

# La Vida Artificial \*

## *Artificial Life*

Luis Carlos Ospina Romero  
**Laboratorio de Inteligencia artificial**  
**Departamento de Matemática y Computación**  
**Facultad Experimental de Ciencias. Universidad del Zulia**  
**Apartado Postal 526. Maracaibo 4001. Venezuela.**  
**(E-mail: [lospina@@hydra.ciens.luz.ve](mailto:lospina@@hydra.ciens.luz.ve), [lospina@@luz.ve](mailto:lospina@@luz.ve))**

### Resumen

El propósito primordial de este artículo es presentar al lector un conjunto de conceptos e ideas utilizados en la creación de organismos artificiales, ecosistemas y robótica, para lo cual se le remite al estado del arte de los centros de investigación cuyas publicaciones hallarían en INTERNET [65]. A los interesados se les ha provisto de amplias referencias.

**Palabras y frases clave:** vida artificial, muerte artificial, organismo digital, organismo autorreplicante, evolución, espacio atractor.

### Abstract

The main purpose of this paper is to present to the reader a set of concepts and ideas used for the creation of artificial organisms, ecosystems and robotics. The reader is referred to the state of the art at the research centers whose publications will be found in INTERNET [65]. The interested reader is provided with ample references.

**Key words and phrases:** artificial life, artificial death, digital organism, autoreplicant organism, evolution, attractor space.

---

\*Este artículo fue financiado parcialmente por la División de Investigación de la Facultad Experimental de Ciencias de La Universidad del Zulia, a través del proyecto PNC-011-95

## 1 Introducción

La evolución y la complejidad son conceptos utilizados para estudiar el comportamiento de los seres vivos y de los sistemas ecológicos. Pero se ha hecho imperativo aplicar estos predicados a otras formas de vida no tan naturales [29,58,61]. Además, en varios de los artículos se hallarían conceptos para estudiar el comportamiento de la vida artificial (AL o Alife), tales como: madurez, plasticidad, efecto Baldwin, medida de la evolución, desarrollo de estrategias de comportamiento. Es necesario tener la mente abierta en el significado de la palabra *vida*, como también hacer un poco de filosofía teocosmogénica. Los matemáticos poseen los conocimientos formales para incursionar con éxito y hacer grandes aportes en estos tópicos [62,63,64].

La exposición se concentra en la creación de la vida artificial y las herramientas actuales para su modelaje, como son: los algoritmos genéticos, las redes neurales y los sistemas híbridos entre ambos.

La vida terrestre conocida nació en un medio ambiente o sopa constituido básicamente por cadenas de carbono, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno y otros elementos. ¿Pero se podría afirmar que esta sopa química es la única en la cual se desarrollan y reproducen seres vivos?

Lo relevante es crear la vida, bien sea mimetizando la conocida o bien conjeturar y crear un modelo propio inmerso en cualquier sopa.

Vida artificial es la denominación asignada a esta disciplina que estudia la vida natural mimetizando los fenómenos biológicos en el computador u otros medios físico-químicos (¿robots, nanorobots?). Sin embargo, no es necesario restringir el término Alife sólo a la vida computacional.

Alife, antes que aislar organismos para observar su funcionamiento, intenta congregar organismos que se comporten como sistemas vivos.

Alife otorga acceso al dominio de la vida como pudo o debe ser y, en tal dominio, puede fundamentar diversas teorías de la vida, además de desarrollar aplicaciones útiles de la biología sintética a complicados problemas de ingeniería como: tecnología de computadores (hardware y software), robots móviles autónomos, sistemas inmunológicos [3,4,58].

Actualmente, F. Menczer [1] implementó un sistema ecológico complejo, con un comportamiento adaptativo, aplicado por F. Menczer y R. K. Belew [2] en la investigación teórica y en recobrar información en una base de datos distribuida supergrande como WWW (World Wide Web).

Varios grupos o investigadores independientes se han abocado al estudio de diferentes tópicos en Alife.

El grupo Avida [6] utiliza sistemas genéticos adaptativos para describir con sentencias cualitativas y cuantitativas la evolución a partir de un nivel

unicelular.

Los sistemas genéticos adaptativos son sistemas como Avida y Tierra, diseñados para investigar la vida artificial; tienen un sistema autorreplicante con una base genética de Turing y permiten estudiar la adaptación evolutiva de sistemas vivos como : la autoorganización, la autorreplicación y otros parámetros [60].

Maja Mataric [6a] se dedica al estudio del comportamiento coordinado de robots.

El grupo Evolutionary and Adaptive Systems en Cogs [7], tal vez el grupo más grande del mundo (30 Ph.D.'s) trabajando en áreas relacionadas como: conocimiento, neurobiología, filosofía, ciencias de la computación, supercomputación, teoría evolutiva, robots móviles autónomos, redes neurales, algoritmos genéticos.

El Grupo de Algoritmos Genéticos [8] se interesa en sistemas complejos adaptativos, vida artificial, computación emergente y autómatas celulares.

El Grupo Geneura [9] es el creador del ecosistema MbitWorld.

El Grupo Tierra [10] estudia el comportamiento de sistemas ecológicos complejos y los organismos o bichos son paquetes en código de máquina.

Muy probablemente, después de la Universidad de Sussex, el grupo liderizado por Dorigo, Floreano, Cecconi, Lund [11] en la Universidad de Roma sea quien más investiga en comportamiento autoadaptativo autónomo y robótica.

## 2 ¿Como se relacionan la inteligencia artificial (A.I.) y Alife?

La A.I. ha enfocado su atención en las técnicas de Alife para estudiar el aprendizaje autónomo adaptativo entre otras cosas; pero muchas técnicas o algoritmos locales en A.I. son tomados por Alife para implementar organismos o sistemas ecológicos, para hacer emerger comportamientos globales.

Alife se fundamenta en la biología, física, química y matemática; pero la A.I. persigue la creación de algoritmos locales para la solución de problemas de optimización [12].

Aunque se podría argumentar que los algoritmos genéticos, las redes neurales [16,17,18,19,20] y los sistemas híbridos [21,22,23,24,25,26,27] mimetizan la evolución o la actividad cerebral de aprendizaje, en ningún caso se podría argüir que constituyen seres computacionalmente vivos, porque no mueren, ni se reproducen, ni se alimentan y mucho menos se alejan de un predador,

es decir, no son capaces de desarrollar estrategias. Sin embargo, tales estructuras matemáticas [28] pueden ser incorporadas a una red neural acelerando su entrenamiento u optimizando su topología [22,25,27,53,54,55]; pero tal sistema híbrido no constituye un ser vivo hasta que se use como un módulo cerebral de un organismo o en el sistema sensor, o cognoscitivo; a'un así debe satisfacer la caracterización de los seres vivos: la autorreplicación.

### 3 La s'ntesis biol'ogica

Seg'un T. Ray [29]:

*La vida artificial es la empresa de entender la vida, construyendo instancias biol'ogicas a partir de sus componentes, en lugar de escindir las formas naturales en sus componentes.*

Yo dir'ia que la vida artificial es la creaci'on de modelos autorreplicantes, en el m'as amplio sentido, lo cual puede conducir a la pregunta: ¿existir'a vida no autorreplicante?

El espectro de estudios en Alife abarca varios aspectos:

1. El hardware: como rob'otica [32] y nanotecnolog'ia [56].
2. El software : como programas evolutivos autorreplicantes [30,33].
3. El wetware : como organismos autorreplicantes evolucionarios [1,6,10].
4. El estudio del comportamiento emergente de la vida creada.
5. La filosof'ia de Alife (especular es crear teor'ias).

La s'ntesis del software en Alife se puede dividir en Simulaci'on e Instalaci'on de los procesos de la vida. La simulaci'on es posible por la actual disponibilidad de potentes supercomputadores. Un estudio incremental simulado crea una poblaci'on de estructuras de datos, donde cada instancia de una estructura representa a una entidad simple. Estas estructuras contienen variables que definen el estado de un individuo, organismo o del sistema ecol'ogico creado. Para esto se definen las reglas que rigen las interacciones de los individuos entre s'i y con el medio ambiente en el cual est'an inmersos. Cuando la simulaci'on se ejecuta, la poblaci'on (de estas estructuras de datos) interact'ua de acuerdo a las reglas locales; entonces el comportamiento global del sistema emerge. En la instalaci'on los datos en el computador no representan nada. Los patrones de datos en una instalaci'on se consideran como formas de vida por s'i mismas. El objeto de una instalaci'on de Alife es

introducir las formas y procesos naturales de la vida en un medio artificial. Lo cual resulta en inocular una forma de vida diferente a las formas orgánicas de la vida conocida en un medio ambiente físico-químico conocido.

Más aún, se puede introducir el proceso evolutivo por selección natural en un medio computacional, considerando a la evolución como el generador fundamental de la vida y de la diversidad de formas vivientes.

En este punto sería interesante preguntarse: ¿Qué es la evolución? , ¿Qué es la selección natural?, ¿Qué es la conciencia en Alife?

#### 4 ¿Cuándo se está vivo?

Es suficiente que su modelo se autorreplique para considerarlo vivo. Tal vez sea posible hacer una gran lista de especificaciones, y si al menos una se satisface por algún individuo, entonces esa instancia está viva. Por ejemplo: autorreplicación, evolución, congregación, conciencia. Más importante que crear la vida es la posibilidad de crear verdaderas instancias incorpóreas con un conjunto de ciertas propiedades.

Al aislar las propiedades de la vida de las complejidades de los sistemas naturales vivos es fácil manipular y estudiar las propiedades emergentes de interés, emitiendo sentencias cualitativas y cuantitativas sobre su comportamiento. Más aún, considero que en algún sentido semántico los orígenes de la vida se remontan a interacciones moleculares y cuánticas [34,34a,34b]; estas interacciones generan la evolución y la evolución genera la vida.

¿Existiría algo a nivel cuántico que obliga a autoorganizarse a la materia a medida que el Universo se enfría, creando primero partículas, luego átomos, posteriormente moléculas, luego las moléculas se asocian en cadenas y las cadenas en organismos vivos, y por último nace en los organismos la conciencia de su propia existencia?, ¿y en el universo qué podemos considerar como materia? ¡Tal vez existan campos gravitacionales vivos!

#### 5 ¿Qué es la evolución natural?

Se podría definir la evolución como el proceso que se desarrolla en un medio físico y luego de reiteradas réplicas de los individuos, por medio de la selección natural, inmersos en un medio exploran cualquier propiedad inherente autoorganizativa del medio que los obliga a modificar su estructura corpórea.

El medio actúa como un atractor natural autoorganizativo, es decir obliga a los pobladores a desarrollar características esenciales para sobrevivir en la

inmersi'ón de patrones que yacen en el medio, a'un cuando los organismos provengan de un individuo com'un hace 1000 generaciones.

Tales atractores obligan a la diversidad en las especies de los individuos en un medio ambiente. Por ejemplo: el aire, el agua, la oscuridad, el sonido y la luz son atractores naturales; ¿porqu'e no el campo gravitacional, las ondas electromagn'eticas?, ¿que caracter'isticas tendr'an seres que vivan en campos gravitacionales o electromagn'eticos?, ¿tal vez tel'epatas?

¿La evolucion es tanto una caracter'istica como el proceso creador de la vida? Es muy probable que la evolucion no exista como un proceso coordinador de estados de transici'ón de la materia conocida (tangibile o no), tal vez sea un absurdo probabil'istico del Universo el ver un orden dentro del caos del Big Bang.

La evolucion es un estado autoorganizativo, autoperpetuante, autocatal'itico, que incrementa su complejidad en cada iteraci'ón. Los trabajos recientes en Alife han demostrado que el proceso evolutivo natural puede emerger eficientemente en otros medios, como el medio informacional de las computadoras digitales [35,36,37,38,39,40,41,42,43,44], la vida digital existe en el Universo informacional.

## **6 El medio computacional y el lenguaje gen'etico**

El medio computacional de los organismos digitales (O.D.) es el Universo de la l'ogica booleana. Los organismos digitales viven en la memoria del computador y son alimentados por la actividad del CPU.

Los O.D. deben ser capaces de tomar la misma forma en cualquier hardware, es decir ser portables a trav'es del hardware.

Los O.D. est'an sometidos a las reglas f'isicas y qu'imicas que gobiernan las manipulaciones de bits y bytes en la memoria y el CPU del computador. Los O.D. detectan las reglas y la l'ogica del CPU y del sistema operativo que influyen en su comportamiento.

Una instalaci'ón t'ipica implica la introducci'ón de un programa autorreplicante en lenguaje de m'quina en la memoria RAM, sujeto a errores aleatorios, como el cambio de un bit o errores de c'alculo [36,37,39,53]. El uso del c'odigo de m'quina como un lenguaje gen'etico hace surgir el problema de la fragilidad. Los cient'ificos en computaci'ón conjeturan que los programas en lenguaje de m'quina no pueden evolucionar a causa de alteraciones gen'eticas aleatorias de alg'un bit, produciendo programas inviiables (in'utiles); el principal problema de Alife es solucionar esta fragilidad y hacer los patrones autorreplicantes m'as robustos (inertes a fluctuaciones), de tal

manera que evolucionen hacia estados m'as complejos.

## 7 La muerte artificial y las redes neurales

La muerte juega un rol importante en cualquier sistema que exhiba un proceso evolutivo. La evoluci'on implica una iterada selecci'on, implicando una muerte diferencial (la selecci'on no implica la muerte de los progenitores, pero es algo conveniente debido a la escasa memoria en la simulaci'on de los O.D. o sistemas ecol'ogicos).

En la vida natural se muere por accidentes, predaci'on, inanici'on, hambre, enfermedades, y en 'ultima instancia la senilidad. En Alife los procesos nacen cuando los inicia el usuario en el computador y mueren cuando ejecutan su cometido. Pero un proceso cuyo objetivo es autorreplicarse a s'i mismo, es intr'insecamente un ciclo sin fin y no deber'ia terminar espont'aneamente.

¿En los O.D. cu'ales son los an'alogos de predaci'on, inanici'on, hambre, senilidad, suicidio?

En Alife la muerte no ocurre espont'aneamente, debe ser introducida artificialmente por el dise'ador [40,42,46,47,57].

En el sistema Tierra la muerte es administrada por una podadora raptor (raptor = asesino, no aparece en el diccionario ingl'es o espa'ol). El raptor utiliza una cola. Cuando los organismos digitales son creados se encolan. Cuando la memoria est'a llena, entonces el raptor libera memoria asesinando al primero de la cola para permitir el acceso a nuevos O.D.

Uno de los grandes desaf'ios en el campo de las ciencias de la computaci'on es el de producir sistemas u organismos inteligentes, en cualquier sentido sem'antico, como el sistema de gu'ia de un robot, cuya motilidad sea aut'onoma en un ambiente complejo [31,32]; o capaces de buscar, reconocer y manipular objetos, o de comunicarse con los seres humanos en lenguaje natural [48,49].

Se ha observado que sistemas naturales con esta capacidad de inteligencia est'an controlados por sistemas nerviosos interconectados por axones y dendritas. Para simular esta analog'ia de la naturaleza se ha hecho un arduo trabajo, iniciado por Minsky y Rumelhart [16] quienes simularon las redes neurales o neuronales por medio de grafos dirigidos, que definen la topolog'ia de la red. Los v'ertices simulan las neuronas y las aristas las conexiones entre neuronas. El grafo dirigido determina c'omo fluye la informaci'on en la red. A las aristas se les asignan pesos que refuerzan o inhiben las conexiones entre neuronas; pero a esta estructura o grafo debe adicionarse un algoritmo de entrenamiento que modifique los pesos, seg'un los patrones de entrada y de

salida que se deseen.

Las neuronas orgánicas son dispositivos analógicos, de tal manera que cuando se simulan las redes neuronales en un computador lo que se hace es emular tales dispositivos digitalmente; pero esta simulación es ineficiente, por lo cual se han implementado las redes neuronales directamente con circuitos analógicos (en firmware) [51,52]. Bien sea que se implementen la redes neurales con circuitos analógicos o digitales no dejan de ser mimetismos de sistemas nerviosos orgánicos. Sin embargo, las redes neurales biológicas representan la solución evolucionaria de la naturaleza, basadas en la físico-química conocida, a los problemas de control.

## 8 Unicelularidad y multicelularidad

Similar a la membrana que encapsula a un individuo orgánico preservando su integridad química, es necesario preservar la integridad de las estructuras informacionales digitales, para evitar que sean destruidos por otros organismos. Esto se hace definiendo o acotando a un O.D. unicelular a un bloque de memoria, de tal manera que a los procesos dentro de ese bloque no tengan acceso otros procesos u organismos, a lo sumo el acceso será limitado. Los procesos excluyentes físicamente en bloques de memoria no comunes utilizan la regla de permeabilidad: “los O.D. pueden leer o ejecutar en bloques de memoria ajenos, pero no escribir”.

Desde una perspectiva evolucionaria, una característica de los organismos multicelulares es su unidad genética, es decir, todas las células de un individuo contienen el mismo material genético, ya que tienen un mismo origen común, a un cuando haya leves diferencias debido a mutaciones. La unidad genética a partir de un origen común y la diferenciación o especialización son cualidades críticas de la multicelularidad que se pueden inocular en otros medios como el computacional.

Los organismos complejos son algoritmos autorreplicantes conformados por diferentes procesos, dedicados a tareas específicas como: localizar memoria libre, aparear recursos, buscar recursos, defenderse, replicar código, aprender de las generaciones anteriores. Estos procesos deben ser coordinados, controlados, y deben ser distribuidos entre diferentes células especializadas para funciones específicas, pero ¿cómo la célula madre influye para forzar a su descendencia a especializarse en funciones específicas (lo cual significa autoorganizar parte de su descendencia para resolver un problema en particular y a un conservar la unidad genética)?

Ahora bien, ¿cómo definir la unidad genética entre dos cadenas de cro-

mosomas, o una poblaci' on de cromosomas?, ¿acaso utilizando la m'etrica de Hamming? Qui'enes han resuelto alg'un problema de optimizaci' on utilizando un paquete como el UCSD obtienen al final una poblaci' on de cromosomas que resuelven el problema; estos cromosomas son diferentes entre s' i, pero ¿acaso tienen la misma unidad gen'etica, ya que han resuelto un mismo problema?

## 9 Agradecimientos

El autor agradece al profesor Gustavo Oquendo, del Instituto de C' alculo Aplicado de la Facultad de Ingenier'ia de LUZ, por su oportuna ayuda en el uso de las herramientas del sistema UNIX e Internet.

## 10 Referencias

- [1] Menczer, F., Belew, R. K. *Latent Energy Environments*, 1993.  
<http://www-cse.ucsd.edu/users/fil>
- [2] Menczer, F., Belew, R. K. *Artificial Life Applied to Adaptive Informational Agents*, Cognitive Computer Science Research Group, 1994.
- [3] Zimmer, U. *Self-Localization in Dinamic Environments*, 1995.  
[ftp.uni-kl.de/reports\\_uni\\_kl/computer\\_science/mobile\\_robots/1995/papers/Zimmer.Self-Loc.ps.gz](ftp.uni-kl.de/reports_uni_kl/computer_science/mobile_robots/1995/papers/Zimmer.Self-Loc.ps.gz)
- [4] Cliff, D., Harvey, I., Husband, P. *Incremental Evolution Neural Networks Architectures for Adaptive Behavior*, Cognitive Science Research. The University of Sussex, 1993.  
<ftp@@cogs.susx.ac.uk/pub/reports/csrp256.ps.Z>
- [5] Alife-Lab coordinado por F.Menczer, [fil@@cs.ucsd.edu](mailto:fil@@cs.ucsd.edu)
- [6] The Avida Group, California Intitute of Technology, Pasadena, California.  
<http://www.krl.caltech.edu/avida/>
- [6a] Brandeis University, Massachusetts.  
<http://www.ai.mit.edu/people/maja/maja.html>
- [7] <http://www.cogs.susx.ac.uk/lab/adapt/>
- [8] <http://www.engin.umich.edu/~streak/garg.html>

- [9] <http://kal-el.ugr.es/geneura.html>
- [10] <ftp://alife.santafe.edu/SOFTWARE/Tierra/tierra.tar.Z> [192.12.12.130]
- [11] <ftp://kant.irmkant.rm.cnr.it/pub/econets>
- [12] <ftp://ftp.cs.cmu.edu/user/ai>
- [13] Beasley, D. *An overview of Genetic Algorithms (Parts 1,2)*, Department of Computing Mathematics, University of Wales, 1993.
- [14] Whitley, D. *A Genetic Algorithm Tutorial*, Department of Computing Science. Technical report cs-93-103, 1993.

Mucho material sobre algoritmos genéticos se podrá hallar en el <ftp://lumpi.informatik.uni-dortmund.de>, también en el <ftp://ftp.epcc.ed.ac.uk> (GA's, robótica, supercomputación), en el <ftp://crystal.cam.ac.uk> (procesamiento en multiprocesadores, transputers, supercomputación gráfica, máquinas SIMD y MIMD, programación de autómatas celulares). Para los novatos en el uso de los recursos en INTERNET se les aconseja obtener los archivos denominados FAQ's (Frequently Asked Questions) de tópicos de su interés, los cuales están actualizados con el estado del arte, recursos, direcciones donde obtener a un más información y listas o grupos interesados en temas específicos. A estas listas se podrán suscribir y continuar recibiendo periódicamente información. Por ejemplo, en <ftp://rtfm.mit.edu> podrán obtener las FAQ's de [comp.ai.genetic](ftp://comp.ai.genetic), [comp.theory.cell-automata](ftp://comp.theory.cell-automata) y [alt.mimetics](ftp://alt.mimetics).

En <ftp://nic.funet.fi/pub/sci/neural> hallarán información sobre redes neurales, programas, autómatas celulares. En <ftp://adap-org@@xyz.lanl.gov> obtendrán información sobre 'machine learning' y 'self-organizing systems' al más alto nivel (allí también existe una inmensa biblioteca de artículos matemáticos de cualquier tópico a nivel doctoral y posdoctoral).

- [15] Filho, J. R., Allipi, C., Treleaver, P. *Genetic Algorithm Programming Environments*, University College of London, 1993.
- [16] Rumelhart, D., McClelland, J. *Explorations in Parallel Distributed Processing*, MIT Press, 1988.
- [17] Freeman, J. A., Skapura, D. M. *Redes Neuronales*, Addison-Wesley, Reading, 1993.
- [18] Ritter, H., Martinez, T., Schuler, K. *Neural Computation and Self-Organizing Maps*, Addison-Wesley, Reading, 1993.

- [19] Wasserman, P. D. *Neural Computing*, Van Nostrand Reinhold, 1989.
- [20] Lippman, R. P. *An Introduction to Computing with Neural Networks*, IEEE ASSP Magazine, april 1987.
- [21] Mandischer, M. *Representation and Evolution of Neural NetWorks*, (ver [13,14]) 1994.
- [22] Kuşçu, İ., Thornton, C. *Design of Artificial Neural NetWorks Using Genetic Algorithms*, University of Sussex, 1994.  
E-mail: ibrahim@@cogs.susx.ac.uk
- [23] Fullmer, B., Mikkulainen, R. *Using Marker-Based Genetic Encoding of Neural Networks to Evolve Finite State Behavior*, The University of Texas at Austin, 1994.  
ftp en [128.83.217.13].
- [24] Branke, J. *Evolutionary Algorithms for Neural Networks Design and Training*, University of Karlsruhe, Germany, 1995.  
E-mail: branke@@aifb.uni-karlsruhe.de
- [25] Salustowicz, R. *A Genetic Algorithm for the Topological Optimization of Neural Networks* (Master Thesis), Technische Universitat, Berlin, Alemania, 1995.  
ftp.cs.tu-berlin.de/pub/doc/neuroprose [130.149.26.7]
- [26] Boers, E. J., Kuipen, H. *Biological Metaphors and Design of Modular Artificial Neural Networks* (Master Thesis), 1995. Hacer ftp a [25].
- [27] Grau, F. *Neural Networks Synthesis Using Cellular Encoding and the Genetic Algorithms* (Ph.D. Thesis). Hacer ftp a:  
[140.77.1.11] /pub/Rapports/PhD/PhD94-01-E.ps.Z
- [28] Bäck, T. *Optimization by Means of Genetic Algorithms*, University of Dortmund, 1993.  
E-mail: back@@lumpi.informatik.uni-dortmund.de
- [29] Ray, T. S. *An Evolutionary Approach to Synthetic Biology, Zen and the Art of Creating Life*, ATR Human Information Processing Research Laboratories, Jap'on, 1993.  
E-mail: ray@@udel.edu

- [30] Rosca, J. P., Ballard, D. H. *Genetic Programming with Adaptive Representations*, The University of Rochester, Computer Science Department, 1994.  
E-mail: rosca@@cs.rochester.edu
- [31] Nolfi, S., Floreano, D., Miglino, O., Mondada, F. *How to Evolve Autonomous Robots: Differential Approaches in Evolutionary Robotics*, Institute of Psychology CNR, Roma, 1994.  
ftp kant.irmkant.rm.cnr.it/pub/econets
- [32] Nolfi, S., Parisi, D. *Evolving Non-Trivial Behaviors on Real Robots: An Autonomous Robot That Pick Up Objects*, 1994. ftp a [31].
- [33] Koza, J., The University of Texas.  
ftp [128.83.217.13] en /pub/genetic/programming
- [34] Paper perdido debido a un rm \*, su posible ubicaci' on es:  
<http://www.seas.upenn.edu/~ale/cplxsys.html>, o bien:  
<http://ccat.seas.upenn.edu/mengwony/cplxsys.html>
- [34a] *Computadores Cu' anticos, Memorias Prote' inicas, Almacenamiento Hologr' afico*, Byte, abril 1996. Un art' iculo de divulgaci' on que permite la especulaci' on sobre la vida a nivel cu' antico.
- [34b] Schrödinger, E. *Qu' e es la vida*, Cuadernos Infimos 107, Tusquets Editores, 1988. Fundamenta la autoorganizaci' on de la materia para generar la vida, por medio de la entrop' ia.
- [35] Adami, Ch. *Learning and Complexity in Genetic Auto-Adaptative Systems, Self-Organized Critically in Living Systems*, 1993. Ubicables en:  
ftp.krl.caltech.edu/pub/avida/\*.ps.gz
- [36] Barto-Davis, P. *Independent Implementation of Tierra system*  
E-mail: paul@@cs.washington.edu
- [37] Brooks, R. *Sierra on the Tierra Like Systems*  
E-mail: brooks@@ai.mit.edu
- [38] Davidge, R. *Processors as Organisms*, Technical Report CSR-250,1992.  
E-mail: robertd@@cogs.susx.ac.uk
- [39] De Groot, M. *Primordial Soup, a Tierra-Like System, Spawn Organisms From a Sterile Soup*.  
E-mail: marc@@remarke.berkeley.edu

- [40] Gray, J. *Natural Selection of Computer Programs*  
E-mail: Gray.James.L+@@northport.va.gov
- [41] Kampis, G. *Coevolution in the Computer*, 1993.  
E-mail: gk@@cfnext.physchem.chemie.uni-tuebingen.de
- [42] Litherland, J. *Open-Ended Evolution in a Computerized Ecosystem*, Master Thesis, Brunel University, 1993.  
E-mail: david.martland@@brunel.ac.uk
- [43] Maley, C. C. *A Model Early Evolution in Two Dimensions*, Master Thesis. Oxford University, 1993.  
E-mail: cmaley@@oxford.ac.uk
- [44] Tackett, W. *Adaptation of Self-Replicating Digital Organisms*, 1993.  
E-mail: tackett@@ipid01.hac.com, tackett@@priam.usc.edu
- [45] Darwin, Ch. *El Origen de las especies*, Ed. Petronio, 1974 (originalmente publicado por John Murray, Londres, 1859).
- [46] Todd, P. M. *Artificial Death*, Universit'e Libre de Bruxelles, 1993.  
E-mail: ptodd@@spo.rowland.org
- [47] Skipper, J. *The Computer Zoo — Evolution in a Box*, 1992.  
E-mail: Jacob.Skipper@@copenhagen.ncr.com
- [48] Granadillo, A., Cordinador del Proyecto *MILENA (Manejador Inteligente del Lenguaje Natural)*, Facultad Exp. de Ciencias, Universidad del Zulia, 1995.  
E-mail: agranadi@@hydra.ciens.luz.ve.  
Los interesados en el procesamiento del lenguaje natural hallar'an m'as informaci'on en:  
ftp.dice.ucl.ac.de /pub/neural-nets/NPL  
http://www.dice.ucl.ac.de/neural-nets/NPL/NPL.html
- [49] Carrasquero, H. *Analizador de Concordancias en Oraciones de la Lengua Espa'ola*, 1995 (Ver [48]).
- [50] Minsky, M., Papert, S. *Perceptrons*, Cambridge, MIT Press, 1969.
- [51] Graf, H. P., Jackel, L. D., Denken, J. S. AT&T Bell Laboratories. *Neural Networks for Pattern Recognition Applications* (P. Antonetti, P. Milutinovic, editors), Prentice Hall, 1991.

- [52] Caviglia, D. D., Valle, M., Bisio, G. M. Department of Biophysical and Electronic Engineering, University of Genoa (P. Antonetti, V. Milutinovic editors) Prentice Hall, 1991.
- [53] Alander, J. T. *An Indexed Bibliography of Neural Networks and Genetic Algorithms (1985–1995)*, 1995.  
<http://www.uwasa.fi/~jal>
- [54] Honovar, V. *Evolutionary Design of Neural Architectures*, 1994.  
E-mail: honovar@@cs.iastate.edu
- [55] Yao, X. *A Review of Evolutionary Neural Networks*, 1994.  
<ftp.cs.tu-berlin.de/pub/doc/neuroprose>
- [56] <http://www.arc.ab.ca/morgan/Nano.html>
- [57] Gardner, M. *Rueda, Vida y otras diversiones matemáticas*, Labor, Barcelona, 1985.
- [58] Mitchell, M., Forrest, S. *Genetic Algorithms and Artificial Life*, 1993.  
E-mail: mm@@santafe.edu, forrest@@cs.unm.edu
- [59] Marti. L. *Genetically Generated Neural Networks*, Boston University, 1992.  
E-mail: imarti@@cns.bu.edu
- [60] Adami, C., Brown, C. T., Haggerty, M. *Abundance-Distributions in Artificial Life And Stochastic Models*, California Institute of Technology, 1994.  
E-mail ver [35].
- [61] <http://ai.iit.nrc.ca/baldwin/bibliography.html>
- [62] Radcliffe, N. *The Algebra of Genetic Algorithms*  
E-mail: njr@@epcc.ed.ac.uk
- [63] Radcliffe, N. *Equivalence Class Analysis of Genetic Algorithms*, 1993.
- [64] Pearson, J. K., Bisset, D. L. *Clifford Networks — an Introduction*, 1994.  
E-mail: jkp@@ukc.ac.uk

- [65] La m'as importante de todas las gu'ias: *The Hitch-Hiker's Guide to Evolutionary Computation*. Una lista de Frequently Asked Questions (FAQ), disponible v'ia FTP anonymous en:

[rtfm.mit.edu:/pub/usenet.news-answers/ai-faq/genetic/hhgtec.ps.gz](ftp://rtfm.mit.edu/pub/usenet/news-answers/ai-faq/genetic/hhgtec.ps.gz)

Esta gu'ia responder'a miles de importantes preguntas y lo orientar'a en la b'usqueda de art'iculos, reportes t'ecnicos, conferencias mundiales, grupos y listas de inter'es, adem'as de software gratis del m'as alto nivel.