

## Emergencia de la vida artificial basada en premisas biológicas

Mercado Herrera, Rafael; Muñoz Jiménez, Vianney; Ramos Corchado, Marco Antonio

Veröffentlichungsversion / Published Version  
Zeitschriftenartikel / journal article

### Empfohlene Zitierung / Suggested Citation:

Mercado Herrera, R., Muñoz Jiménez, V., & Ramos Corchado, M. A. (2023). Emergencia de la vida artificial basada en premisas biológicas. *CIENCIA ergo-sum : revista científica multidisciplinaria de la Universidad Autónoma del Estado de México*, 30(1). <https://doi.org/10.30878/ces.v30n1a9>

### Nutzungsbedingungen:

Dieser Text wird unter einer CC BY-NC-ND Lizenz (Namensnennung-Nicht-kommerziell-Keine Bearbeitung) zur Verfügung gestellt. Nähere Auskünfte zu den CC-Lizenzen finden Sie hier:  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.de>

### Terms of use:

This document is made available under a CC BY-NC-ND Licence (Attribution-Non Commercial-NoDerivatives). For more information see:  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>



## Emergencia de la vida artificial basada en premisas biológicas

---

Mercado Herrera, Rafael; Muñoz Jiménez, Vianney; Ramos Corchado, Marco Antonio  
Emergencia de la vida artificial basada en premisas biológicas  
CIENCIA *ergo-sum*, vol. 30, núm. 1, marzo-junio 2023 | e191  
Espacio del Divulgador

Universidad Autónoma del Estado de México, México

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.



Mercado Herrera, R., Muñoz Jiménez, V. y Ramos Corchado, M. A. (2023). Emergencia de la vida artificial basada en premisas biológicas. *CIENCIA ergo-sum*, 30(1). <http://doi.org/10.30878/ces.v30n1a9>

# Emergencia de la vida artificial basada en premisas biológicas

## Emergence of artificial life based on biological premises

Rafael Mercado Herrera\*

Universidad Autónoma del Estado de México, México

rmercadoh098@alumno.uaemex.mx

<http://orcid.org/0000-0002-2135-5973>

Vianney Muñoz Jiménez

Universidad Autónoma del Estado de México, México

vmunozj@uaemex.mx

<http://orcid.org/0000-0003-2180-6743>

Marco Antonio Ramos Corchado

Universidad Autónoma del Estado de México, México

marco.corchado@gmail.com

<http://orcid.org/0000-0003-3982-6988>

Recepción: 18 de enero de 2021

Aprobación: 10 de septiembre de 2021

### RESUMEN

Se presenta de manera general el área de la vida artificial. Inicialmente, se delimitan los fundamentos teóricos que definen a una criatura virtual, se continúa con los avances que ha observado el área, desde la morfología hasta el comportamiento de las criaturas, y al final se presenta un análisis prospectivo de sus aplicaciones para mejorar la calidad de vida de los humanos. Al respecto, la inteligencia artificial nace en 1956 gracias al matemático John McCarthy y otros investigadores como Marvin Minsky. Este concepto se define como la ciencia e ingeniería de “hacer máquinas inteligentes.” Otro término fundamental es la *vida artificial*, organismos que portan esta inteligencia. En la actualidad ambas áreas se complementan y describen una nueva clase de organismos artificiales llamados *criaturas virtuales*.

**PALABRAS CLAVE:** criaturas virtuales, evolución morfogenética, L-systems.

### ABSTRACT

This paper presents a general overview of the field of artificial life. Initially, we outline the fundamental theory that defines a virtual creature, we expand this with advancements present in the field, from the creatures' morphology to their behavior. Finally, we provide a prospective analysis of their application to improve the quality of life of humans. The term “artificial intelligence” was coined back in 1956 by mathematician John McCarthy and other researchers such as Marvin Minsky. This concept defined the science and engineering of “making intelligent machines.” Its sibling term, *artificial life*, is equally fundamental, and relates to the organisms using this intelligence. Currently, both fields complement each other and describe a new class of artificial organisms called *virtual creatures*.

**KEYWORDS:** virtual creatures, morphogenetic evolution, L-systems.

### INTRODUCCIÓN

A lo largo de nuestra historia como especie hemos sido conscientes de las diferencias entre seres vivos, tanto en comportamiento como en forma; inicialmente, con el fin de garantizar nuestra supervivencia, identificando posibles depredadores y presas, y, eventualmente, para satisfacer nuestra curiosidad sobre nuestro entorno. Con nuestro desarrollo, nos hemos convertido en el ápice de este planeta y nuestro interés se ha tornado en curiosidad por comprender el funcionamiento de nuestro cuerpo y el de otros seres vivos. La biología, área de la ciencia que busca explicar la vida, en uno de sus preceptos menciona que la vida es la evolución que permite a los seres vivos

---

#### AUTOR PARA CORRESPONDENCIA

rmercadoh098@alumno.uaemex.mx

adquirir estructuras que los ayuden a sobrevivir en el entorno (Fowler *et al.*, 2013). Estas estructuras las conocemos como *morfología*, las cuales se modifican conforme van evolucionando.

El estudio de la morfología en el mundo natural presenta ciertos límites, como el hecho de contar con información preestablecida, pero también estudiar criaturas actuales y, gracias a la paleontología, a sus ancestros; esta vista hacia el pasado da la posibilidad de describir la evolución que tuvo lugar, pero no tener un rol activo para su estudio en un ambiente controlado (salvo estudios en criaturas con una evolución acelerada, como es el caso de microorganismos) (Yoshida *et al.*, 2007).

Una forma de rebasar este límite es por medio de la vida artificial, que es la síntesis de los elementos encontrados en la naturaleza. La vida artificial usa las ciencias de computación para realizar cálculos a gran escala y para generar una simulación que ayude a observar los cambios y adaptación de organismos, la cual contribuye a hacer estudios y experimentos con mayor soltura y sin estar atados a un único ecosistema, que es el de la Tierra (Ray, 1993).

Entender la vida, tal como la conocemos y percibimos, nos permite como seres humanos construir o completar partes faltantes en una estructura morfológica que haya sufrido algún daño. El uso de nuevos materiales que no sean biológicos y que puedan coexistir entre ellos será de gran ayuda para encontrar soluciones a condiciones en las que se hayan alterado o perdido características iniciales.

## 1. ANTECEDENTES

Para comprender el estudio de la vida artificial es necesario ser consciente de algunos conceptos. El primer concepto es el entorno donde se llevará a cabo el estudio y contendrá al otro concepto que son las criaturas virtuales en forma. En este caso, se trata del llamado *entorno virtual*, que es una colección de objetos en un espacio y las reglas de interacción entre ellos (Sherman y Craig, 2018). Como ahora tenemos mayor control sobre el entorno, podemos determinar sus características. Por ejemplo, en la figura 1 se visualizan dos tipos: uno discreto (con un número fijo de estados) y otro continuo (más apegado a lo que encontramos en la naturaleza).

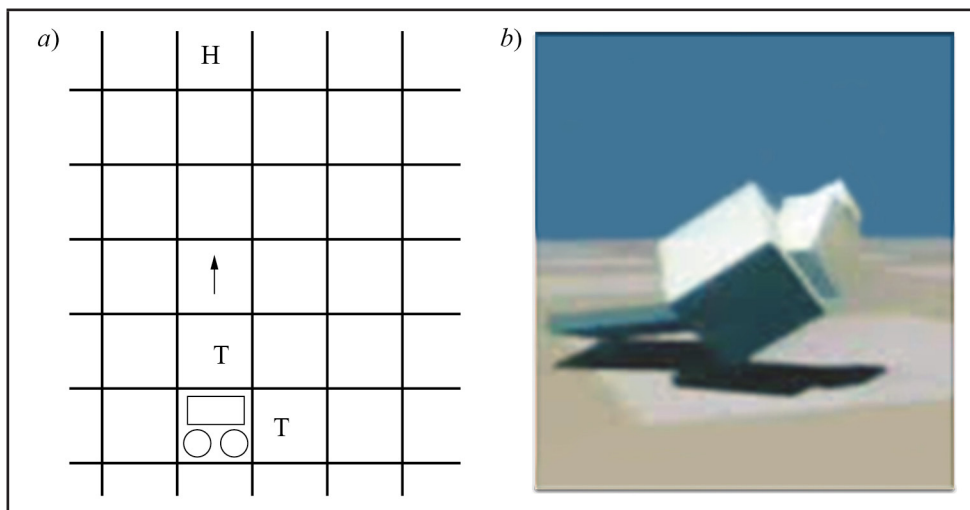


FIGURA 1

### Ejemplos de entornos virtuales

Fuente: *a*) Wooldridge (2009); *b*) Sims (1994).

Nota: ejemplo de entornos virtuales: *a*) bidimensionales y *b*) tridimensionales con simulación física.

Dentro del entorno se permite la evolución de nuestros seres vivos. En términos formales, en ciencias computacionales se denominan *agentes*, que son sistemas computacionales capaces de acción autónoma y de interacción con otros agentes (Wooldridge, 2009). Esta definición es demasiado general para los estudios de vida artificial, por

lo que usaremos una más específica: *criatura virtual*, un agente capaz de evolucionar tanto en morfología como en comportamiento por medio de estrategias modeladas de acuerdo con la evolución de las especies observadas en el mundo natural, lo que es una disciplina llamada *cómputo evolutivo*.

Algunos de los elementos relevantes que se deben considerar de esta definición de criatura virtual son *a*) la mención explícita de su morfología, *b*) el comportamiento y *c*) su evolución. Tomando prestado el término (Marfenin y Kosevich, 2004), denominaremos a este proceso *evolución morfogenética*. Tras comprender estos tres elementos sobre las criaturas virtuales, estaremos en condiciones de comprender la literatura actual sobre el tema de vida artificial.

El primer elemento, la morfología, es importante en el área de fisiología para comprender el funcionamiento de un ser vivo, mientras que para la vida artificial implica la forma que tendrá la criatura virtual. Para sintetizar una morfología, se requiere de una técnica de modelado; gracias al botanista Aristid Lindenmayer (Prusinkiewicz y Lindenmayer, 2012) contamos con dicha técnica. Lindenmayer desarrolló los *L-systems* para describir de manera formal el desarrollo de organismos multicelulares y, más adelante, la estructura ramificada de plantas más complejas. En la figura 2 se presenta un ejemplo de la implementación de un *L-system*. Los datos que usa son *n* el número de producciones,  $\delta$  el ángulo de inclinación de las nuevas ramas, *F* el axioma, la palabra inicial y la línea final es la producción, la regla que indica por quienes se remplazará lo que aparece a la izquierda.

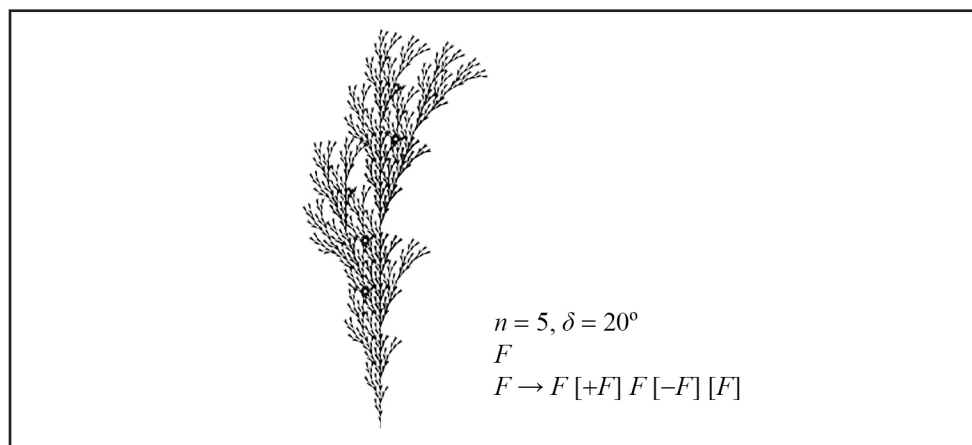


FIGURA 2  
Ejemplo del árbol resultante de un *L-system*

Fuente: Prusinkiewicz y Lindenmayer (2012).

El proceso de generación del árbol comienza con una cadena que contiene sólo la letra *F* y una cuenta  $t = 0$  que usa para aplicar los siguientes pasos:

- a*) Cada letra de la cadena es reemplazada de acuerdo con la lista de reglas; por ejemplo, la primera iteración convierte *F* en  $F[+F]F[-F][F]$ .
- b*) Se eleva la cuenta  $t = t + 1$ .
- c*) Se repiten estos pasos hasta que  $t = n$ .

Ya que se tiene la cadena final con letras, corchetes y signos, se procede a la graficación:

- a*) Cada letra indica que se grafica un segmento de rama.
- b*) Los signos + indican un giro de  $\delta$  grados a la izquierda y los signos - a la derecha.
- c*) Todo lo que se encuentra dentro de un par de corchetes ( $[ ]$ ) se identifica como una nueva rama.

Al graficar de acuerdo con estas instrucciones, se obtienen árboles como en el ejemplo de la figura 2.

Estos sistemas nos otorgan una manera compacta de modelar la morfología de una criatura virtual, por lo que el siguiente punto es extender estas morfologías con un control motor. Para lidiar con esta tarea, se estudia el trabajo seminal de Karl Sims (1994).

En la figura 3 se muestra su aplicación para la morfología y el control de una criatura virtual.

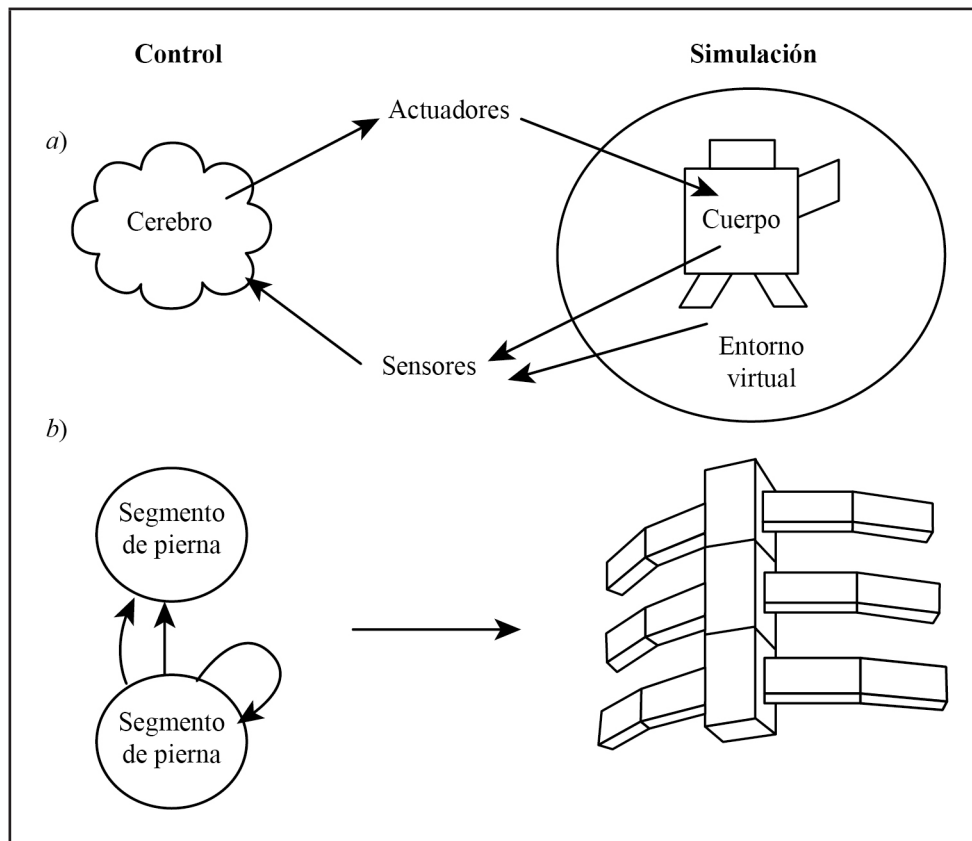


FIGURA 3

### Representación de una criatura virtual

Fuente: Sims (1994).

Nota: a) Representación de la morfología; b) Representación de interacción con el entorno.

El modelado está presente en la figura 3 de la morfología como un conjunto de segmentos conectados por enlaces. Dentro de cada segmento hay parámetros que indican su posición, dimensiones, tipo de movimiento, sensores y número de veces que se repite el segmento. Dentro de esta red se anida el control motor de la criatura y los sensores con los que cuenta.

La generación de estas criaturas virtuales se puede realizar de manera aleatoria para después comenzar la evolución, que es el tercer elemento mencionado de las criaturas virtuales. Se introduce una población de estas criaturas virtuales al entorno virtual y se mide su rendimiento en cuanto a un objetivo (en general, el primero sería que ellas sean capaces de moverse dentro del entorno) y se seleccionan individuos para reproducción y así dar origen a una nueva población. En la reproducción se toman sus representaciones expuestas y se cruzan –intercambiando partes de las redes de los padres para formar las redes de sus hijos– en forma análoga a la reproducción que tiene lugar en el mundo natural. En el área de investigación de criaturas virtuales se le llama *genotipo* a la red que representa a una criatura virtual y *fenotipo* a la morfología resultante de interpretar esta red.

## 2. EXPOSICIÓN

Con estos conocimientos básicos sobre la vida artificial y la evolución morfogenética de criaturas virtuales podemos comenzar a ver los aportes recientes que se han hecho a distintas disciplinas por medio de principios de vida artificial.

Cabe destacar que el sistema de Sims (1994) tiene suficiente aplicabilidad para seguir siendo la base de muchos acercamientos que emplean criaturas virtuales, con mejoras aplicadas a la morfología o al comportamiento.

En cuanto a la morfología se encuentran acercamientos de distintas áreas. Pilat y Jacob (2008) plantearon una nueva forma de organización para la evolución de criaturas virtuales; utilizan múltiples entornos virtuales para poder realizar pruebas de evolución independientes en paralelo y así, una vez que se han evolucionado criaturas adaptadas, se seleccionan las mejores de cada población para agruparlas en un ecosistema compartido y observar su comportamiento.

Usando esta propuesta, Pilat y otros logran evolucionar criaturas virtuales capaces de buscar alimento en el entorno virtual (Pilat *et al.*, 2012; Ito *et al.*, 2013; Ito *et al.*, 2016). En Ito *et al.* (2013) generan criaturas virtuales con comportamientos de depredadores o presas, donde las presas evolucionan morfologías que las defienden de ser atacadas por los depredadores, como se aprecia en la figura 4.

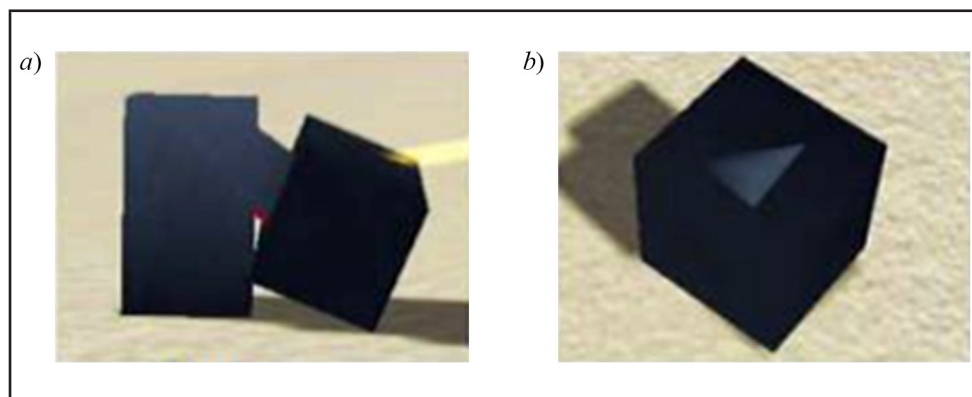


FIGURA 4  
Ejemplo de morfologías de criaturas virtuales

Fuente: Ito *et al.* (2013).

Nota: ejemplos de morfologías evolucionadas para evitar depredadores. Las criaturas evolucionan extremidades grandes para evitar que los depredadores alcancen sus núcleos: *a)* como una concha, *b)* como una torre.

En días recientes, existe un interés por los *soft robots*. Cheney *et al.* (2013) sugieren evolucionar la morfología de criaturas virtuales combinando distintos materiales en su cuerpo: materiales que se expanden y contraen a una frecuencia preespecificada y materiales pasivos (suaves o duros). Su nuevo acercamiento logró producir criaturas virtuales con movimientos más naturales que los encontrados en propuestas anteriores que usaban cuerpos rígidos. La figura 5 ilustra un ejemplo del paso de una criatura evolucionada.

En una línea similar, Lessin y Risi (2015) propusieron una combinación de tejido rígido con articulaciones y tejido suave con activación, de tal manera que se mimetice el funcionamiento óseo y muscular de los seres vivos. Modelan los músculos a partir de tetraedros con una función similar a resortes lineales, cuya constante es modificada por la activación del cerebro de la criatura. En la figura 6 se muestra el paso de una criatura virtual evolucionada con su acercamiento.

Hasta ahora hemos observado la evolución de las criaturas con un comportamiento simple (moverse, acercarse a un objetivo o huir del mismo); en cambio, la de comportamientos complejos se ha visto como una tarea



difícil de manejar. Es común que se requiera de ayuda extra durante la evolución para que las criaturas sean capaces de mantener comportamientos simples y adicionarlos a otros más complejos.

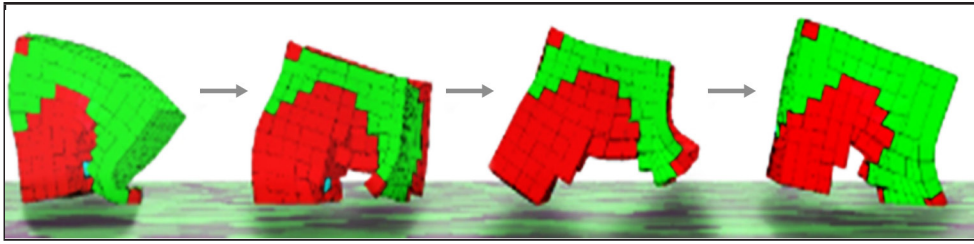


FIGURA 5

Ejemplo de locomoción en una criatura

Fuente: Cheney *et al.* (2013).

Nota: usa distintos tipos de materiales para generar morfologías y comportamientos más naturales que los encontrados en las propuestas iniciales.

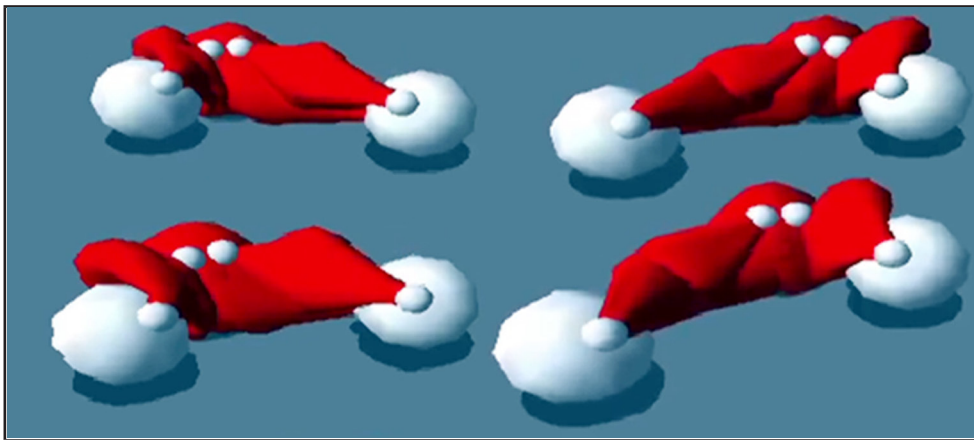


FIGURA 6

Ejemplo del paso de una criatura virtual con partes rígidas y suaves

Fuente: Lessin y Risi (2015).

Una propuesta de esta índole es la de Lessin *et al.* (2013); en ella añaden a la criatura virtual un árbol de comportamientos (el cual llaman *syllabus*) (figura 7), que jerarquiza los comportamientos por aprender de la criatura. En la figura 7 los comportamientos en los niveles superiores hacen uso de los niveles inferiores (por ejemplo “Mover hacia” puede usar los comportamientos “Avanzar” y “Girar hacia”, que a su vez puede ocupar los comportamientos “Izquierda” o “Derecha”).

Durante la evolución, se le permite cambiar (por reproducción o mutación como ya se explicó) a la red que representa a la criatura (que contiene los segmentos, enlaces, control y sensores de la criatura).

La población evoluciona a través de procesos de reproducción que dan lugar a nuevas generaciones, las cuales se miden de acuerdo con su rendimiento para uno de los comportamientos del *syllabus* (se comienza por los comportamientos en los niveles inferiores como son “Izquierda” y “Derecha” y “Mover hacia” arriba) hasta que se considere adecuado; cuando esto sucede, los elementos de la red involucrados en ese comportamiento son encapsulados (para evitar que se “olviden” durante la evolución, además de favorecer que se utilicen directamente durante los comportamientos que son más complejos); una vez encapsulado, se procede al siguiente (por ejemplo, “Girar hacia” después de encapsular tanto “Izquierda” como “Derecha”).

Cabe destacar que la evolución de la morfología (los segmentos) se bloquea tras haber aprendido los comportamientos básicos con el propósito de evitar que lo aprendido deje de ser funcional.



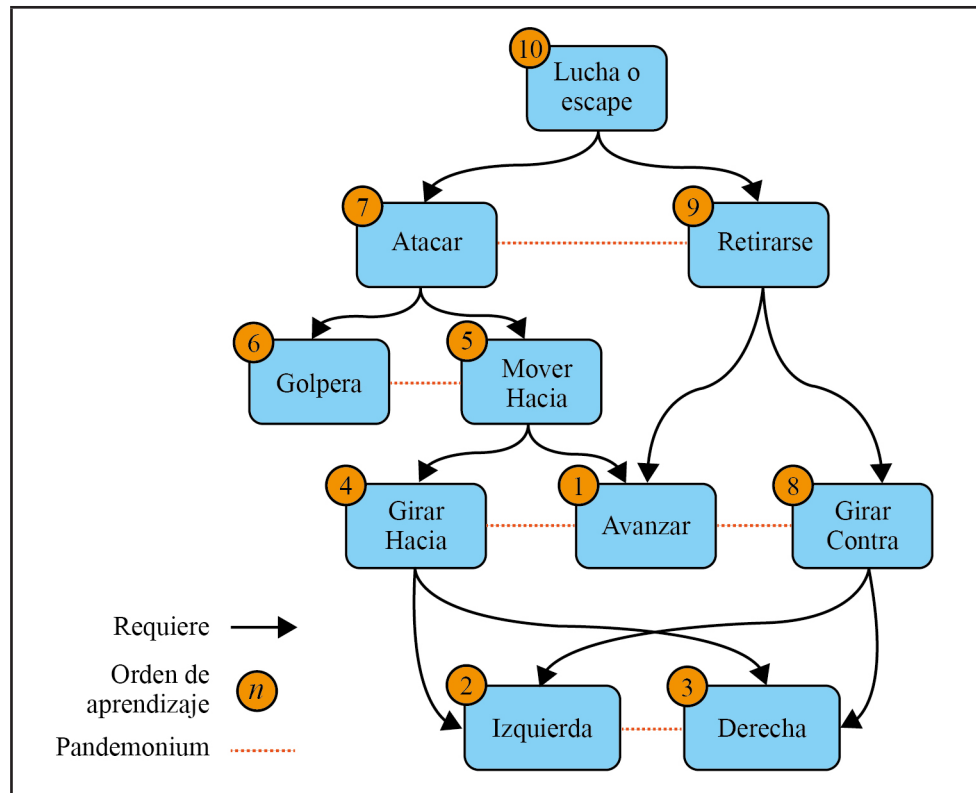


FIGURA 7

Ejemplo de un *syllabus* empleado para el aprendizaje de comportamientos complejos

Fuente: Lessin *et al.* (2013: 4).

## PROSPECTIVA

El empleo de criaturas virtuales tiene un amplio margen de aplicación en diversas áreas, tanto especializadas como de la vida cotidiana del ser humano. La concepción de criaturas virtuales en su forma actual, propuesta por Sims en 1994 como entes tridimensionales en un entorno virtual, comenzó como una instalación artística donde las morfologías y movimientos de las criaturas demostraban la capacidad creativa del cómputo. En consecuencia, atrajo de inmediato la atención de otros investigadores que identificaron aplicaciones prácticas para las criaturas virtuales.

Con las criaturas virtuales ganamos la capacidad de simular el proceso evolutivo que observamos en la naturaleza, ciertamente con innumerables limitantes y restricciones. Podemos aplicar una “selección natural” (o mejor dicho una “selección artificial”) que encamine a una tarea de nuestro interés y cause la evolución de morfologías y comportamientos capaces de cumplirla.

Las disciplinas más interesadas en esta aplicación se enfocan en el diseño de mecanismos y estrategias de comportamiento para robots. En la actualidad, los resultados se enfocan únicamente en la locomoción, pero conforme avanza el área, y es un objetivo de investigadores, se espera que aumente la complejidad de los resultados de la evolución de criaturas virtuales.

Dentro del contexto social, los avances hasta ahora encontrados en la construcción de criaturas virtuales se observan con facilidad en sistemas de simulación en el ámbito industrial y sistemas de esparcimiento como es el cine, las consolas de videojuegos y desde hace poco los sistemas inmersivos conocidos como *realidad virtual*. Es cierto que este tipo de herramientas han evolucionado y están siendo utilizadas en las diferentes disciplinas y actividades cotidianas del ser humano, además de apoyar en el entendimiento de su comportamiento ante fenómenos no controlados.

Pese a la desconfianza por el estudio de la vida artificial y por la creación de criaturas virtuales, en vez de sentirnos amenazados como especie humana, debemos ver el lado positivo. Por ejemplo, en el área de análisis y estudios del comportamiento humano, las criaturas virtuales son utilizadas para la comprensión y modificación de actitudes de comportamiento en ciertos pacientes con desórdenes psicológicos, lo cual es una muestra de los posibles usos de estos sistemas emergentes.

Otro sector envuelto es el de la biología. En este caso, las observaciones hechas a lo largo de los siglos fueron las bases empleadas en la evolución de criaturas virtuales que ahora se usan para apoyar las investigaciones en esta disciplina.

En el ámbito de la investigación, una vez que se cuente con un entorno virtual y reglas de evolución que abstraen fenómenos de la naturaleza, se pueden hacer cambios para identificar sus consecuencias en las poblaciones y en entornos simulados. De esta forma se obtienen nuevas observaciones y conocimientos transferibles al mundo real, algo que de otro modo requeriría de tiempo y esfuerzo adicionales, y en ocasiones sería poco probable de conseguir.

En el ámbito de la docencia, estas mismas simulaciones ofrecerán un aprendizaje más encarnado y “táctil” a los alumnos sobre los conceptos y teorías de la biología que facilitarán la comprensión de su entorno.

## CONCLUSIONES

La vida artificial permite hacer estudios similares a los que se llevan a cabo en el mundo natural. Al tener un control mayor de los parámetros del entorno y del proceso de evolución, los investigadores son capaces de acelerar y enfocar sus estudios. El inconveniente causado por este control es la necesidad de estrategias sensatas de modelado de la morfología, del comportamiento y de la evolución, que son áreas abiertas de investigación.

Como podemos observar, la vida artificial ofrece varias posibilidades de estudio en entornos del mundo natural. Aunque comenzó con criaturas virtuales con una morfología y comportamiento simples, los nuevos métodos de modelado y aprendizaje nos acercan paso a paso a ser capaces de alcanzar una evolución morfo genética de criaturas virtuales tan complejas como las que encontramos en la naturaleza.

El empleo de criaturas virtuales ofrece incontables posibilidades para el estudio de la vida natural y para el diseño de mecanismos, pero es complejo en la medida que es útil. Su uso en ingeniería para el diseño se ve contenido por la diferencia entre la simulación y el prototipado físico, algo que los investigadores tienen presente por tratarse de un tema reciente. En el estudio de la vida y de hipótesis sobre la misma se presenta una brecha similar. Al respecto, en las tareas de ingeniería y cómputo evolutivo por lo regular se tiene un objetivo al que se desea llegar, lo que ayuda a vislumbrar el camino evolutivo que seguirán las criaturas virtuales; por el contrario, en la evolución natural es una combinación de sucesos, interrelacionados o no, que incentivan la combinación de genes para obtener las criaturas que observamos. La reducción de esta brecha es también un tema de estudio actual.

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación es posible gracias al programa de Becas Nacionales del Conacyt. Asimismo, agradecemos los comentarios de los árbitros de la revista que mejoraron sustancialmente el contenido del artículo.

## REFERENCIAS

Cheney, N., MacCurdy, R., Clune, J., & Lipson, H. (2013). Unshackling evolution: evolving soft robots with multiple materials and a powerful generative encoding. *In Proceedings of the 15th annual conference on Genetic and evolutionary computation*, 167-174).

- Fowler, S., Roush, R., Wise, J., & Stronck, D. (2013). *Concepts of Biology*. OpenStax College.
- Ito, T., Pilat, M., Suzuki, R., & Arita, T. (2013). *Coevolutionary dynamics caused by asymmetries in predator-prey and morphology-behavior relationships*. ECAL (European Conference on Artificial Life). Retrieved from <https://www.semanticscholar.org/paper/Coevolutionary-Dynamics-Caused-by-Asymmetries-in-Ito-Pilat/62d74e5df9bc61a0eac3a6de02b0e655adeabc92>
- Ito, T., Pilat, M. L., Suzuki, R., & Arita, T. (2016). Population and evolutionary dynamics based on predator-prey relationships in a 3d physical simulation. *Artificial life*, 22(2), 226-240.
- Lessin, D., Fussell, D., & Miikkulainen, R. (2013). Open-ended behavioral complexity for evolved virtual creatures. *GECCO '13: Proceedings of the 15th annual conference on Genetic and evolutionary computation*, 335-342. <https://doi.org/10.1145/2463372.2463411>
- Lessin, D., & Risi, S. (2015). Evolved Virtual Creatures with Soft-Body Muscles: On a Bio-Mimetic Path to Meaningful Morphological Complexity. *GECCO Companion '15: Proceedings of the Companion Publication of the 2015 Annual Conference on Genetic and Evolutionary Computation*, 761-762. <https://doi.org/10.1145/2739482.2764897>
- Marfenin, N. N., & Kosevich, I. A. (2004). Morphogenetic evolution of hydroid colony pattern. *Hydrobiologia*, 530(1-3), 319-327.
- Pilat, M. L., & Jacob, C. (2008). Creature academy: A system for virtual creature evolution. *2008 IEEE Congress on Evolutionary Computation (IEEE World Congress on Computational Intelligence)*, 3289-3297. <https://doi.org/10.1109/CEC.2008.4631243>.
- Pilat, M. L., Ito, T., Suzuki, R., & Arita, T. (2012). Evolution of virtual creature foraging in a physical environment. *International Conference on the Simulation and Synthesis of Living Systems 12*, 423-430. <https://doi.org/10.7551/978-0-262-31050-5-ch056>
- Prusinkiewicz, P., & Lindenmayer, A. (2012). *The algorithmic beauty of plants*. Springer Science & Business Media.
- Ray, T. S. (1993). An evolutionary approach to synthetic biology: Zen and the art of creating life. *Artificial Life*, 1(1-2), 179-209.
- Sherman, W. R., & Craig, A. B. (2018). *Understanding virtual reality: Interface, application, and design*. Morgan Kaufmann.
- Sims, K. (1994). Evolving virtual creatures. *SIGGRAPH '94: Proceedings of the 21st annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, 15-22. <https://doi.org/10.1145/192161.192167>
- Wooldridge, M. (2009). *An introduction to multiagent systems*. John Wiley & Sons.
- Yoshida, T., Ellner, S. P., Jones, L. E., Bohannan, B. J., Lenski, R. E., & Hairston Jr, N. G. (2007). *Cryptic population dynamics: rapid evolution masks trophic interactions*. *PLOS Biology*, 5(9), e235. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0050235>

CC BY-NC-ND