

Bases de la Vida Artificial

Guillermo Choque Aspiazu
gchoque@inf.umsanet.edu.bo

Resumen

La vida artificial es una de las ramas de la ciencia de la complejidad que con énfasis se presta a resolver problemas no convencionales con un nuevo tipo de visión que se extrae de la fusión de lo computacional con lo biológico. La historia de la vida artificial tiene su inicio en septiembre de 1987, cuando se lleva a cabo el primer encuentro en el Laboratorio de Los Álamos patrocinado por el Centro de Estudios No-Lineales del Instituto de Santa Fe y la compañía de computadoras Apple. La vida artificial se ocupa de la investigación y el desarrollo de modelos de sistemas vivos, modelos matemáticos para analizar el origen de la vida, autómatas que se reproducen de manera propia, programas computacionales que utilizan los mecanismos de la evolución darwiniana para producir ecosistemas coadaptados, simulaciones del crecimiento de plantas artificiales y muchas otras cosas involucradas en este dominio.

Palabras clave: Vida artificial, química del carbono, artificialidad, autómata biológico, fenotipo, genotipo, recursividad.

1. INTRODUCCIÓN

En septiembre de 1987, se realizó el primer workshop sobre vida artificial en los ambientes del Laboratorio Nacional de Los Álamos, auspiciado por el Centro para Estudios no lineales del Instituto Santa Fe. En esta ocasión se reunió a 160 investigadores en ciencias de la computación, biólogos, físicos, antropólogos y otros interesados en la simulación y síntesis de los sistemas vivientes. En cinco días de intenso trabajo, se presentaron una amplia variedad de modelos para los sistemas vivos, incluyendo modelos matemáticos sobre el origen de la vida, autómatas con auto reproducción, programas de computación que utilizan los mecanismos de la evolución de Darwin para producir ecosistemas co-adaptados, simulación del desarrollo y crecimiento de plantas artificiales y mucho más [Langton, 1989].

2. ESENCIA DE LA VIDA ARTIFICIAL

Según Langton (1992), la vida artificial involucra la realización del comportamiento de la vida, en la parte de los sistemas realizados por el ser humano, que consisten de poblaciones de entidades semiautónomas cuyas interacciones locales de una con otra son gobernadas mediante un conjunto de reglas simples. Tales sistemas no contienen reglas para el comportamiento de la población en el nivel global, y la complejidad asociada, la dinámica de alto nivel y las estructuras observadas son propiedades emergentes, las cuales se desarrollan en un

tiempo fuera de todas las interacciones locales entre las primitivas de bajo nivel mediante un proceso altamente reminiscente de desarrollo embriológico, en este proceso las estructuras de gran orden de las jerarquías locales se desarrollan y compiten una con otra para lograr un soporte entre las entidades de nivel bajo. Esas estructuras emergentes juegan un rol vital en la organización del comportamiento de las entidades del nivel mas bajo a través de establecer el contexto dentro del cual dichas entidades invocan sus reglas locales y, como consecuencia, dichas estructuras pueden evolucionar en el tiempo.

3. BIOLOGÍA DE LA POSIBLE VIDA

La Biología es la ciencia que tiene por objeto el estudio de la vida. La palabra Biología fue acuñada en 1802 por Lamarck, Oken y Trevinarus. El término biología viene del griego: *bios* que significa vida y *logos* que representa estudio o ciencia. En la práctica, la Biología es el estudio científico de la vida basada en la química de las cadenas de carbono. No existe nada en su característica que limite, a la Biología, solamente al estudio de la vida basada en las cadenas de carbono; la razón es que esta es la única forma de vida disponible para su estudio. De esta manera, la biología teórica enfrenta el obstáculo que es difícil, tal vez imposible, relacionado con la derivación de teorías generales a partir de ejemplos simples [Nason 1990][Langton, 1992].

La definición de vida no solamente tiene como objeto los caracteres que abarcan los organismos, sino también los mecanismos que los originan. Se afirma que la vida, como un proceso físico dinámico, podría "frecuentar" otro material físico, con la condición de que este material sea organizado de manera correcta. Ciertamente el proceso dinámico que constituye la vida debe compartir ciertas características universales que permitan reconocerla de manera simple mediante su forma dinámica, sin referenciar a su materia. Este fenómeno general de vida -la vida a través de todos los posibles sustratos materiales- es el verdadero asunto sujeto de la biología [Langton, 1989].

Según Nason(1990), *"una forma viviente es, en esencia, un sistema complejo, altamente organizado, independiente, con una estructura físico-química definida, capaz de utilizar la materia y energía del medio ambiente por medio de cadenas integradas y autoestablecidas de reacciones físico-químicas, para poder así crecer y reproducirse"*.

En la búsqueda de las características universales que definan de manera simple a la vida, reconocida como sistema complejo, altamente organizado y con una estructura definida, se llega a recoger las ideas asociadas con la definición de la vida según sus propiedades mecánicas. Ludwig(1993) menciona que las propiedades mecánicas de la vida son: (a) reproducción propia, (b) comportamiento emergente, (c) metabolismo y adaptabilidad y (d) evolución.

4. VIDA NATURAL Y ARTIFICIAL

Los virus informáticos pueden ser un acercamiento hacia la vida artificial. Analizando las propiedades mecánicas establecidas en el párrafo anterior, se puede construir un producto software de virus informático que cumpla las condiciones descritas en la tabla 1.

Como se puede observar, un virus informático cumple las propiedades mecánicas de la vida y, por consiguiente, tendría las características mínimas de un ente vivo y artificial. Pero surge de manera natural la siguiente cuestión: ¿Es un ser vivo?. Después del análisis de la tabla 1, un

usuario casual puede afirmar que es un ser vivo, sin embargo para los ingenieros del software la respuesta es negativa: los virus informáticos actuales no son seres vivos, son solo instrucciones, simplemente siguen las ordenes con las que fueron diseñados. La definición de vida está incompleta aún en este tipo de construcciones artificiales.

Ser Vivo	Virus Informático
Es capaz de reproducirse	Es capaz de reproducirse
Es capaz de mutar, el problema es que es poco probable que la mutación ofrezca una característica beneficiosa al ser vivo por lo que si no lo es, el organismo esta condenado.	Puede ser polimórfico. También se puede ensayar con que alteren parte de su código con instrucciones nuevas de forma aleatoria. El problema es que es poco probable que el virus quede funcionando.
Reproduce sus mutaciones. Si la mutación es beneficiosa.	Es factible, si el virus aún funciona después de la mutación.
Es capaz de autoconservarse	Es capaz de validarse, puede eludir antivirus y programas de seguridad.
Puede almacenar información	Puede almacenar configuraciones
Aprovecha y transforma la energía de su entorno	Utiliza el sistema operativo (su entorno). Tiene en cuenta los valores de retorno.
Controla su propio ambiente interno	Valida su código a si mismo con CRC (Códigos de Redundancia Cíclica)

Figura 1. Tabla comparativa
Fuente: Modificado de [Ludwig, 1993]

5. QUÍMICA DEL CARBONO

Según Langton (1989), en la corteza terrestre el elemento más abundante es el oxígeno, que representa el 50% de la masa que lo integra. En cambio, el carbono supone tan sólo un modesto 0.08% que lo sitúa en treceavo lugar entre los elementos más abundantes, cifras que parecen indicar una escasa importancia cuantitativa. Y no obstante, de las 4 millones de moléculas conocidas, casi el 90% contienen carbono. Otro dato es más elocuente: se estima que el número de proteínas distintas (solo un tipo de compuesto de carbono) existente en los organismos vivos es

del orden de un billón. Puede afirmarse pues, que el carbono es el elemento que aparece en un mayor número de compuestos, y concretamente, está presente en la casi totalidad de sustancias que intervienen en los procesos vitales.

¿Los seres vivos basan su estructura solamente en la química del carbono? ¿Es posible que otro material pueda ser idóneo para ser la base de la vida?. Una posición que puede ser discutible es que la vida no debería limitarse solamente a la química del carbono.

6. VIDA ARTIFICIAL

Es extremadamente difícil distinguir las propiedades esenciales de la vida de las propiedades que son incidentales a la vida, las cuales parecen ser universales a la vida en la tierra debido a una combinación de los accidentes históricos locales y los descendientes genéticos comunes. Según Langton(1989), una forma vigente es tratar de sintetizar las formas de vida de manera alternativa, tal como sucede con la vida artificial, caracterizada como una forma de vida hecha por el hombre antes que por la naturaleza.

La Vida Artificial (VA) es un campo relativamente nuevo que emplea un enfoque sintético para el estudio de la vida como debería ser. En el campo, de la vida como debería ser, se considera a la vida como una propiedad de la organización de la materia, antes que una propiedad de la materia organizada [Langton, 1989].

Mientras que la biología está ampliamente interesada en las bases materiales de la vida, la vida artificial está interesada en las bases formales de la vida. La Biología comenzó su estudio de arriba hacia abajo, observando los organismos vivos como una máquina bioquímica compleja, y trabajando de manera analítica hacia abajo (esta referencia se realiza hacia los órganos, tejidos, células, membranas, y finalmente moléculas) en busca de los mecanismos de vida. Langton (1992) menciona que la VA empieza de la parte de abajo, considerando a un organismo como una gran población de máquinas simples, y trabaja hacia arriba de manera sintética (de manera similar a la construcción de grandes agregados de objetos

simples gobernados por reglas que interactúan una con otra de manera no lineal).

Por otra parte la relación entre la VA y la Biología Teórica es de dos pliegues: (1) debido a que uno de los principales objetivos de la VA es producir la evolución conduciendo al incremento espontáneo de la diversidad y la complejidad, existe un campo rico de teoría biológica que sugiere los factores que pueden contribuir aquel proceso; y (2) a la extensión de los procesos corrientes de la vida que son los mismos en la VA y la vida orgánica, en este contexto los modelos de VA proporcionan una nueva herramienta para el estudio experimental de tales procesos, los cuales pueden ser utilizados para demostrar que la biología teórica no puede ser probada por técnicas analíticas y experimentales tradicionales [Ray, 1990].

El concepto clave de la VA es el "comportamiento emergente". La vida natural emerge de interacciones organizadas de un gran número de moléculas no vivientes, sin ningún control global responsable del comportamiento de cada parte. Antes, cada parte es un comportamiento propio, y la vida es el comportamiento que emerge desde fuera de todas las interacciones locales entre comportamientos individuales. Esta es una determinación local, distribuida, hacia-arriba, del comportamiento que emplea la VA en su enfoque metodológico primario para la generación de comportamientos similares a la vida [Langton, 1989].

7. ARTIFICIALIDAD

Se define el término "artificial" como "hecho por mano del hombre, antes que cuente con su ocurrencia en la naturaleza" [Langton, 1992]. Existe otro sentido del término que es más apropiado para el estudio de la VA.

Langton (1989) establece que la VA estudia la vida natural intentando capturar la esencia conceptual de los componentes constituyentes de un sistema vivo, y dotando de una colección de componentes artificiales con repertorios de componentes similares. Si está organizada correctamente, el agregado de las partes

artificiales podría exhibir el mismo comportamiento dinámico que el sistema natural.

Esta técnica de modelado hacia-arriba puede ser aplicada a cualquier nivel de la jerarquía de los sistemas vivos en el mundo natural¹. En cualquiera de tales niveles, las primitivas de comportamiento son identificadas, especificando las reglas para dicho comportamiento en respuesta a las condiciones locales, las primitivas de comportamiento son organizadas de manera similar a sus contrapartes naturales, y el comportamiento de interés emerge "sobre los hombros" de toda la gran cantidad de interacciones locales entre las primitivas de bajo nivel tomadas de manera colectiva [Langton 1989].

Si bien la técnica que señala Langton es sumamente importante para la generación del comportamiento emergente, es necesario modelar esta característica como una herramienta automática para mostrar que la vida puede ser simulada de manera efectiva.

La herramienta ideal de este enfoque sintético para el estudio de la vida es la computadora. Sin embargo, el programa tradicional de computadora es inapropiado para sintetizar la vida al interior de los computadores. Se requiere un nuevo enfoque para la computación, uno que centre su atención sobre un comportamiento dinámico emergente antes que sobre un resultado final.

8. MODELOS DE VIDA ARTIFICIAL

Según Taylor (1991) la clasificación de las líneas de investigación, consideradas como modelos, relacionadas con el campo de la vida artificial son:

- a) Virus computacionales.
- b) Procesos de evolución simulada en computadoras.
- c) Biomorfismo y procesos realísticos ontogenéticos.
- d) Robótica.
- e) Redes autocatalíticas.
- f) Autómatas celulares.

¹ En esta perspectiva, desde el modelado de la dinámica molecular en escalas de tiempo de milisegundos hasta el modelado de la evolución en poblaciones por encima de los milenios.

- g) Nucleótidos artificiales.
- h) Evolución cultural.

Esta clasificación aporta, de manera abstracta, un primer intento de orden en las tendencias atribuidas a los modelos de VA, al menos en los tres primeros congresos que fueron realizados con relación al tratamiento del tema. Sin embargo, es necesario mencionar que estos modelos comparten características comunes y los requisitos necesarios para ser considerados en el dominio de la vida artificial.

Langton (1992) propone las siguientes características, como esenciales para los modelos de VA basados en computadoras:

- a) Constan de poblaciones de programas simples o especificaciones simples;
- b) no existe un programa simple que dirija a todos los otros programas;
- c) cada programa detalla la manera en la cual una entidad simple reacciona a las situaciones locales en su medio ambiente, incluyendo encuentros con otras entidades.
- d) no existen reglas en el sistema que dicten un comportamiento global.
- e) cualquier comportamiento hacia los niveles superiores antes que a los programas individuales es por consiguiente emergente.

9. AUTÓMATA BIOLÓGICO

Los organismos han sido comparados a máquinas bioquímicas altamente complejas y finamente graduadas. Puesto que se conoce que es posible abstraer la forma lógica de una máquina a partir de su hardware físico, es natural preguntarse si es posible abstraer la parte lógica de un organismo a partir de su concepción bioquímica. El campo de la vida artificial está dedicado a la investigación de esta pregunta.

En los experimentos que se suceden se encuentra que la maquinaria esencial de los organismos vivos es solamente diferente en un bit a la máquina de nuestra propia invención, y se estaría completamente equivocado al intentar forzar las nociones preconcebidas de las máquinas abstractas sobre la maquinaria de la vida. La diferencia, nuevamente, radica en la naturaleza

distribuida y excesivamente paralela de la maquinaria de la vida, contrastada con las estructuras de control centralizadas y singularmente seriales asociadas con las maquinas de invención del ser humano.

10. GENOTIPO Y FENOTIPO

La característica más saliente de los sistemas vivos, desde el punto de vista de la generación del comportamiento, es la distinción entre fenotipo y genotipo. La distinción es esencialmente entre una especificación interna de una maquinaria (genotipo) y el comportamiento externo de dicha maquinaria (fenotipo).

El genotipo es el conjunto completo de instrucciones genéticas codificadas en la secuencia lineal de las bases del nucleótido que hacen el DNA de un organismo. El fenotipo es el organismo físico mismo, las estructuras que emergen en el espacio y el tiempo como el resultado de la interpretación del genotipo en el contexto de un medio ambiente particular.

Ray (1990) propone que, en el contexto de la vida artificial, se necesita generalizar las nociones de genotipo y fenotipo, de modo tal que se puede aplicar dichos términos en situaciones no biológicas. Se utilizará el termino genotipo generalizado (GTYPE) para hacer referencia a cualquier conjunto desordenado de reglas de bajo nivel, y se utilizará el termino fenotipo generalizado (PTYPE) para referirse a los comportamientos y/o estructuras que emergen fuera de las interacciones entre esas reglas de bajo nivel cuando las mismas son activadas dentro de algún medio ambiente específico.

11. OBJETOS GENERADOS DE MANERA RECURSIVA

Bajo esta metodología, el objeto es una estructura que tiene subpartes. Las reglas del sistema especifican como modificar las subpartes elementales y atómicas, y son usualmente sensitivas al contexto en el cual dichas partes están incluidas. El vecindario de una subparte atómica es tomado en cuenta para determinar cual regla se debe aplicar para modificar dicha

subparte. Este es usualmente el caso en el que no existen reglas en el sistema cuyo contexto sea la estructura entera; que es, no existe usos hechos de la información global. Cada pieza es modificada sobre la base de su propio estado y el estado de las piezas cercanas.

Por supuesto, si la estructura inicial consiste de una parte simple (como puede darse el caso del paso inicial) entonces el contexto para aplicar una regla es necesariamente global. La situación usual es que la estructura consiste de muchas partes, solo un subconjunto local de los mismos determina la regla que deberá ser utilizada para modificar cualquier subparte de la estructura.

Un objeto generado de modo recursivo es una clase de fenotipo generalizado, y la descripción recursiva que genera la misma es una clase de genotipo generalizado. El PTYPE emergerá bajo la acción del GTYPE, desarrollándose a través del tiempo mediante un proceso de morfogénesis.

A continuación se describen dos ejemplos tomados de [Langton, 1992]

Ej. 1. Sistemas L (Lindenmayer)

Los sistemas de Lindenmayer (L-systems) consisten de conjuntos de reglas para rescribir strings de símbolos, y relaciones bastante fuertes a las gramáticas formales tratadas por Noam Chomsky². En estos sistemas $X \rightarrow Y$ significa que se reemplaza cada ocurrencia del símbolo X en la estructura, con el símbolo Y. Puesto que el símbolo X puede aparecer en los lados derecho o izquierdo de algunas reglas, el conjunto de reglas puede ser aplicado de manera recursiva para rescribir las nuevas estructuras. El proceso puede continuar al infinito, aunque algunos conjuntos de reglas resultaran en una configuración final cuando ya no ocurra ningún cambio.

Ej. 2. Autómatas Celulares

Los autómatas celulares (AC) proporcionan otro ejemplo de la aplicación recursiva de un conjunto

² Noam Chomsky (1928) lingüista norteamericano nacido en Filadelfia. Autor principal de la gramática generativa.

simple de reglas. En un AC, la estructura que está siendo actualizada es el universo entero: un retículo de autómatas finito. El conjunto de reglas locales es la función de transición obedecida de manera homogénea por cada uno de los autómatas en el retículo. El contexto local tomado en cuenta en actualizar el estado de cada autómata es el estado del autómata en su vecindario inmediato. La función de transición para el autómata constituye una física local para un universo de tiempo y espacio discreto y simple. El universo es actualizado al aplicar la física local a cada celda de su estructura una y otra vez de manera repetida. Así, aunque la estructura física no se desarrolle en el tiempo, su estado si lo hace.

12. CONCLUSIONES

La vida artificial involucra la realización del comportamiento de la vida, en la parte de los sistemas construidos por el ser humano, que consisten de poblaciones de entidades semiautónomas cuyas interacciones locales de una con otra son gobernadas mediante un conjunto de reglas simples. Tales sistemas no contienen reglas para el comportamiento de la población en el nivel global, y la complejidad asociada, la dinámica de alto nivel y las estructuras observadas son propiedades emergentes.

Quizá esa aproximación a la vida artificial pueda considerarse bastante abstracta, sin embargo para establecerse en el tema es conveniente responder a la pregunta ¿qué es la vida artificial?. De manera recurrente en este intento es cuestionado con otra pregunta, se debe primero saber ¿qué es la vida?, y se da lugar a mas preguntas, esta vez de ¿cómo se identifica que un objeto es un ser vivo?.

La vida artificial tiene un dominio de acción bastante grande que es demasiado complicado de cubrir, sin embargo en el camino que se intento recorrer se empleó una secuencia que contiene una estructura compuesta por los siguientes temas: una definición de lo que es la vida y la vida artificial, un análisis comparativo entre lo que es la vida natural y la vida artificial, una

parada obligatoria en la artificialidad como componente de la vida artificial, el núcleo de la propuesta gira en torno a los autómatas biológicos que conducen a la parte final en la que se muestran ejemplos concretos de la vida artificial como son los sistemas L y los autómatas celulares.

REFERENCIAS

1. Langton C.G. (1989) *Artificial Life I. A Proceedings Volume in the Santa Fe Institute Studies in the Science of Complexity*. Addison Wesley Publishing Company.
2. Langton C.G., Charles Taylor, J. Doyne Farmer, Steen Rasmussen (1992) *Artificial Life II. A Proceedings Volume in the Santa Fe Institute Studies in the Science of Complexity*. Addison Wesley Publishing Company.
3. Ludwig M.A. (1993) *Computer Viruses, Artificial Life and Evolution*. American Eagle Pub. Inc. Tucson, Arizona.
4. Nason A. (1969) *Modern Biology*. 15a. Edition. Editorial John Wiley and Sons, Inc. Nueva York.
5. Ray T.S. (1990) An Approach to the Synthesis of Life. *Proceedings of Artificial Life II*, SFI Studies in the Sciences of Complexity, vol X, edited by C.G. Langton, J.D. Farmer & S. Rasmussen, Addison-Wesley, pp. 371-408.
6. Simon H.A (1969) *The Sciences of the Artificial*. Boston, MIT Press.
7. Taylor C.M. (1991) "'Fleshing Out' Artificial Life II". *Proceedings of Artificial Life II*, SFI Studies in the Sciences of Complexity, vol X, edited by C.G. Langton, J.D. Farmer & S. Rasmussen, Addison-Wesley, pp. 25-38.