

Vida Artificial, Biocomputación y Nanotecnología

Fernando Martín Sánchez

Instituto de Salud Carlos III . Madrid

email: 100116.2472@compuserve.com

1.- Introducción

1.1.- Computación basada en modelos de la naturaleza

La figura 1 muestra los distintos paradigmas de computación que se han inspirado en modelos observados en la Naturaleza. El estudio de los sistemas computacionales de Vida Artificial, será el objetivo de este capítulo.

Si bien todos estos sistemas se han implementado principalmente como software, los investigadores miran ahora hacia la Naturaleza en busca de ideas que puedan ser empleadas en el diseño y construcción de hardware para la computación.

Desde ese punto de vista, se repasan también, en este artículo, los últimos avances en Biocomputación y Nanotecnología.

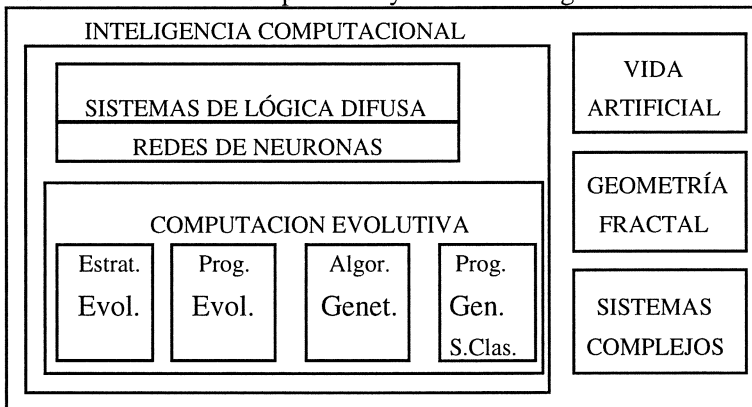


Figura 1.- Paradigmas de Computación inspirados biológicamente.

1.2.- Niveles de organización

Autoorganización, Selección, Autorreproducción, etc. son conceptos que se encuentran en la base de la computación biológica. Resulta atractivo realizar un ejercicio de recapitulación y representar la relación que puede existir entre diversas disciplinas científicas y los niveles en los que se organiza la materia biológica:

Sociedades - SOCIOLOGÍA
 Individuos - PSICOLOGÍA
 Órganos - BIOLOGÍA
 Células - BIOL. MOLECULAR
 Moléculas - QUÍMICA
 Átomos - FÍSICA
 Leyes - MATEMÁTICAS

1.3.- Multidisciplinariedad

Una de las hipótesis de este trabajo es que, en el futuro próximo, muy probablemente, los expertos en Sistemas y Tecnologías de la Información deberán poseer unos conocimientos mínimos, de trabajo, de varias disciplinas científicas, hasta hace poco tiempo relativamente distantes de la Informática.

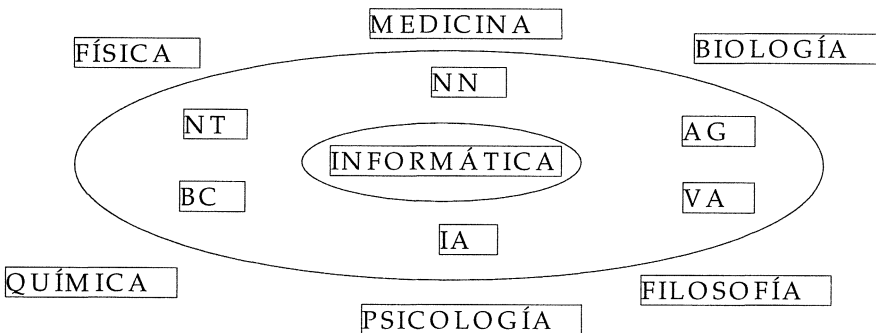


Figura 2.- Interdisciplinariedad.

2.1.- Definición

Consiste en el estudio de sistemas realizados por el hombre que exhiben conductas características de los sistemas vivos de la naturaleza.

Esta definición recuerda a la clásica definición de IA: estudio de sistemas que demuestran conductas que realizadas por el hombre se caracterizan como inteligentes.

2.2.- Concepto

La Vida Artificial (en adelante, VA) representa un complemento a las CC. Biológicas tradicionales. En la figura 3 puede verse una comparación entre ambas.

METODOLOGÍA DE TRABAJO	
<i>BIOLOGÍA</i>	<i>VIDA ARTIFICIAL</i>
Análisis de organismos vivos	Síntesis en ordenador de vida

Figura 3.- *Biología vs. Vida Artificial.*

BIOLOGÍA

● Estudio de la vida basada en el Carbono que se ha desarrollado en la Tierra

- Bases materiales de la Vida
- “La única vida que conocemos”

VIDA ARTIFICIAL

- Síntesis de vida en el ordenador
- Bases formales de la Vida
- “La vida cómo podría ser”

2.3.- Antecedentes

En Septiembre de 1987, tiene lugar la primera reunión sobre VA, celebrada en el Laboratorio. Nal. de Los Alamos. EEUU. Fue patrocinada por Apple, el Instituto Santa Fe y el Centro para Estudios No Lineales y promovida por Christopher G. Langton. En ella, se dieron cita más de 160 científicos de varias áreas: Informática, Biología, Física, Antropología, ...

2.4.- Ideas comunes a los sistemas VA

DESARROLLO DE SISTEMAS	VIDA ARTIFICIAL	SIMULACIÓN
METODOLOGÍA	Bottom-up	Top-Down
CONTROL	Local	Global
ESPECIFICACIÓN	Simple	Compleja
CONDUCTA	Emergente	Programada
SIMULACIÓN	Poblaciones	Individuos

Figura 4.- Vida Artificial vs. Sistemas de Simulación Convencionales.

La figura 4 representa una comparativa entre las principales características que diferencian a los sistemas de VA de los sistemas de simulación convencionales.

2.5.- Esencia

Se trata de conseguir conductas “vivas” a partir de poblaciones de entidades semi-autónomas cuyas interacciones locales son gobernadas por un conjunto de reglas simples.

2.6.- Sistemas.- Características

- Consisten en poblaciones de programas simples o especificaciones
- No hay un programa que controle a los demás
- Cada programa detalla el modo en el que una entidad interactúa con el entorno, incluyendo otras entidades
- No hay reglas en el sistema que dicten conductas globales o de alto nivel.
- Por tanto, cualquier conducta de alto nivel es emergente

2.7.- Bases teóricas

La mayoría de los biólogos creen que los organismos vivos son solamente máquinas bioquímicas complejas; la complejidad de su conducta resulta de la naturaleza no-lineal de las interacciones entre sus componentes.

Por tanto, dar vida a una máquina sería organizar una población de agentes de modo que, de la dinámica de sus interacciones, resulten conductas complejas.

2.8.- Aplicaciones

Contribuir al mejor conocimiento de los principios teóricos de la C-life (origen, evolución, metabolismo, conductas sociales).

Aplicaciones prácticas de los principios biológicos:

- hardware y software
- nanotecnología
- robots móviles

- naves espaciales
- fabricación industrial
- medicina

2.9.- Vida Artificial e Inteligencia Artificial

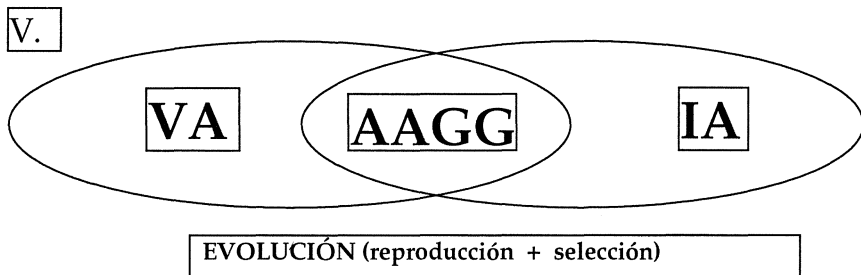


Figura 5.- Relación de la VA con otras técnicas de Inteligencia Artificial.

La IA es más antigua (finales de los 50). La VA comienza en 1987.

La IA suscita la atención de informáticos, psicólogos, ingenieros; la VA de Informáticos, biólogos, físicos, químicos.

La IA presenta un enfoque Top-Down. La VA Bottom-up.

La figura 5 muestra la relación de la VA con otras técnicas Informáticas de IA.

2.10.- Historia

El Ser Humano tiene una larga historia de construcción de artilugios que simulan objetos de la naturaleza: herramientas, aviones.

En Egipto: Clepsydra. Relojes de agua.

“Jacks”. Hombres mecánicos que dan la hora en relojes. Autómatas: jugadores de ajedrez, músicos...

1735. Pato de Vaucanson. Autómata que bebía, comía, movía las alas, digería la comida y emitía sonido característico.

Control de procesos. Autómatas programables. Embrión de los ordenadores de propósito general.

Church, Godel, Turing. Separar la parte lógica de una máquina de su parte física (CONCEPTO DE PROGRAMA). Con el desarrollo de los ordenadores de propósito general la atención pasa de la mecánica de la vida a la lógica de la vida.

1966. Von Neumann. Teoría de Autómatas. Autorreproducción

Stan Ulam. Los Alamos. Autómatas celulares.

Wiener. Cibernética. Tecnología de control de procesos. Feed-back en C-life y A-life.

Laing. Máquinas moleculares artificiales

Penrose. Dispositivos mecánicos autoreproductores

Grey Walter. Tortugas.

Samuel. Programa para jugar a las damas. Aprendía por Selección natural

Holland. AAGG

McCulloch-Pitts, Rosenblatt, Minsky. ANN

Lindenmayer. Sistemas-L. Objetos generador recursivamente. Fractales Mandelbroit.

Martin Gardner. Juegos Matemáticos en IyC.

Conway. LIFE.

Dewney. Core War, 3D-LIFE

2.11.- Sistemas actuales

NEOTERICIS. Coble.

BOIDS. Craig Reynolds

TIERRA. Tom Ray

CORE WARS. Dawkins

BugWorld

AntFarm

TEMPEST. Inst. Polit. Rennselaer.

2.12.- Conclusión

La VA no es sólo un reto tecnológico o científico, supone también un desafío a nuestras más fundamentales, creencias sociales, morales, filosóficas y religiosas.

Nos puede forzar a reexaminar nuestro lugar en el universo y nuestro papel en la naturaleza

C. Langton

3.- Vida Artificial y Virus Informáticos

3.1.- Definición de Virus Informáticos

Virus informático: derivado de la noción biológica de virus (veneno en latín). Pequeña cápsula que contiene material genético y lo inyecta en un organismo.

La célula infectada se convierte en una fábrica que produce virus replicantes.

Un virus informático es un segmento de código (200-4000 bytes) que se copia a sí mismo en uno o más programas "host" cuando se activa.

Cuando estos programas infectados se ejecutan , el código viral se activa y el virus se propaga.

3.2.- Historia

1980. Primera infección en un Apple

1981. Primera infección en BBS

1983. Cohen acuña el término.

1986. Primera infección en MS-DOS. *Brain*

1988. *Worm*. Internet. Viajan por redes, no modifican programas existentes, se replican.

1995- Más de 4000 virus.

3.3.- Evolución

Se han descrito ya varias generaciones:

1ª G. Simples. Sólo se replican. No efectos

2ª G. Auto-reconocimiento. No se saturan.

3ª G. Invisibles. Falsean datos de los antivirus

4ª G. Acorazados. Más voluminosos. Código sin utilidad para confundir.

5ª G. Polimórficos. Capacidad para mutar.

3.4.- Propiedades de la Vida

Auto-reproducción ,

Almacenamiento de información para su auto-organización.

No metabolismo. Materia - energía

Interaccionan con el entorno

Adaptación a distintos entornos

Crecimiento. Crecen en número con el tiempo.

Los virus informáticos cumplen todas las propiedades excepto la del metabolismo. Por ello no pueden ser considerados un ejemplo completo de VA.

4.- Algoritmos Genéticos y Vida Artificial

4.1.- Introducción

AA.GG.: Modelos computacionales de la evolución que juegan un papel muy relevante en muchos sistemas de VA.

Los AAGG se han empleado:

- Como herramientas para resolver problemas prácticos -- (Aplicación en IA)

- Como modelos científicos de procesos evolutivos -- (Aplicación en VA)

4.2.- Interrelación entre aprendizaje y evolución

En la figura 6, se verán las posibles capacidades de los procesos adaptativos según nos estemos refiriendo a organismos o a especies.

PROCESOS ADAPTATIVOS	
Organismos	Especies
APRENDIZAJE	EVOLUCIÓN

Figura 6.- Procesos adaptativos.

¿Existe una relación entre ambas?

Lo aprendido en una generación no se transmite en los genes a la siguiente. Sin embargo:

EL EFECTO BALDWIN (1986):

- El aprendizaje ayuda a la supervivencia
- Los que más aprenden viven más tiempo
- Tienen mayor probabilidad de reproducirse
- En la siguiente generación abundarán más los genes de los que más aprendieron.

Se realizó un sistema mixto para comprobarlo:

- Redes de Neuronas: APRENDIZAJE
- AAGG: EVOLUCION

Resulta que el efecto es verídico pero sólo en condiciones de adaptación muy cambiantes, en los que la evolución por si misma es insuficiente para adaptarse.

4.3.- Modelización de ecosistemas

Sistema ECHO de Holland para modelización de sistemas ecológicos

Estudio de cómo interacciones simples entre agentes simples conducen a fenómenos emergentes de alto nivel (cooperación, compet..)

Consiste en AAGGs ampliados. Existen individuos (agentes) con localizaciones geográficas e interacciones (comercio, lucha, ...)

4.4.- Modelización de sistemas inmunes

Son sistemas adaptativos en los que el aprendizaje tiene lugar por medio de mecanismos evolutivos.

El Sistema Inmune (anticuerpos) es capaz de reconocer cualquier célula extraña al organismo (antígeno). Reconoce las propias y las que el cuerpo genera.

Reconoce 1.000.000 de moléculas distintas.

RECONOCIMIENTO DE PATRONES.

Distribuido por todo el cuerpo, sin un órgano de control.

4.5 Modelización de conductas sociales

Sociedades humanas, colonias de insectos

Modelizar la evolución de las cooperaciones:

- competición,
- simbiosis,
- parasitismo

5. BIOCOMPUTACIÓN

5.1 ¿Qué es?

Intento de explotar ciertas propiedades especiales de moléculas biológicas para la construcción de ordenadores:

⇒ Más pequeños

⇒ Más baratos

⇒ Más rápidos

5.2 ¿Por qué?

Si continúa la tendencia hacia la miniaturización de los chips el tamaño de una puerta lógica de un ordenador será en el año 2030 similar al de una molécula

Pero existen problemas económicos en la fabricación de chips: por cada reducción en un factor de 2 del tamaño, se multiplican por 5 los costes.

Estas son las dimensiones de las magnitudes que se están manejando:

Molécula = 10^{-9} mts. (1 nanometro)

Átomo = 10^{-10} mts. (1 Amstrong)

Transistor = 10^{-6} mts. (1 micra)

Con la biocomputación se podría conseguir un ordenador:

⇒ 50 veces más pequeño

⇒ 1000 veces más rápido

5.3 ¿Cuándo?

1970: *Halobacterium Salinarium*: bacteria con propiedades especiales de respuesta a la luz. Crece en condiciones de baja concentración de oxígeno.

BacterioRodopsina (proteína) en su membrana:

- recibe luz
- se desencadena un cambio estructural
- se transporta un protón por la membrana
- se genera energía para el metabolismo

URSS - Proyecto *RODOPSINA*: Hicieron microfilms - BIOCROMO

Univ. California. R. Birge. *RODOPSINA*: Proteína de la retina de mamíferos que tiene pigmento que:

- absorbe luz (cromóforo)
- desencadena un cambio estructural
- se produce una liberación de energía
- se genera una señal eléctrica (información visual al cerebro)

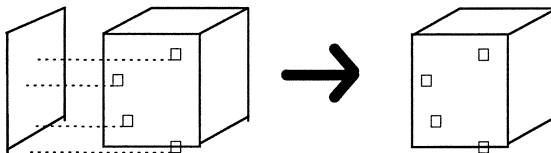
5. 4.- ¿Cómo?

Las moléculas pueden funcionar como interruptores porque sus átomos son móviles y cambian de posición de un modo predecible

Dirigiendo ese movimiento atómico, se generan 2 estados discretos en una molécula (se pueden usar para representar 0 y 1).

La figura 7 muestra como se puede producir la lectura-escritura en estos sistemas.

ESCRITURA



LECTURA

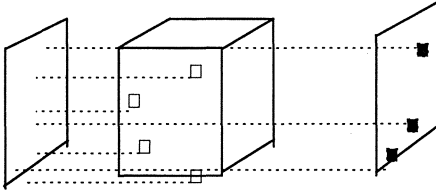


Figura 7.- Lectura-Escritura en Biocomputación.

Utilización mixta de:

- semiconductores,
- moléculas biológicas

Hoy ya existen ejemplos: PANTALLAS DE CRISTAL LIQUIDO DE PORTÁTILES (semiconductor + moléculas orgánicas que controlan la intensidad de las imágenes)

La proteína candidata es la BACTERIORODOPSINA

Se elige la BR frente a la R porque:

- Es más abundante
- Presenta mayor estabilidad (150° F)
- Mejores propiedades ópticas

FOTOCICLO: sucesión de intermediarios por los que pasa la molécula cuando es sometida a iluminación con láser de distintas longitudes de onda

Es necesario fabricar los cubos de proteína en condiciones de baja gravedad para asegurar su homogeneidad. Por ello, se han realizado experimentos en lanzaderas espaciales.

Se están empleando también BR en la construcción de memorias asociativas para IA.

Se estudia el empleo de BR modificadas por Ingeniería Genética. Por ejemplo, cambiando un aminoácido se aumenta la estabilidad de uno de los intermediarios del fotociclo.

5.5 ¿Para qué?

Paralelismo implícito idóneo para almacenamiento de datos tridimensional (1 billón de bits/cm²) frente al 2D de la superficie de los discos magnéticos (100 mill. bits/cm²)

Los procesos de entrada-salida se completan en 10 nanosegundos y la tasa de información es de 10 MB/s por cada página de memoria.

Utilización en:

- Memorias 3D. Almacenes de datos. Terabytes. 10e12. BD
- Procesadores asociativos. Simulaciones científicas complejas
- IA. Computadores neuronales asociativos. Paralelismo. Aprendizaje, análisis de datos e imágenes.

6. NANOTECNOLOGÍA

6.1 Definición

La VA intenta replicar los procesos asociados con la vida natural, pero en nuevos medios, nuevos tamaños o nuevos principios organizativos. Las sugerencias de Feynmann en 1959 para ultraminiaturización y fabricación a escala molecular son interesantes para crear Vida Artificial

Estos son algunos de los términos que se manejan en relación con este área de investigación:

ULTRAMINIATURIZACIÓN

BIOCHIPS

INGENIERÍA MOLECULAR

ORDENADORES CUÁNTICOS

NANOMÁQUINAS

MÁQUINAS MOLECULARES

DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS MOLECULARES

La NT es aplicable a la VA:

- Comenzando con una forma natural, ir reemplazando moléculas hasta rendir una forma artificial
- Desarrollo de sistemas vivos híbridos:
 - » NT - funciones de computación
 - » BIOL. - funciones de síntesis de material
 - » MICROTECH. - Replicación artificial.

Término NANOTECNOLOGÍA: acuñado en 1974 por Taniguchi:

Tecnologías integradas de fabricación que permiten manejar componentes a escala 1 nm.

Definición de Franks:

Tecnologías en las que las dimensiones y tolerancias en el rango de 0.1 a 100 nms juegan un papel crítico

Futura capacidad industrial para especificar y construir productos átomo por átomo, resultando en estructuras atómicamente perfectas de cualquier composición química.

Un producto idóneo para la NT es el diamantoide. Palabra genérica que describe cualquier objeto mecosintético formado por tetraedros de carbono. Rigidez y economía.

Por extensión, la PICOTECNOLOGÍA ($1 \text{ pm} = 10^{-12} \text{ mts}$), trata de la manipulación y modulación de orbitales y enlaces atómicos

6.2.- Microscopio de Efecto Tunel

STM (Scanning Tunneling Microscopy) = MET (Microscopio de Efecto Túnel). Herramienta fundamental para la NT y PT.

MET: Puede representar a nivel atómico las propiedades:

- eléctricas
- estructurales
- dinámicas

- de metales, semiconductores, moléculas biológicas, ...

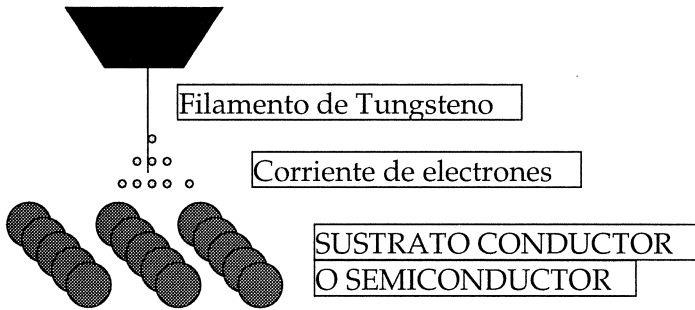


Figura 8.- MET. Inventado en 1981. IBM Zurich. Binnig y Rohrer. Nobel.

El funcionamiento de un MET se representa en la figura 8.

Control feed-back. Distancia constante. Sistema de posicionamiento piezoeléctrico.

El voltaje es proporcional a la distancia entre el filamento y el sustrato.

Se representa el voltaje y resulta una representación gráfica de la superficie del sustrato

Nanolitografía. Workstations para NT.

6. 3 Historia

1959. Richard Feynman. Utilizar máquinas para hacer máquinas más pequeñas que hagan máquinas más pequeñas hasta el nivel atómico.

Máquinas de Feynman. Nanocomputadores y microrobots

1965. Shoulders. Trabajo en laboratorio con plasmas, elasticidad y plasticidad infinita.. Autoreproducción

1972. Ettinger. Nanorobots funcionando como máquinas de reparación celular.

1978. Zingsheim. Ingeniería Molecular. Diseño y construcción artificial de complejos supramacromoléculares.

1979. Laing. Nanorreplcadores artificiales. 3 realizaciones distintas de las ideas teóricas de Von Neumann.

1985. Kuhn. La célula es un microcosmos mecánico. La biología se basa en máquinas moleculares. Máquinas elementales: Enzimas

1986. Conrad, Carter. Nanocomputación molecular. Procesamiento de información en sistemas moleculares.

6.4.- Estaciones de trabajo para Nanotecnología

Propuestas por Schneiker y Hameroff. Combina múltiples MET, microscopios ópticos y guías de fibra óptica. Permiten manipulaciones moleculares (corte, pulido, perforación,...). Se han conseguido alambres de oro de 80 Å.

Ensambladores. Micromáquina con la capacidad de construir cualquier máquina para la que haya sido programado a partir de módulos químicos estándar (motores, componentes estructurales, ...)

Estrategia: Construir un micro-robot auto-reproductor que vaya fabricando copias de si mismo cada vez menores, ...

6.5 Aplicaciones:

- nanorobots cirujanos
- reparación de moléculas
- defensas inmunológicas
- bases de datos ultraminiaturizadas
- programación del DNA de bacterias
- reestructuración de una ameba

Micromotores: Manipulación de sensores ópticos en armas nucleares. Sandia Labs.

Torres orbitales:

- Propuesto por Artsutanov (URSS) 1960

Reservorio en órbita de C,N,H. Nanoconstrucción hacia la Tierra de un elevador que permita enviar personas y carga. (2\$ frente a 5000\$ de las lanzaderas

- Leach. Xerox PARC.
- Manejo de estructuras cristalinas basadas en diamantoides (50 x acero en resistencia/peso)
- Diseño, modelización y fabricación por ordenador a nivel de detalle atómico.

Contempla energías, mecánica, fabricación de tubos, ...