

Vida artificial: en la encrucijada

José David Fernández Rodríguez

Investigador post-doctoral contratado en un proyecto de investigación de excelencia de la Junta de Andalucía (P09-TIC-5123). Departamento de Lenguajes y Ciencias de la Computación, Universidad de Málaga
iosedavid@aeb.uma.es

En las últimas décadas, la línea divisoria entre la Biología y las Ciencias de la Computación se ha ido difuminando paulatinamente. Por un lado, una gran cantidad de métodos computacionales (colectivamente conocidos como métodos bioinspirados) han surgido de una amplia variedad de sistemas o procesos biológicos, como los algoritmos evolutivos, las redes neuronales artificiales o la computación basada en membranas. Por otro lado, el avance científico en la inmensa mayoría de las disciplinas de la Biología ha abocado a los investigadores a depender completamente de sistemas informáticos y métodos computacionales para el procesamiento, análisis y síntesis de la información, como es el caso de la Genómica, la Proteómica y otras disciplinas biológicas auxiliadas por las herramientas de la Bioinformática.

Mención aparte merece la Biología Computacional, que a grandes rasgos consiste en el desarrollo de técnicas computacionales para la simulación y el análisis de sistemas o procesos biológicos a múltiples niveles. A las conocidas técnicas experimentales comúnmente llamadas *in vivo* (con el organismo vivo) e *in vitro* (con células o tejidos cultivados en material de laboratorio), la Biología Computacional añade una tercera: *in silico*, o experimentación mediante simulación informática. Pertenecen a la Biología Computacional disciplinas tan dispares como la Neurociencia Computacional, la Biología de Sistemas o la Proteómica (en lo que se refiere a la predicción del plegado y la función de las proteínas).

Es en este contexto en el que podemos introducir la Vida Artificial como una disciplina que intenta entender los fenómenos asociados a la vida a través de modelos computacionales. Como puede deducirse de esta definición, la frontera entre Biología Computacional y Vida Artificial es muy permeable, y es difícil decidir dónde acaba una y empieza la otra. Por ello, debemos de aclarar dicha definición para evitar confusiones en la medida de lo posible. A diferencia de la Biología Computacional, la Vida Artificial no busca (en términos generales) comprender o modelar un sistemas o procesos biológicos concretos, sino más bien ganar un conocimiento más profundo de cómo funciona la vida y los procesos biológicos, estudiando

modelos computacionales más o menos abstractos que reúnen algunas de las características de la vida, sin modelar exactamente un sistema o proceso biológico. En palabras de Christopher Langton, el hombre que acuñó el término "Vida Artificial", mientras que la Biología estudia la vida tal como es, la Vida Artificial estudia la vida tal como podría ser (1).

Uno de los temas recurrentes dentro de la Vida Artificial es el estudio de cómo un sistema con reglas muy sencillas puede dar lugar a un proceso o comportamiento muy complicado. Ésta es una de las razones por la cual es común usar herramientas como autómatas celulares, redes booleanas, redes neuronales, simuladores de física o paradigmas eco-evolutivos. En este sentido, la Vida Artificial solapa en cierto grado con el estudio de los Sistemas Complejos.

Veamos como primer ejemplo lo que (retrospectivamente) puede considerarse como una de las instancias más tempranas de Vida Artificial: la máquina de von Neumann. Aunque actualmente nos pueda parecer raro, a principios del siglo XX a nadie se le ocurría que un automatismo pudiera reproducirse. El acto de auto-replicación parecía algo tan complicado que se suponía que en la práctica solamente podía ser llevado a cabo por seres vivos. Sin embargo, el polifacético científico John von Neumann estaba convencido de lo contrario, y para probarlo diseñó en los años 40 y 50 del pasado siglo (aunque su trabajo vio la luz años después de su muerte, en 1966) un formalismo matemático (basado en el concepto de autómata celular), un modelo abstracto de máquina que, siguiendo una lista de instrucciones codificada en una cinta, era capaz de reproducirse a sí misma y a la propia cinta.

Aunque hoy en día no resulte tan impresionante, dentro de su contexto histórico la máquina de von Neumann representa un estudio de Vida Artificial en toda regla: usando un formalismo matemático, define un sistema que, sin imitar fielmente a la Biología (al menos según el estado del conocimiento durante la vida de von Neumann), reproduce una propiedad o característica de los seres vivos, en este caso, la capacidad de reproducción. El valor de la máquina de von Neumann reside en su carácter pionero:

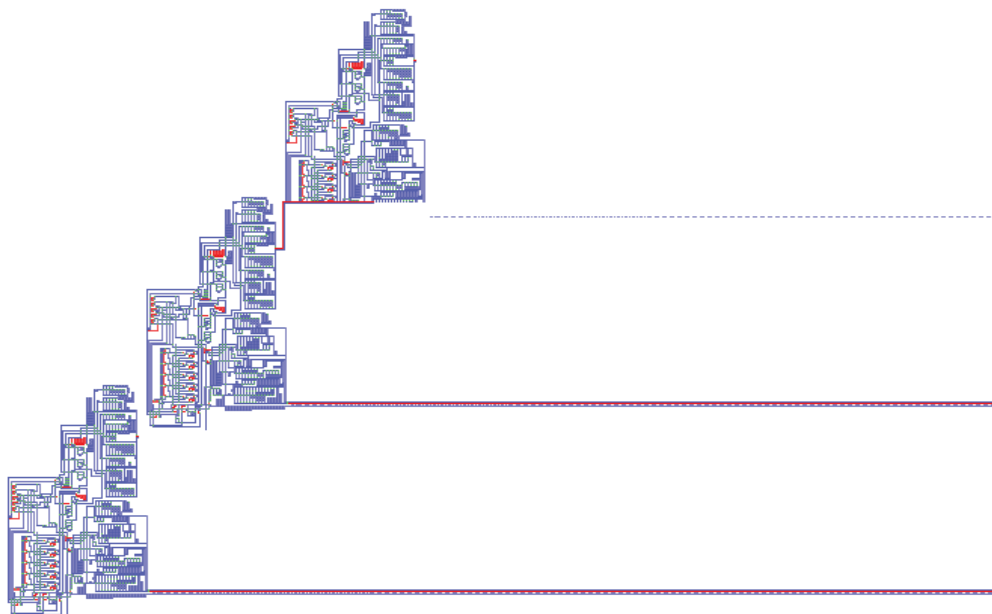


Figura 1: Autómatas de Von Neumann en proceso de auto-replicación. Un autómata (abajo) ha interpretado su cinta de instrucciones para construir un segundo autómata y una segunda cinta (medio). Dicho autómata sigue a su vez su cinta de instrucciones para generar un tercer autómata (arriba). Fuente: Wikipedia

http://en.wikipedia.org/wiki/File:Nobili_Pesavento_2reps.png

resulta extremadamente interesante que, aunque en su momento se desconocía la forma en que las células eran capaces de reproducirse, von Neumann ideó un sistema artificial que se parece en lo esencial al esquema reproductivo biológico: la cinta de instrucciones puede asimilarse por analogía a una hebra de ADN, y la máquina de von Neumann puede interpretarse como el aparataje celular que sigue las instrucciones del ADN para replicar el ADN y a sí mismo. Se puede decir que captura una de las propiedades fundamentales de la vida (la función de reproducción) en un sistema que, precisamente por su simplificación y su alejamiento de lo que normalmente entendemos como ser vivo, nos ayuda a reflexionar sobre dicha propiedad.

Otros ejemplos tempranos de Vida Artificial son el autómata celular que Francisco Varela usó en 1974 para ilustrar el concepto de autopoiesis o el famoso modelo Daisyworld que James Lovelock presentó en 1983 como un ejemplo muy simplificado de cómo podrían funcionar los mecanismos ecológicos auto-reguladores de la hipótesis Gaia, y que ha dado lugar a una rica literatura que explora dicho modelo y muchas de sus variantes. Sin embargo, mucho más notable es el caso de Tierra, una simulación desarrollada en 1991 por el biólogo Thomas Ray, en la que un

ordenador simulado ejecuta una serie de programas informáticos que se replican, están sujetos a mutaciones y compiten entre sí por los recursos del ordenador. El resultado es un proceso evolutivo totalmente controlable y fácilmente analizable. El propio Ray despertó cierta polémica al afirmar que los programas informáticos que evolucionaban en su simulación no imitaban procesos biológicos, sino que directamente podían considerarse como seres vivos a todos los efectos.

Tierra despertó gran interés tanto dentro como fuera de la comunidad de Vida Artificial, hasta el punto de que un sistema derivado, llamado Avida, ha sido usado para realizar gran cantidad de experimentos sobre una amplia variedad de cuestiones relativas a la teoría evolutiva, llamando incluso la atención del prestigioso biólogo Richard Lenski (famoso por su experimento sobre la evolución a largo plazo con *E. coli*), y logrando la publicación de algunos de estos experimentos en la revista *Nature*. En este sentido, Tierra y sus derivados pueden considerarse una de las ramas más exitosas de la Vida Artificial. Las ventajas de usar organismos digitales en lugar de organismos reales para plantear experimentos evolutivos son la rapidez de las simulaciones informáticas y la posibilidad de llevar un registro

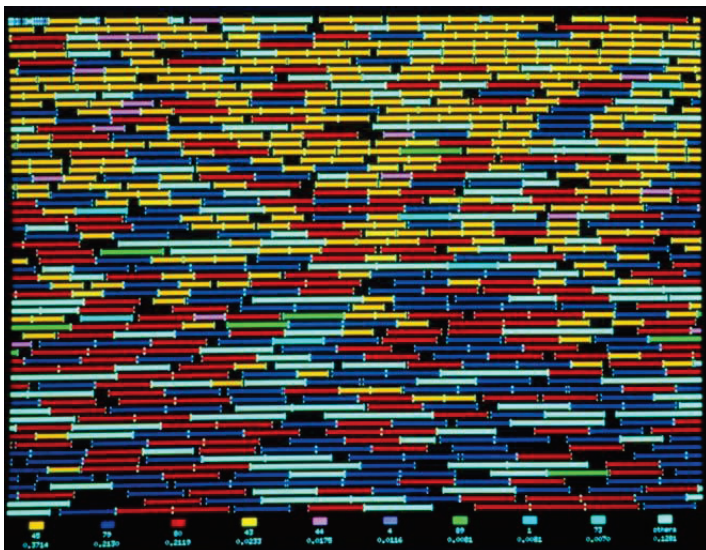


Figura 2: Visualización de una simulación de organismos digitales en Tierra, de Thomas Ray. Los organismos son programas informáticos que compiten por los recursos de un ordenador simulado. Fuente: Marc Cyrus <http://life.ou.edu/tierra/>

exacto del proceso evolutivo hasta en sus más mínimos detalles, respecto a los inconvenientes de interpretar los datos de costosos estudios de campo, largos experimentos o estudios paleontológicos que en el mejor de los casos serán incompletos e intermitentes.

Otra de las ramas de la Vida Artificial es el estudio de las Químicas Artificiales, que plantean una aproximación radical: si un ser vivo es el resultado de la interacción de sus componentes moleculares inanimados, es posible estudiar propiedades y procesos relacionados con la vida construyendo formalismos que imitan los procesos químicos de distintas maneras. Estos formalismos van desde imitaciones muy aproximadas de procesos bioquímicos, como es el caso de las pseudo-células auto-replicantes de Tim Hutton, a sistemas más abstractos en los que las especies reactivas son expresiones matemáticas, cadenas de caracteres, grafos abstractos o autómatas celulares, y el objetivo es la comprensión de cómo surgen, evolucionan y funcionan las redes metabólicas y algunas propiedades biológicas como la homeostasis o la auto-replicación. Al estudiar estas cuestiones en sustratos radicalmente distintos a los de la Bioquímica convencional, se pueden considerar a las Químicas Artificiales como una de las formas más fieles del estudio de la vida "tal como podría ser".

Sin embargo, la vertiente más conocida (y hasta podríamos decir que tradicional) de la Vida Artificial la podemos encontrar en las simulaciones más o menos sofisticadas de agentes artificiales imitando organismos o procesos

biológicos de una forma menos abstracta y más explícita que en los ejemplos presentados anteriormente. Existe una tremenda variedad de estas simulaciones, hasta tal punto de que el único nexo de unión más o menos generalizado es el uso de procesos evolutivos. En general, las simulaciones pueden centrarse en el estudio de organismos individuales, en cuyo caso se pueden usar modelos físicos más o menos realistas, como las criaturas virtuales capaces de comportamientos locomotores que Karl Sims presentó en 1996, o las que se centran en estudiar la fenomenología a escala poblacional o ecológica, como el estudio de dinámicas evo-

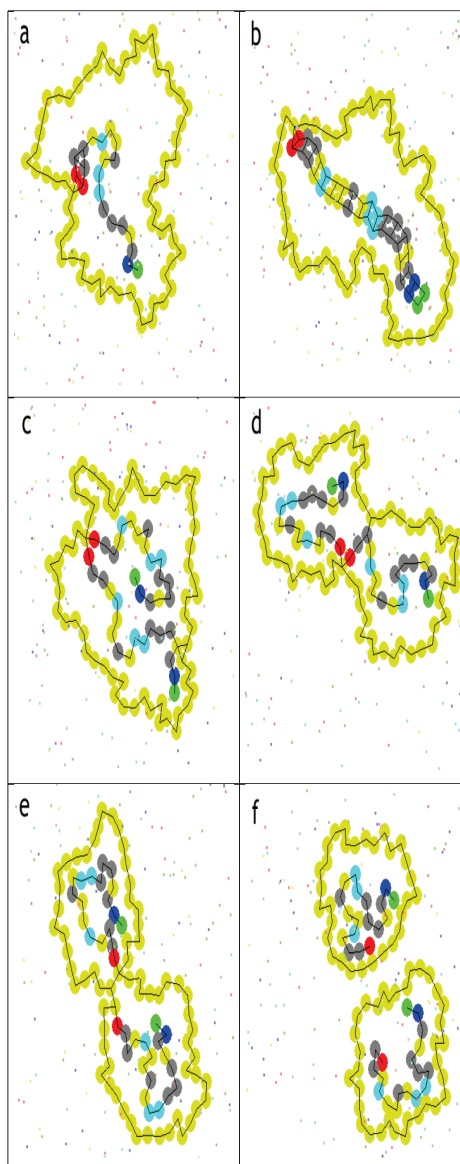


Figura 3: Auto-replicación de una estructura pseudo-celular en una química artificial.

Fuente: Tim Hutton
<http://www.sq3.org.uk/>

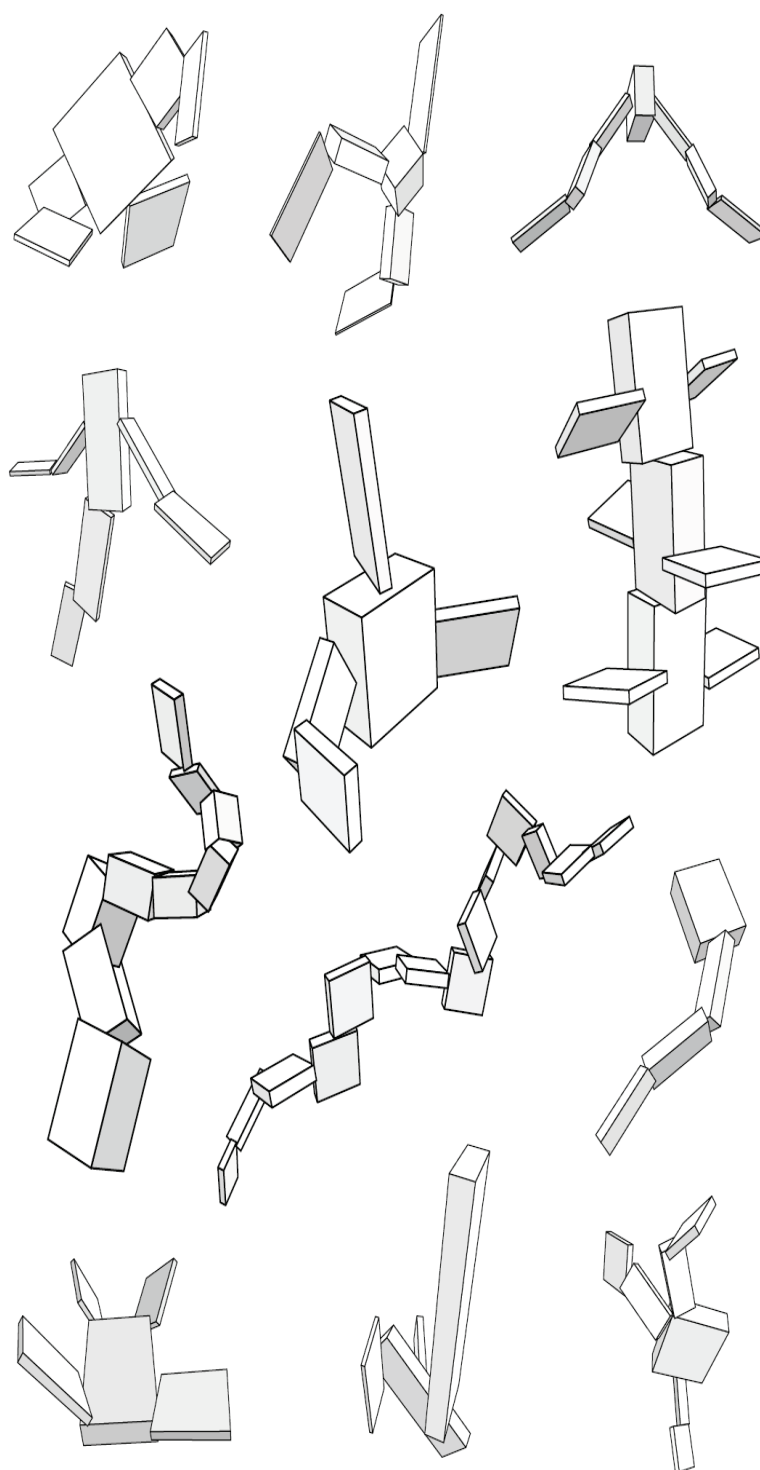
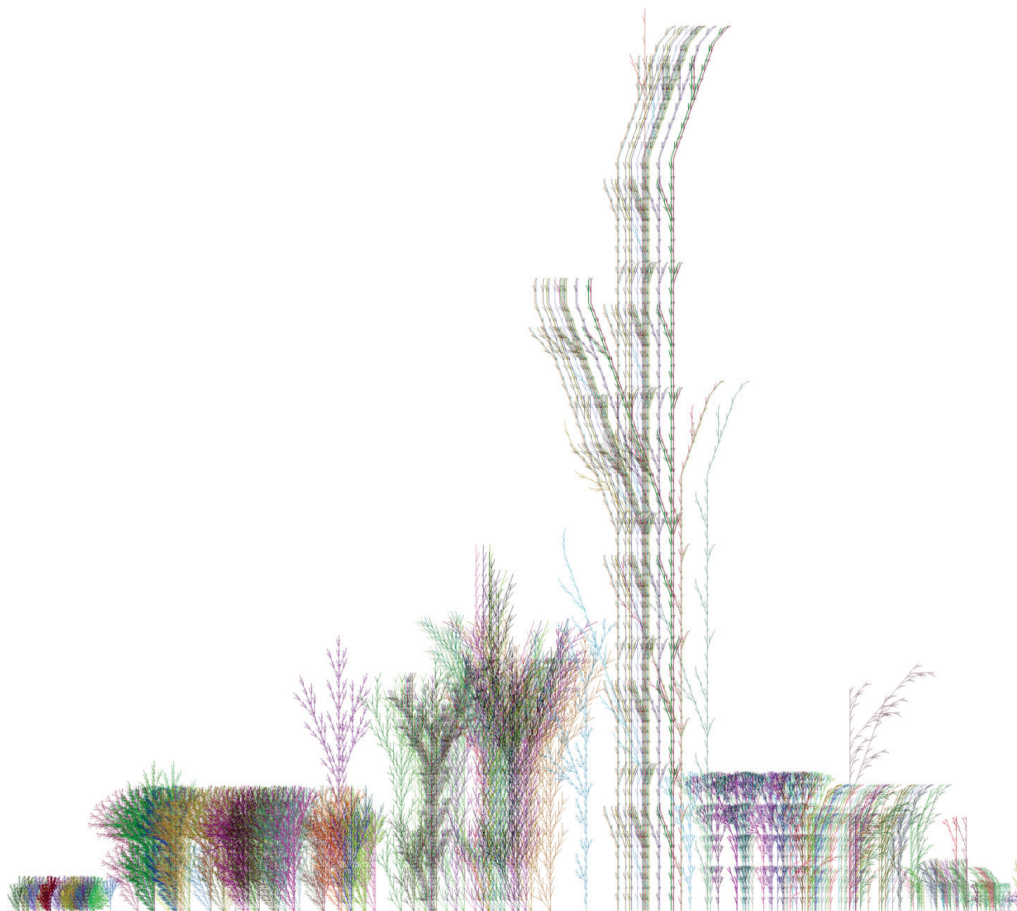


Figura 4: Criaturas artificiales de Karl Sims. Múltiples morfologías y esquemas de locomoción han evolucionado para moverse en una simulación físicamente realista de un medio acuático. Fuente: Karl Sims

<http://www.karlsims.com/evolved-virtual-creatures.html>



33

Figura 5: Simulación de dinámicas evolutivas en un ecosistema bidimensional de plantas virtuales. Fuente: José David Fernández Rodríguez <http://geb.uma.es/people/jose-david-fernandez-rodriguez>

lutivas en ecosistemas de plantas virtuales que presenté en 2012. Actualmente, las líneas de investigación más destacadas con estos tipos de simulaciones son el estudio de cómo se desarrollan los organismos multicelulares (englobado dentro de la Embriología Artificial), especialmente en lo que se refiere a la interacción entre el organismo en desarrollo y la información genética que dirige y modula dicho desarrollo, así como el estudio de cómo surge la complejidad en la morfología y el comportamiento de dichos organismos.

En definitiva, la Vida Artificial puede considerarse como una arriesgada pero estimulante apuesta para reflexionar sobre algunos de los interrogantes y cuestiones abiertas de la Biología desde un punto de vista no convencional, que nos ayuda a tomar perspectiva a la hora de abordar dichas cuestiones.

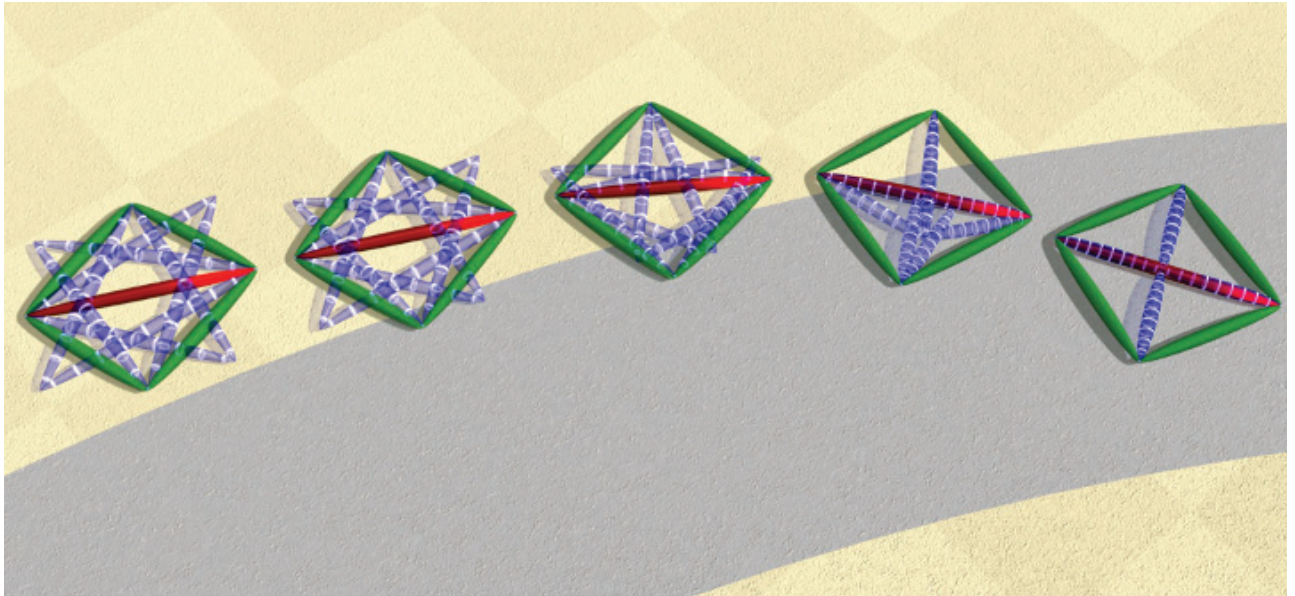


Figura 6: Simulación de organismos bidimensionales que evolucionan para seguir un camino. No hay mecanismos de control explícito, sino que distintos comportamientos surgen de la interacción entre elementos sensoriales y motores en una simulación física simplificada. La morfología de los organismos se configura mediante un proceso de desarrollo artificial. Fuente: Daniel Lobo <http://geb.uma.es/living-matter/behavior-finding>

Bibliografía citada:

1. Christopher Langton (editor), 1987. Artificial Life: Proceedings Of An Interdisciplinary Workshop On The Synthesis And Simulation Of Living Systems. Editorial Westview Press. ISBN 9780201093568.
2. Christopher Langton, 1997. Artificial Life: An Overview. Editorial The MIT Press. ISBN 9780262621120.
3. Rafael Lahoz Beltrá, 2004. Bioinformática: Simulación, Vida Artificial e Inteligencia Artificial. Editorial Díaz De Santos. ISBN 8479786450.
4. Jose David Fernández Rodríguez, 2012. The Evolution of Diversity in the Structure and Function of Artificial Organisms. Tesis Doctoral, Universidad de Málaga.