digería su comida como un pato vivo, elaborado por Jacques de Vaucanson, quien en 1738 lo presentó en París, y luego lo paseó por Europa. El pato confundió a sus audiencias; su complejidad era prodigiosa, con aproximadamente 400 piezas movibles en un ala. Pero las diferencias obvias entre el modelo mecánico y su inspiración natural, sólo acentuaba la dificultad de la creación de la vida. Se seguía considerando el don sobrenatural, el vitalismo, la llamada fuerza vital, *élan vital*, como el proveedor de vida.

---

\* [josej@ingenieria.ingsala.unal.edu.co](mailto:josej@ingenieria.ingsala.unal.edu.co)

Ello nos recuerda una tendencia atávica para negarle prerrogativas de vida a algo creado sintéticamente. Este rechazo se transforma en un escepticismo profundo, cuando se sugiere que la vida pueda elaborarse en un laboratorio o en un computador, teniendo como sustrato principal, no las moléculas orgánicas, sino algo diferente, la información.

A medida que los científicos descartan estas creencias, la idea de vida se acomoda a los nuevos descubrimientos. Cuando se identificó la célula, cambió el pensamiento de cómo se organiza la materia en las estructuras vivientes. Una vez se comprendió la contribución de Darwin a la biología, la evolución se convirtió en el problema central, para la definición de vida. El descubrimiento del ADN como componente esencial de toda materia considerada viva, agrega otro aspecto: las cosas vivas contienen esquemas, estructuras de datos, para su operación y reproducción. "La posesión de un programa genético provee una diferencia absoluta entre los organismos y la materia inanimada", escribe Ernst Mayr. "Nada comparable existe en el mundo inanimado, excepto los computadores hechos por el hombre"<sup>1</sup>.

La última consideración viene del reconocimiento de la teoría de los sistemas complejos, como un componente clave en biología. Un sistema complejo es aquel cuyas partes interactúan en forma lo suficientemente complicada, que su comportamiento no puede pronosticarse por ecuaciones lineales, hay muchas variables en el sistema y su comportamiento global sólo puede comprenderse como una consecuencia emergente de la suma holística de la gran cantidad de comportamientos que se presentan en él.

El reduccionismo no se aplica a los sistemas complejos, y es claro que este enfoque no se puede aplicar cuando se estudia la vida; en los sistemas vivientes, el todo es más que la suma de sus partes. Como puede verse, la vida, no es el resultado de un don sobrenatural, sino de ciertos beneficios de la complejidad, que permiten la emergencia de determinados comportamientos y características. Estos mecanismos debieron haber sido introducidos por la evolución.

Las cosas que se consideran vivas son posiblemente sólo un subconjunto de una lista muy larga. Por casualidad, hemos heredado este espectro

limitado de forma de vida y no otro. Nuestro reto es aclarar qué características de la vida son particulares a este subconjunto, y cuáles son universales a toda clase de vida, o si es el caso, tal vez, construir -contemplar, y luego crear, vida como pudiera ser (*life-as-it-could-be*<sup>2</sup>, para usar la expresión utilizada por Langton).

En septiembre de 1987, más de un centenar de científicos se reunieron en Los Álamos, Nuevo México, para establecer una nueva ciencia: la vida artificial, VA. La comprensión profunda de los mecanismos biológicos, paralela al crecimiento exponencial del poder de los computadores digitales le ha permitido al género humano llegar al umbral de la duplicación de la obra maestra de la naturaleza: los sistemas vivientes.

La vida artificial es una nueva ciencia cuyo objeto de estudio es la creación y el estudio de organismos que parecen vivos en sistemas contruidos por el ser humano. La materia prima de esta vida es materia inorgánica y su esencia es la información: los computadores son la fuente de la cual emergen estos organismos. Así como los científicos en medicina manejan la composición de vida *in vitro*, los científicos de la biología y computación de vida artificial esperan crear vida en el silicio. Esperando que los mismos órdenes de comportamiento de la naturaleza surjan espontáneamente de las simulaciones.

Es posible que los seres humanos nos veamos de manera diferente. No permaneceremos en la cima de la jerarquía evolutiva, pero sí quedaremos como seres complejos representativos de un subconjunto de alternativas de vida. Nuestra unicidad consistirá en la habilidad para crear nuestros propios sucesores.

La VA es muy diferente de la ingeniería genética, la cual usa vida completamente desarrollada como su punto de partida. Tampoco es vida virtual en el sentido de los desarrollos de realidad virtual, donde se busca engañar nuestros sentidos para hacernos creer que percibimos una realidad.

---

1. MAYR, Ernst. *The Growth of Biological Thought*, 1982, p. 55.

2. LANGTON, Christopher G., "Artificial Life", en: *A-Life I*, p. 2

## I. MÁQUINAS DE TURING

Hasta 1936, todos los mecanismos de autómatas conocidos eran de propósito particular, es decir, que todo mecanismo o autómata construido o ideado hasta esa fecha se hizo para realizar una tarea determinada. Sin embargo, la idea de autómata tal como se utiliza hoy día, y que da lugar a la teoría de autómatas, aparece con la formulación de la *máquina de Turing*<sup>3</sup>. Del conocido como segundo problema de Hilbert, que dice que los axiomas de la aritmética común son consistentes entre sí, se pasó a uno más general: el problema de la decisión; descubrir un método general para determinar si una fórmula de lógica formal podía o no satisfacerse o declararse verdadera. Estudiando este problema, en 1936, Alan Turing se planteó cómo definir con precisión un método que solucionara este problema.

Para ello, primero definió intuitivamente algoritmo como un procedimiento que puede ejecutarse mecánicamente. Luego definió el cómputo, como aquel proceso en el que un algoritmo se descompone en una secuencia de pasos atómicos simples, y concluyó que el sistema que resulta es una construcción lógica, hoy día conocida como máquina de Turing.

Turing también supuso que nuestro universo es granular; esto es, que se mueve a pasos discretos en el tiempo, aunque pueden ser tan pequeños como uno se imagine. En cada uno de estos instantes, una MEF (máquina de estado finito) está en algún estado que se puede describir. La descripción puede ser muy complicada o muy simple; la única limitación es que el conjunto de posibles estados sea finito (el número puede ser muy grande pero no infinito). Entre el instante actual y el siguiente, la MEF, por medio de algún sensor, puede tomar la información del ambiente que la rodea. Entonces, con base en una "tabla de reglas" que controla su comportamiento, la MEF puede tener en cuenta ambos datos, su estado interno y la entrada externa, para determinar su comportamiento, es decir, el estado interno que la máquina debe tomar en el próximo paso.

Formalmente se puede definir una máquina de Turing como la tupla:

$$A = (X, Q, \{I, D, P\}, f)$$

$X$ : conjunto finito de entradas  $X_i$ .

$Q$ : conjunto finito de estados  $Q_k$ .

$$f: Q_x X \rightarrow Q_x X_x \{I, D, P\}$$

$I$ : movimiento del autómata una posición a la izquierda sobre la cinta.

$D$ : movimiento del autómata una posición a la derecha sobre la cinta.

$P$ : parada del autómata en la posición actual de la cinta.

La máquina de Turing puede visualizarse como una grabadora sofisticada, con una cinta arbitrariamente extensible. La cinta está marcada por cuadros y cada cuadro contiene un *bit* de información. La cabeza lectora lee los *bits* y, si es necesario, borra lo que hay en el cuadro y/o graba encima. Hay también un mecanismo de control, el cual dice qué hacer, al leer cada *bit* de información.

En el cuadro 1 se muestra la máquina de Turing para la suma de dos números, expresados en formato  $(i + 1)$  unos; por ejemplo, el 3 se representa como 1111. La figura 1 muestra el desarrollo de la suma de los números 2 y 1.

Estados	Entradas	
	" "	1
$q_1$	$q_1/d$	$q_2/d$
$q_2$	$q_3/1$	$q_2/d$
$q_3$	$q_4/iz$	$q_3/d$
$q_4$	-	$q_5/" "$
$q_5$	$q_5/iz$	$q_6/" "$
$q_6$	$q_6/p$	$q_6/p$

**Cuadro 1. Máquina de Turing para la suma de dos números / d indica que la cabeza lectora se desplaza una posición a la derecha; / iz, desplazamiento una posición a la izquierda; / p, parada; / " ", escribe un blanco en la cinta.**

Los símbolos del conjunto  $X$  son {" ", 1}. El autómata comienza en  $q_1$ , leyendo el " " a la izquierda del primer número. Esto lo lleva al estado  $q_2$ , y a desplazarse una posición a la izquierda. Estando en  $q_2$  y lee un 1, el autómata sigue en  $q_2$  y se desplaza una posición a la derecha. Estando en  $q_2$  y lee un " ", graba en esa posición un 1 y pasa a  $q_3$ . Estando en  $q_3$  y lee un 1, el autómata sigue en  $q_3$  y se desplaza una posición a la derecha. Estando en  $q_3$

3. DEWDNEY, A.K., *The Turing Omnibus*, 1989.

y lee un “”, se desplaza una posición a la izquierda y pasa a  $q_4$ . En el estado  $q_4$  no puede encontrar un “”, luego necesariamente aparece un 1, que hace que la máquina pase al estado  $q_5$  y graba en esa posición un “”. Estando en  $q_5$  y lee un “”, el autómata sigue en  $q_5$  y se desplaza una posición a la izquierda. Estando en  $q_5$  y lee un 1, graba en esa posición un “”, pasa a  $q_6$ . Al llegar al estado  $q_6$ , independientemente de la entrada, la máquina se para.

que conforman el programa, encontramos diferentes salidas para los mismos datos iniciales, y entonces diremos que los programas son diferentes o que las máquinas son diferentes. Pero qué pasa si el programa lo almacenamos en otra máquina de Turing, que tendría un conjunto mayor de símbolos de entrada; incluso podríamos modificar las reglas, y tendríamos un programa diferente, con otras salidas.

## II. MÁQUINAS PARTICULARES Y MÁQUINAS UNIVERSALES

Consideremos que las reglas del autómata son un programa, mientras que las cadenas de símbolos en la cinta de memoria son los datos iniciales sobre los que opera dicho programa. Al cambiar las reglas

Entonces llegamos a que las reglas que rigen el comportamiento de una máquina de Turing pueden simularse en otra máquina de Turing, con diferentes reglas y símbolos de entrada. Siempre puede encontrarse una máquina de Turing que, con determinadas reglas, simule otra, con tal que dispongamos de la cadena adecuada de símbolos. Esto es: siempre existe una máquina de Turing con

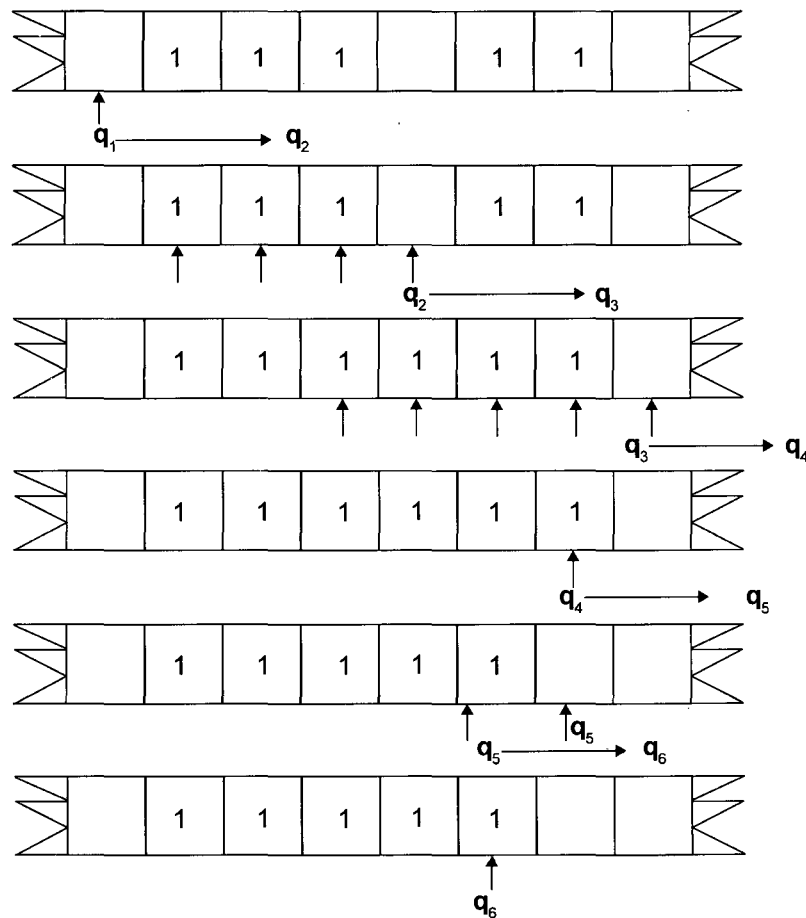


Figura 1. Máquina de Turing para sumar los números 3 y 1, en formato (i+1) unos.

un programa  $P_1$ , tal que, para cualquier otra máquina de Turing con otro programa  $P_2$  y cualquier cadena de caracteres  $C_2$ , podemos encontrar una cadena de caracteres  $C_1$  que hace que  $P_1(C_1) = P_2(C_2)$ . De modo que si proponemos un esquema básico de reglas para un autómata, podemos interpretar que la cadena de símbolos que hemos llamado datos iniciales, no sólo contiene los datos sobre los que las reglas deben operar, sino que también contiene las reglas.

Ahora denominamos Máquina de Turing Particular MTP, a aquella que con un esquema básico de interacciones, posee también una cadena de símbolos como entrada y/o programa. Y llamaremos Máquina de Turing Universal MTU, a una sin tal lista de símbolos y, por tanto, dispuesta a recibir cualquier programa que le podamos proporcionar.

Fácilmente se comprende su potencialidad y el siguiente principio: toda MTU puede programarse para que opere (simule) una MTP. De manera que las propiedades de una MTU no pueden deducirse de las propiedades de una determinada MTP, sino de las propiedades del conjunto potencial de todas las MTP. Este conjunto es el que forman todas las posibles máquinas con cinta de tamaño 1,2,3, etcétera.

Lo que hace que la MTU sea extremadamente poderosa es la capacidad de almacenamiento de su cinta. Con la información adecuada en esta cinta, la MTU puede emular las acciones de diferentes máquinas. Turing probó que la MTU puede también ser un computador universal. Esto significa que dándole el tiempo suficiente puede emular cualquier máquina cuyo comportamiento pueda describirse completamente. Turing y Alonso Church presentaron la hipótesis de Church-Turing, que dice que una MTU puede no sólo duplicar las funciones de las máquinas matemáticas, sino también las funciones de la naturaleza. Esto tiene sentido cuando se mira el mundo a través del sentido de Turing. Desde este punto de vista, casi todo puede analizarse como una MEF. Lo que determina el comportamiento de cualquier máquina es lo que tiene adentro (su estado) y lo que toma de su ambiente (información de la cinta).

La hipótesis de Church-Turing puede, entonces, aplicarse a la mente humana, si se admite que el número de estados de la mente es finito. En

cualquier instante, una mente se encuentra en un posible estado. Antes del próximo instante, pueden llegar datos de entradas sensoriales. La información ambiental, en combinación con el estado inicial, determinan el próximo estado de la mente. Turing aseveraba que la mente, como una MEF, seguía un protocolo lógico, esencialmente, una tabla de reglas determinada por fuerzas físicas y biológicas, para llegar a ese estado próximo.

### III. AUTÓMATA AUTORREPRODUCTOR DE VON NEUMANN

Otros científicos no están de acuerdo, argumentando que la mente nunca se podría considerar una MEF; su estado no puede describirse tan sencillamente, ni describir una tabla de reglas, para emular el pensamiento humano. Sin embargo, esto es el tema de la inteligencia artificial IA. Von Neumann se interesó en lo que se conocería como vida artificial, concentrándose en la autorreproducción.

Von Neumann se maravilló con las similitudes entre los computadores, y el trabajo de la naturaleza. Cuando habló de la construcción del primer computador electrónico, investigó sobre dispositivos basados en operaciones lógicas. Admitió que los organismos biológicos eran complejos, más complicados que cualquier estructura artificial que el ser humano hubiera examinado y que la vida estaba basada en la lógica; consideraba la vida misma como una concatenación reconstruible de eventos e interacciones.

A finales de la década del 40, dio una famosa conferencia en Pasadena, California, que tituló: "Teoría lógica y general de los autómatas". Por *autómata*, Von Neumann se refiere a máquinas auto-operativas; una máquina cuyo comportamiento se podía definir en términos matemáticos. Von Neumann no vio ninguna razón por la cual los organismos, desde las bacterias hasta los seres humanos, no pudieran verse como máquinas, y viceversa. Si se entienden los autómatas, entonces, no solamente se entienden mejor las máquinas: se entiende la vida. Lo más importante era el concepto de autorreproducción. ¿Puede una máquina artificial producir una copia de sí misma? ¿Estaría en capacidad de crear más copias?.

En 1943 se publicó un artículo de W. McCulloch y W. Pitts, titulado "A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity", donde presentan un modelo para emular las funciones del sistema nervioso: una red neuronal artificial. Von Neumann asoció este desarrollo con la aseveración de Turing, que una MTU puede emular cualquier sistema de computación. Aquí estaba un sistema que sugería que los organismos vivos, en sí mismos, tenían un sistema de computación innato, cuya salida determinaba su comportamiento.

Así, un computador universal puede semejar las funciones mentales de cualquier criatura viviente. Se necesita una cinta muy larga para duplicar las funciones de un ser humano, o de una forma más simple de vida, como un cucarrón, un árbol de roble o una bacteria. Pero se puede hacer. No se necesita construir la máquina real para entender el mensaje: la vida es una clase de autómatas. Von Neumann se dio cuenta de que la biología ofrecía el sistema de procesamiento de información más poderoso disponible y su emulación sería la llave hacia sistemas artificiales poderosos. Diseñó una criatura artificial que asumiría la función más compleja de la biología: la autorreproducción.

Inicialmente conformó una lista completa de partes empleadas y el plano de construcción del autómata, y las copió en una cinta D. El hábitat del autómata autorreproductor era un enorme depósito, con la misma clase de elementos con los cuales estaba hecho. Se constituía de tres subsistemas principales: el subsistema A, una especie de fábrica, que podía tomar partes del depósito y ensamblarlas según las instrucciones (D); el subsistema B funcionaba como un duplicador: su trabajo era leer instrucciones D, y copiarlas; el subsistema C, el mecanismo de control, instruía a A para construir el autómata descrito por D, y ordenaba que B sacara una copia de D, y la insertara en el autómata que acababa de construir A.

La autorreproducción se inició, y el autómata tomó vida, por la lectura de las instrucciones de la cinta. El componente C leyó las instrucciones, las suministró al duplicador, el cual las copió y dio las instrucciones duplicadas a la fábrica, mientras almacenaba las originales.

La fábrica, al leer la cinta de instrucciones, se desplazó por el vasto depósito. Su misión era buscar la parte con la cual empezar la construcción de su

descendencia. Cuando detectó una igual, la tomó con su mano, llevándola hasta encontrar la próxima parte; entonces soldó la segunda parte a la primera, y así sucesivamente hasta terminar su construcción. En ese momento, el componente D se insertó dentro de la nueva descendencia, legándoles a las nuevas criaturas una copia de las instrucciones reproductivas, la nueva criatura sería *fértil*, capaz de repetir el proceso.

Esta concatenación de eventos parecería muy familiar a un biólogo. Por esta razón el autómata de Von Neumann, aunque concebido varios años antes del descubrimiento de la molécula del ADN, esencialmente reflejaba el proceso reproductivo de la vida natural.

En otras palabras, no sólo estos autómatas se reproducían como nosotros, sino que, con el pasar del tiempo, tenían la capacidad de desarrollarse hacia algo más complejo que su estado original. Pues es posible que en el proceso de copiado de D, a través de muchas generaciones y muchos autómatas, se produjeran defectos en D, que impedirían la reproducción de los autómatas que los incluyeran o beneficiaran a otros haciéndolos más competitivos.

Su estudio de sistemas naturales lo llevó a considerar instintivamente que la vida estaba fundamentada no sólo en información sino también en complejidad. La vida depende en cierta medida de la complejidad. Si se alcanza una cantidad crítica de complejidad, los objetos pueden autorreproducirse, no sólo creando sus iguales sino también creando objetos más complicados que ellos mismos. El ejemplo máximo es el camino de la evolución, la cual progresó de organismos unicelulares relativamente simples hacia otros mucho más complicados como los mamíferos.

Además, entrelazado con la complejidad había algo más asociado con la emergencia de la vida: el concepto de la autoorganización.

Investigadores en el nuevo campo de vida artificial comprendieron que la observación de la autoorganización se podría ver como una fuerza de la naturaleza, una fuerza que refuerza el orden para que los sistemas incrementen su complejidad. Lo que encontraron fue que, hasta contra los límites aparentemente impensables, la vida quiere surgir.

Según la segunda ley de la termodinámica, con el tiempo, la energía se disipa y se vuelve inutilizable. El orden se deteriora. Pero la vida parece comportarse en sentido contrario, ya que propaga orden a través del tiempo. Desde sus inicios, la historia de la vida, como la conocemos, ha sido una trayectoria de incremento ordenado de complejidad. Las características evolutivas de la vida aparentemente desafían la segunda ley, por lo menos localmente. Así, si creamos cosas vivas, ellas pueden aprovechar este poder, entonces podremos extender nuestros propios poderes exponencialmente.

#### IV. AUTÓMATAS CELULARES

Von Neumann no estaba satisfecho con su autómata autorreproductor porque su realización de ingeniería no era factible. La solución provino de una sugerencia del matemático Stanislaw Ulam, quien sugirió una criatura nadando en el depósito, recogiendo y manipulando estos componentes. En verdad, se inspiró en el fenómeno del crecimiento de un cristal en un ambiente diferente: una rejilla infinita, como un tablero de damas. Cada cuadro de la rejilla se podría ver como una "celda". Cada celda en la malla sería esencialmente una MEF separada, actuando sobre un conjunto de reglas comunes. La configuración de la rejilla cambiaría a intervalos discretos de tiempo. Cada celda guardaría información, su estado, y en cada intervalo de tiempo miraría las celdas a su alrededor y consultaría la tabla de reglas para determinar su estado en el próximo paso. La colección de celdas de la rejilla se podría ver como un organismo. Entonces, Von Neumann rediseñó su autómata autorreproductor, en lo que se conocería como el primer autómata celular<sup>4</sup>, AC.

Cada órgano del autómata autorreproductor se construyó como un patrón de celdas, en dos dimensiones, en estados diferentes, donde el estado de cada celda  $Q(t+1)$ , está determinado por el estado de las celdas vecinas y de la propia celda en el momento  $t$ . La vecindad la definió como las cuatro celdas en las direcciones cardinales, (véase figura 2).

4. NEUMANN, Von. *Theory of Self-Reproducing Automata*, Arthur Burks, 1966.

5. KEMENY, John G. "Man viewed as a Machine". *Scientific American*, 1955. pp58-68.

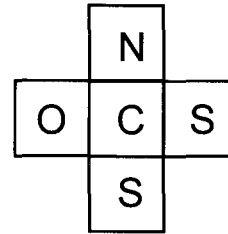


Figura 2. Vecindad de Von Neumann, para su autómata celular de 2D. Cada celda podría tomar uno de 29 estados. El estado de la celda central C, en el momento  $t + 1$  depende del estado de las celdas que la rodean en el momento  $t$ , según la regla de transición  $f$ .

El autómata autorreproductor, una vez encerrado en el vasto tablero del AC, seguiría las reglas. Más claramente: cada celda individual, como una MEF, empezaría a seguir la regla que se le aplicara. El efecto de estos comportamientos locales provocaría el surgimiento de un comportamiento global: la estructura autorreproductora interactuando con las celdas vecinas y cambiando algunos de sus estados, se transformaría a sí misma en los materiales, en términos de los estados de la celda, que formaban el organismo original. Ya que había 29 estados posibles para cada celda, el proceso era complicado.

John Kemeny<sup>5</sup> (inventor del lenguaje BASIC) escribió en 1955 un artículo sobre el autómata celular autorreproductor, en el que lo describía como un intento "para mostrar que no existe evidencia concluyente sobre una brecha esencial entre el hombre y las máquinas". "¿Podrían tales máquinas seguir un proceso evolutivo?", se preguntaba Kemeny; concluyó que ciertamente se podría. Especuló que uno podría programar las reglas de transición y que podría ocurrir un número pequeño de cambios durante el proceso de copiado, algunos de los *bits* podrían ser cambiados de '1' a '0', o viceversa; sería como una mutación. Como es característica de las mutaciones, podría pasar a la descendencia. Si esta mutación incrementará la adaptación de la máquina, se esparciría sobre el grupo de genes de la población y eventualmente se tendrían los frutos de la evolución.

Finalmente, Von Neumann nunca terminó la construcción de su autómata autorreproductor. En 1968, F. Codd lo rediseñó simplificándolo a solo 8 la

estados por celda, pero insistiendo en la universalidad de la construcción, es decir, que supuestamente podría construir cualquier otro autómata. Debido a este requerimiento, la máquina de Codd todavía era muy compleja y como consecuencia tampoco se construyó.

En 1984, Chris Langton revivió las ideas y colocó el campo en un nuevo nivel. Se dio cuenta que para estudiar aspectos de los sistemas vivientes no se necesita suministrar los elementos suficientes para la autorreplicación, sino sólo los necesarios. Una consideración importante en esta discusión es el de la universalidad computacional, en lugar de la universalidad de la construcción de los AC.

Cuando Langton trataba de construir partes del organismo de Codd en su computador, se dio cuenta de que era demasiado complejo para sus propósitos. La complejidad surgió del requerimiento de Codd, y también de un requerimiento de Von Neumann de que la estructura de autorreproducción también debe ser un computador universal. En otras palabras, teóricamente tenía que poder operar programas para emular la operación de cada uno de los otros computadores o máquinas posibles. Langton, sin embargo, no estaba interesado en construir un computador para propósitos generales, sino en la creación de un computador dotado con propiedades de vida. Langton estaba buscando la configuración más simple que pudiera verdaderamente reproducirse mediante los mismos medios como las cosas que ahora conocemos como vivas.

Von Neumann y Codd satisficieron este requerimiento utilizando la información de la representación detallada de la automatización en dos formas. Primero, trataron la información como instrucciones que deben interpretarse, como instrucciones de un programa de computador. Segundo, la trataron como datos no interpretados, como los números en una base de datos que se copian y almacenan dentro de computador. El equivalente biológico de esta doble metodología, por supuesto se encuentra dentro de una célula biológica, que en su operación diaria se interpretan ciertos datos genéticos de tal modo que las proteínas se forman por la catalización de ciertas reacciones; en otras ocasiones, principalmente en

el proceso reproductivo, los datos genéticos no se interpretan sino simplemente se copian.

Con base en las construcciones de Codd, las ondas de Langton tenían tres capas, como un alambre aplanado. Las capas externas eran una franja de celdas en dos estados, celdas de envoltura que actuaban como aislamiento de las celdas del núcleo, la parte del cobre del alambre. Estas conducían los datos necesarios para la reproducción. Con cada generación, las celdas en la capa interna seguían reglas que afectaban el estado de sus vecinas y, en efecto, propagaban la señal dentro de la corriente genética del núcleo.

Langton quería ordenar los diferentes estados de modo que, siguiendo una tabla de reglas determinadas que indicaban el comportamiento de la célula en la siguiente generación, la cola podía convertirse en un apéndice constructor. Lo impulsaría hacia fuera hasta cuando alcanzara la longitud deseada, y voltearía la esquina y repetiría los procesos hasta que completara el cuadrado. Una vez que la forma externa de la onda recién formada se asemejaba a la onda madre, el flujo de la capa del núcleo continuaría. El fluido serían los estados de las células que mantienen los datos no interpretados. Cuando la información se pasara completamente a la onda hija, las dos ondas se separarían.

Cuando el proceso comenzaba de nuevo, los datos no leídos, la receta virtual para construir una descendencia, finalmente se interpretarían. Nacería una nueva generación.

¿Qué había creado realmente Langton? Sus organismos no se parecían a la vida que conocemos, ondas intrincadas cuyo contenido representa estados informacionales. El biólogo más connotado hubiera dudado en esa coyuntura histórica, diría que podía existir un organismo constituido no de materia sino de información, residente de ningún punto del mundo conocido sino ciudadano de un nuevo universo creado por la mente. Langton se sintió confiado en que su comportamiento reproductivo era decididamente igual al de las criaturas reales. En la reproducción de la onda había un genotipo, una serie de células núcleo que contienen el código genético y se copian en la siguiente generación, y había un fenotipo, una serie codificada de instrucciones que reproduce un nuevo organismo.



```

  2 2 2 2 2 2 2 2
2 1 7 0 1 4 0 1 4 2
2 0 2 2 2 2 2 2 0 2
2 7 2           2 1 2
2 1 2           2 1 2
2 0 2           2 1 2
2 7 2           2 1 2
2 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2
2 0 7 1 0 7 1 0 7 1 1 1 1 1 2
  2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2

```

t = 0

```

  2 2 2 2 2 2 2 2
2 4 0 1 1 1 1 1 7 2
2 1 2 2 2 2 2 2 0 2
2 0 2           2 1 2
2 4 2           2 7 2
2 1 2           2 0 2
2 0 2           2 1 2
2 7 2           2 7 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2
2 1 0 7 1 0 7 1 0 7 1 0 7 1 0 7 1 1 1 1 2
  2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2

```

t = 35

```

  2 2 2 2 2 2 2 2
2 0 1 7 0 1 7 0 1 2
2 7 2 2 2 2 2 7 2
2 1 2           2 0 2
2 0 2           2 1 2
2 7 2           2 4 2
2 1 2           2 0 2
2 0 2           2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 7 2
2 7 1 1 1 1 1 0 4 1 0 4 1 0 7 1 0 7 1 0 2
  2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2

```

t = 102

```

  2
  2 1 2
  2 7 2
  2 0 2
  2 1 2
  2 2 2 2 2 2 2 7 2
2 1 1 1 7 0 1 7 0 2
2 1 2 2 2 2 2 2 1 2
2 1
2 0
2 4
2 1
2 0 2 2 2 2 2 0 2
2 4 1 0 7 1 0 7 1 2
  2 2 2 2 2 2 2 2

```

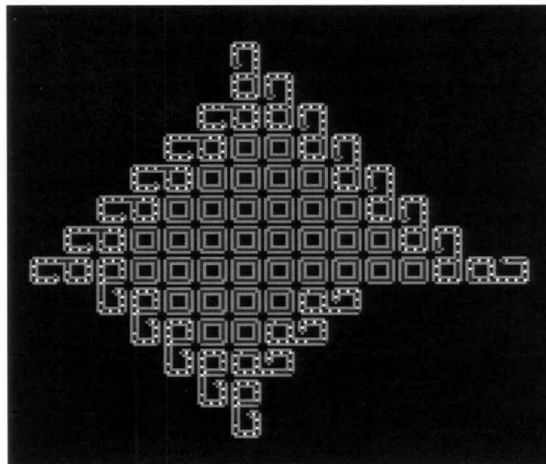
t = 135

Figura 3. Las ondas de autorreproducción de Chris Langton comienzan con un constructor en forma de Q. Ejecutando las reglas de su autómata celular (la física de su universo), la cola de la Q se extiende y eventualmente forma una onda hija. Los números en la onda representan cada uno, unos de los 8 estados posibles ( el espacio en blanco, estado de quietud es el estado 8). Nótese que el estado 2 es el estado de la envoltura que actúa como un aislador para la variedad de estados que se mueven entre las envolturas.

Esto permitía la posibilidad de la evolución, donde una mutación en el genotipo produciría un fenotipo con adaptación mejorada, cuya capacidad para difundir sus genes se beneficiaría de la ventaja. El proceso sería literalmente el mismo que en los organismos reales, y la evolución no sería simulada sino auténtica.

Parecía que una vez que estaba en movimiento el ciclo de vida de la onda, las ondas nacientes y sus progenitoras formaban, lo que podía llamarse una colonia, poblando su territorio en una forma similar a cierta vida marina como un coral. Cuando

la primera onda dio a luz, tanto la madre como la hija comenzaron la reproducción: la madre formando una prole hacia el norte y la hija comenzando una tercera generación hacia el oriente. Pero en la medida en que se crearon nuevas ondas, alguna de las más antiguas quedaron desesperadamente rodeadas por descendientes y no pudieron extender sus colas hacia fuera para reproducirse de nuevo. Las reglas de Langton permitieron, en estos casos, que se borrarán las señales que fluían a lo largo de las celdas del núcleo, dejando una onda vacía, muertas. En la medida en que continuaba el



*Figura 4. Comportamiento espontáneo de las ondas de Langton. Cuando no se pueden seguir reproduciendo, las ondas se "mueren" dejando el cascarón como en las comunidades de corales.*

proceso reproductor, más y más ondas muertas permanecían en el centro, mientras que una comunidad vital daba nacimiento a nuevas generaciones en niveles externos, muy parecido a un arrecife de coral.

Era el comportamiento de la biología que surgía espontáneo de las reglas de la simulación de autómatas celulares. Para Langton, el experimento era una venganza: las fuerzas de la biología pueden reproducirse en las máquinas. El fenómeno de la cultura se aplica por fuera de la experiencia humana. Las estructuras basadas en las reglas pueden

mantener las claves para reproducir los seres y todo el universo. Las piezas del rompecabezas estaban en su sitio.

## V. PERSPECTIVAS DE LA VIDA ARTIFICIAL

### A. Investigación en herramientas

Son muchos las herramientas o técnicas que deben combinarse para obtener productos de vida artificial. Estas herramientas también están en investigación. Entre ellas se encuentran:

- Redes neuronales artificiales.
- Algoritmos evolutivos.
- Autómatas celulares.
- Aprendizaje de máquinas.
- Teoría de agentes.
- Simulación.
- Etología artificial
- Memética.
- Química artificial.
- Teoría de la autoorganización.
- Computación molecular.

Además de una revisión de la termodinámica y de la teoría de la información, a la luz de los nuevos desarrollos. Actualmente se usan estas herramientas para solución de problemas de ingeniería, especialmente en optimización.

### ***B. Investigación en Vida Artificial***

Los modelos de vida artificial que se han construido para el estudio de problemas en biología, se clasifican por el medio en que se trabajan: *hardware*, *software* y "*wetware*" (húmedo); y por el nivel de organización: molecular, celular, de organismo o de población.

#### **1. Nivel molecular: sistemas *wetware***

Los sistemas de vida artificial *wetware* son los más similares a la vida natural y, en efecto, actualmente se derivan de ella. La mayoría de los experimentos se relacionan con procesos artificiales de evolución, alrededor de la producción de moléculas de ácido ribonucleico, ARN, con propiedades catalíticas específicas.

#### **2. Nivel celular: sistema *software***

Estas investigaciones están dirigidas al entendimiento de cómo un ensamble multicelular diferenciado puede replicarse a sí mismo, y cómo se desarrolla tal replicación. Como vimos, Von Neumann fue el primero en caracterizar condiciones de autorreplicación en sistemas de AC. Se han hecho estudios de cómo las células individuales pueden reproducirse para formar el próximo nivel de organización. El nivel celular de vida está en el área donde podría parecer que los estudios de la vida artificial están sólo comenzando.

#### **3. Nivel de organismo: sistemas *hardware***

Para modelar comportamientos de cosas vivientes en el nivel de organismo, por ejemplo, de insectos, deben modelarse el sistema nervioso y sensorial del organismo, su cuerpo, y su ambiente. Aunque pensamos que el sistema nervioso es lo más complejo, tendemos a ignorar que los cuerpos de los animales son altamente complejos: su geometría, su mecánica, su dinámica, sus propiedades térmicas, las restricciones de energía, su crecimiento, su comportamiento dinámico, etc., son todos altamente complejos. En principio todos, estos componentes pueden simularse por *software*, aunque, en la práctica, la cantidad de computación requerida sobrepasa la capacidad tecnológica actual. Sin embargo, ahora es posible modelar en el medio físico, y representar los animales y sus interacciones usando pequeños robots autónomos móviles. Con esta tecnología, podemos modelar organismos que logran la interacción de varias modalidades perceptuales, como navegar en el espacio, controlar sus sensores y músculos, como lo hacen todos los organismos en tiempo real.

#### **4. Nivel de población: modelos de ecuaciones *versus* modelos de vida artificial**

Los modelos de comportamiento de poblaciones, tradicionalmente se han expresado generalmente como sistemas de ecuaciones diferenciales. Infortunadamente, estos modelos están sujetos a muchas limitaciones. Uno de los éxitos de la vida artificial ha sido el desarrollo de una alternativa que modela la población como un conjunto de programas de computador coejecutándose, uno por cada célula o uno por cada organismo. Estos modelos ofrecen la ventaja de codificar el comportamiento de un organismo como un programa. Además, el código hace que los modelos sean más fáciles de usar y modificar.

### **VI. NOTAS FINALES**

Son muchas las posibilidades que nos presenta este nuevo paradigma, posibilidades en investigación y en aplicación. Aunque requieren una infraestructura muy grande, también hay niveles donde podemos trabajar con solvencia.

Desde nuestro punto de vista de ingeniería, debemos investigar para el diseño de sistemas que tengan algunos de los mecanismos de los sistemas naturales: autorreparación, autoadaptación, reproducción, flexibilidad, eficiencia, tolerancia a fallas, etcétera.

En la universidad hay varias personas trabajando en esta área, especialmente el Grupo de sistemas complejos y bioinformática, conformado por profesores de Biología, Matemáticas e Ingeniería. Entre las actividades más importantes desarrolladas por este grupo están: Seminario de Bioinformática, que lleva más de 5 años; Congreso colombiano de Neurocomputación, que se ha efectuado en dos oportunidades; línea de profundización en sistemas complejos y bioinformática, que ofrece tres cursos a la carrera de ingeniería de sistemas; alrededor de 20 proyectos de grado en el área se han desarrollado.

#### BIBLIOGRAFÍA

1. ADAMI, C. *Introduction to Artificial Life*. Springer-Verlag, Telos, 1998.
2. DEWDNEY, A. K., *The Turing Omnibus*, 1989.
3. FRANCO, O., ESCALLÓN, S., *Estudio básico de vida artificial*. Proyecto de grado, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 1995.
4. KEMENY, John G. "Man viewed as a Machine". *Scientific American*, 1955. pp58-68.
5. LANGTON, Christopher G., "Artificial Life", in: *A-Life I*, 2.
6. MAYR, Ernst. *The Growth of Biological Thought*, 1982, pp55.
7. NEUMANN, Von. *Theory of Self-Reproducing Automata*, Arthur Burks, 1966.
8. PAGELS, H. *Los sueños de la razón*, Editorial Gedisa, Barcelona, 1991.
9. TAYLOR, C., JEFFERSON, D., "Artificial Life as a Tool for Biological Inquiry", *Artificial Life an Overview*, MIT Press, 1995.
10. TOFFOLI, T., MARGOLUS, N., "Celular Automata Machines: a new environment for modelling". MIT Press, 1987.