

JUGANDO A LA EVOLUCIÓN EN EL ORDENADOR

Rafael Lahoz-Beltrá

*Departamento de Matemática Aplicada (Biomatemática),
Facultad de Biología, Universidad Complutense,
28040-Madrid
lahozraf@bio.ucm.es*

Palabras clave: Evolución, simulación, enseñanza.

Keywords: Evolution, simulation, teaching.

Resumen

La evolución es una de las teorías centrales de la biología. En este artículo se hace un breve bosquejo de las distintas aproximaciones o paradigmas desde los que es posible abordar su estudio, proponiendo la aproximación constructivista por ser su metodología la que mejor se ajusta a las especiales características del fenómeno a explicar: la evolución. Bajo este paradigma el estudiante aprende qué es la evolución a partir de experimentos de simulación realizados en el ordenador con poblaciones de organismos digitales. El artículo concluye describiendo un sitio *web* en el que hemos incluido material docente para la enseñanza de la teoría de la evolución, pudiéndose adaptar estos materiales a los distintos niveles educativos.

Abstract

Evolution is one of the main theories in biology. In this paper we review four different paradigms under which it is possible to teach Evolution, dedicating a special emphasis to constructivism. The learning process is based on student experiences with software studying the evolution through computer simulation experiments using models of living systems in artificial environments. Adopting this paradigm we have developed a website with teaching materials oriented to the study of evolution.

I. INTRODUCCIÓN

La teoría de la evolución es uno de los pilares en los que se sustenta la biología moderna. Su importancia es tal que en 1973 el biólogo evolucionista Dobzhansky llegó a decir «nada en biología tiene sentido excepto a la luz de la evolución», publicando un ensayo con este título en el que se argumentaba la importancia de la enseñanza de la teoría de la evolución en las escuelas (Dobzhansky, 1973). Sin embargo, tanto la investigación como la enseñanza de esta teoría requieren de la adopción de un cierto enfoque

o paradigma que afectará tanto al modo en el que el científico aborda su estudio como a la forma con la que el docente la explicará a los alumnos.

En este artículo se hace un breve bosquejo de las distintas aproximaciones o enfoques desde los que es posible estudiar la teoría de la evolución según el principio de selección natural de Darwin, haciendo un especial énfasis como aproximación pedagógica en el *enfoque constructivista*.

2. APROXIMACIONES AL ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN

En la actualidad podemos distinguir distintos enfoques o paradigmas desde los que aproximarse al estudio de la evolución, y que hemos denominado en este artículo como (a) clásico, (b) *Dawkinsiano*, (c) matemático y (d) constructivista.

El *enfoque clásico* define la evolución como la acumulación gradual y continua de los cambios hereditarios en poblaciones, originándose nuevas especies. La definición en que se sustenta este planteamiento es el resultado de la historia que conduce al concepto de especiación, y que comienza con personajes como Linneo y Buffon, la teoría catastrofista de Cuvier o la teoría de transformación de las especies de Lamarck y Darwin, para concluir con la teoría sintética o neodarwinismo. Es habitual que tras recorrer un breve bosquejo histórico de las ideas que desembocarán en la teoría de la selección natural de Darwin, se haga alguna mención a las pruebas paleontológicas, anatómicas, embriológicas, bioquímicas y moleculares. A día de hoy este enfoque es el adoptado en Secundaria (Sanz Serrano, 2007) y Bachillerato (Figura 1).

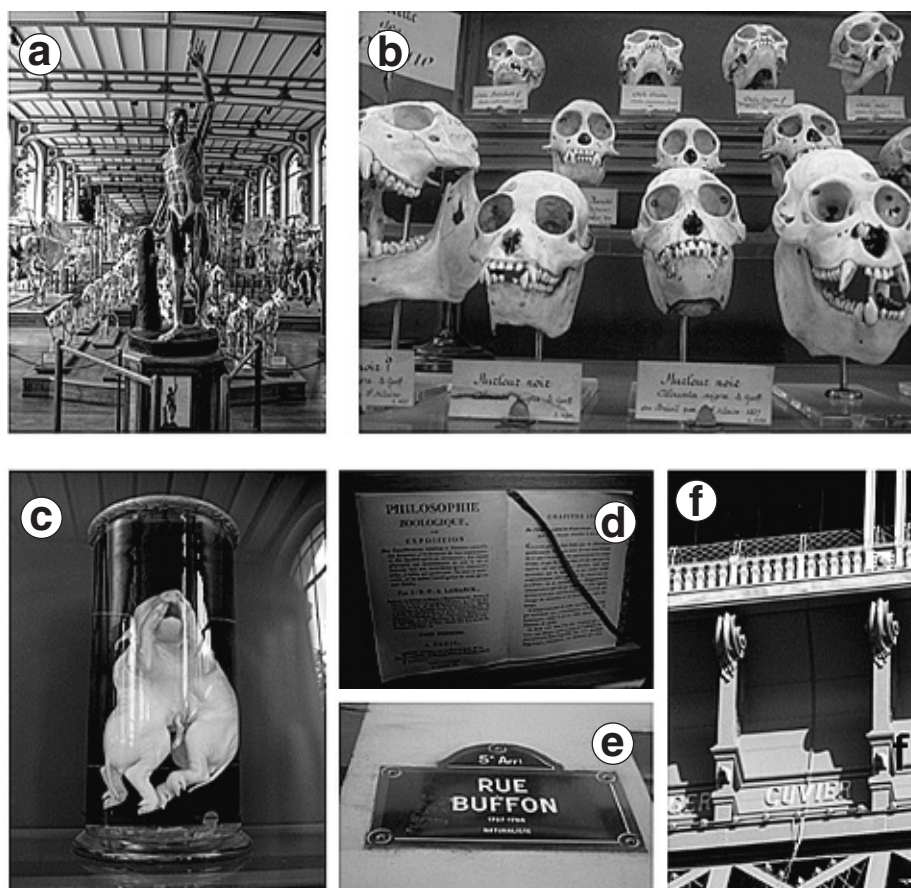


Figura 1. Teoría de la evolución bajo un enfoque clásico. Museo de Ciencias Naturales de París: (a, b y c) Galería de Anatomía Comparada y (d) ejemplar de *Philosophie Zoologique* de Lamarck. (e) Calle dedicada a Buffon y (f) detalle de la Torre Eiffel en el que puede leerse Cuvier (Autor: R. Lahoz-Beltrá, 2010).

El enfoque *Dawkinsiano* es el que resulta de la «visión genocéntrica» del zoólogo y divulgador británico Richard Dawkins. Según este planteamiento el gen es la unidad de selección, por lo que la evolución estaría centrada en los genes, idea que divulga en su libro *El gen egoísta* (1976). Otra de las ideas que sustentan este enfoque es el principio de selección acumulativa que es la versión de la teoría de la selección natural en individuos con reproducción asexual. El principio establece que la acumulación de pequeños cambios aleatorios o mutaciones en los cromosomas conduce a cambios significativos en las características y forma (fenotipo) de los individuos. Uno de los méritos de Dawkins fue la forma en que divulgó este principio en su libro *El relojero ciego* (1986), describiendo experimentos de simulación en ordenador con organismos digitales, individuos a los que bautizó con el nombre de biomorfos. El programa del libro *Blind Watchmaker* 1.2 (Figura 2) fue comercializado para el ordenador Macintosh, iniciándose a mediados de los años 80 las primeras experiencias con ordenador en el aula, tal y como Dawkins hizo en sus clases con estudiantes de zoología. Otro de los programas utilizados por Dawkins para explicar el principio de la selección acumulativa fue el «programa de la comadreja» (o *weasel program* en lengua inglesa), una metáfora de la evolución de las secuencias de ADN o de los aminoácidos de las proteínas. El experimento consiste en definir una frase arbitraria, por ejemplo «yo creo que se parece a una comadreja» –frase de la obra *Hamlet* de Shakespeare– dejando que sea el programa a partir de mutaciones y selección de las frases obtenidas inicialmente de forma aleatoria el que encuentre la frase objetivo en un número determinado de generaciones.

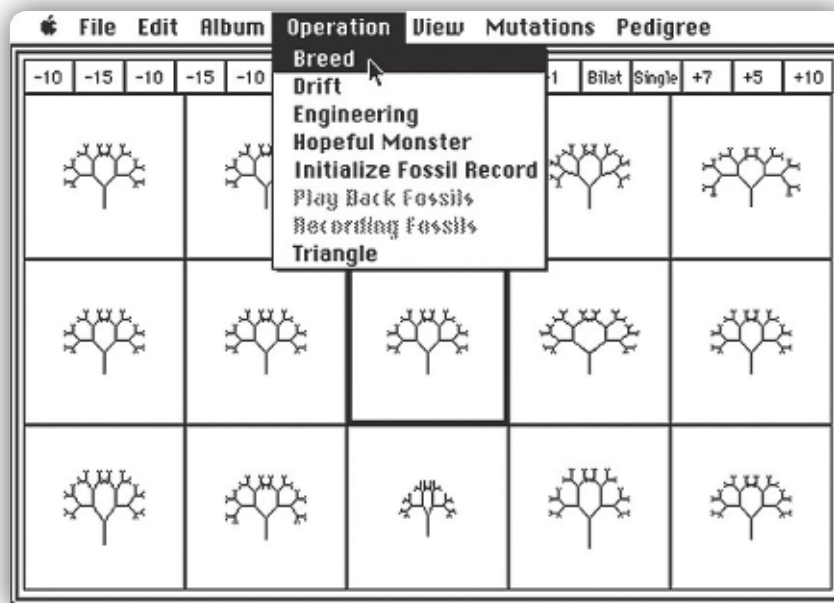


Figura 2. Teoría de la evolución bajo un enfoque *Dawkinsiano*. Programa *Blind Watchmaker* 1.2 para el ordenador Macintosh mostrando la evolución de los biomorfos por el principio de selección acumulativa.

El enfoque *matemático* se fundamenta en modelos matemáticos en biología evolutiva (Lahoz-Beltrá, 2011). Los modelos estudian el origen de la vida, en particular los modelos de cuasiespecies e hiperciclos, o se sustentan en el teorema fundamental de la selección natural de Fisher. Según este teorema, publicado en la obra *The genetical theory of natural selection* (Fisher, 1930), la velocidad a la que aumenta la adaptabilidad promedio de una especie es igual a la riqueza de «posibles valores de los genes». Si sustituimos el aumento de adaptabilidad promedio por $\Delta\bar{W}$, la adaptabilidad promedio por \bar{W} y la riqueza de los posibles valores de los genes por la llamada varianza genética σ_w^2 , entonces el teorema anterior podrá ser expresado en biología matemática como:

$$\Delta\bar{W} = \frac{\sigma_w^2}{\bar{W}}$$

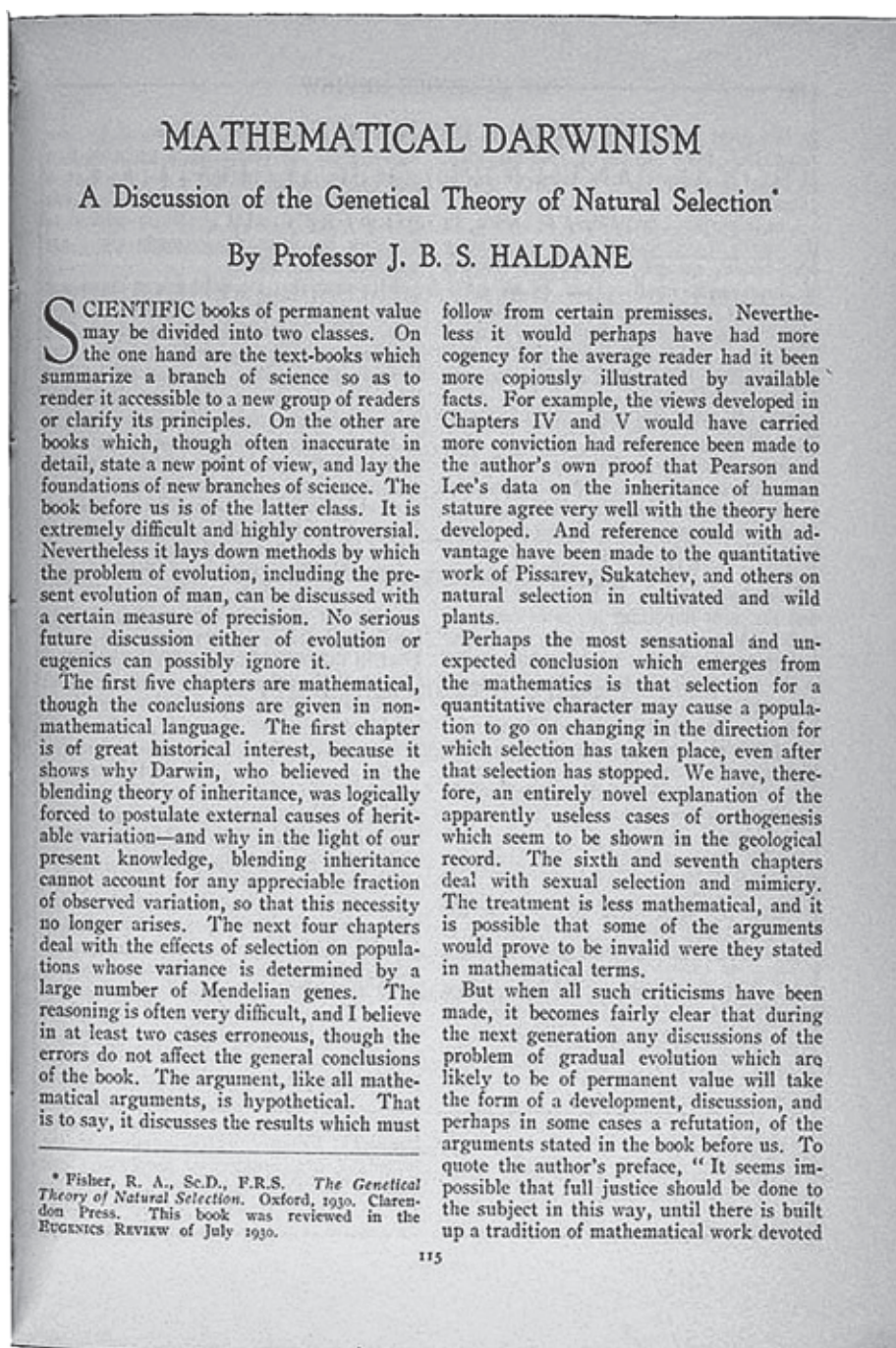
La dificultad de este enfoque subyace en convencer al estudiante de biología que la matemática es un lenguaje con el que el biólogo puede expresar en una sola «fórmula» y de modo preciso una idea (Lahoz-Beltrá *et al.*, 2011). Por consiguiente, el estudio matemático de la evolución (Figura 3) es por su contenido matemático exclusivo de cursos avanzados o universitarios.

El *enfoque constructivista* se basa en las ideas pedagógicas de Piaget, entregando al alumno herramientas con las que crea sus propios procedimientos para resolver una situación, modificando sus ideas, aprendiendo. En el caso que nos atañe, el estudio de la teoría de la evolución, las herramientas son modelos de simulación en ordenador; y por tanto programas tipo *SimCity* (Figura 4a), un videojuego de construcción de ciudades creado por Will Wright en 1989. Los modelos de simulación utilizados en el aula proceden del área de la vida artificial (Lahoz-Beltrá, 2004), una especialidad emparentada con la inteligencia artificial (Figura 4). Con estos programas, el ordenador se convierte en un «tubo de ensayo» en el que realizar experimentos cambiando en cada caso las condiciones iniciales (por ej., la tasa de mutación), probar hipótesis, etc. Este enfoque es muy interesante desde el punto de vista pedagógico ya que el estudiante puede experimentar con la evolución en un tiempo asumible, un fenómeno cuya duración podría ser de millones de años es ahora observable en minutos u horas, y además la duración del experimento depende de las condiciones iniciales. Es decir, el curso del experimento viene dado por el tiempo de supervivencia de la población simulada, por lo que para determinadas condiciones iniciales la población podría extinguirse tan rápidamente que los estudiantes no pudieran recoger datos. Esta situación reproduce otras similares en las que, por ejemplo, un biólogo realiza experimentos en el campo o en laboratorio, no obteniéndose siempre resultados satisfactorios o fracasando el experimento pese a que el protocolo seguido es el correcto. Por sus características este enfoque puede ser adaptado a distintos niveles educativos transmitiendo a los estudiantes nociones elementales de diseño experimental. El enfoque *Dawkinsiano* sería un caso particular de constructivismo, en el que los experimentos de simulación se sustentan en una visión genocéntrica de la evolución y en el principio de selección acumulativa que, tal y como se ha comentado, es propio de organismos con reproducción asexual.

3. DOCENCIA DE LA EVOLUCIÓN APLICANDO UN ENFOQUE CONSTRUCTIVISTA

El libro *¿Juega Darwin a los dados?* (Lahoz-Beltrá, 2008) es un ejemplo de aproximación constructivista al estudio de la evolución. El *software* que acompaña al libro permite *jugar* en el ordenador con fenómenos y propiedades que hasta bien poco eran patrimonio exclusivo de los seres vivos, ya fueran plantas, animales o microorganismos. Así por ejemplo, el estudiante puede observar en la pantalla del ordenador los cambios o mutaciones experimentados por organismos digitales, su muerte y reproducción con o sin sexo, el combate o lucha entre individuos, sus comportamientos cooperativos o egoístas, el aprendizaje o la inteligencia colectiva, e incluso simular el cambio climático o la extinción en masa de especies. Más aún, con esta clase de simulaciones se puede responder a cuestiones clave de la biología como: ¿desaparecerá algún día el ser humano?, ¿por qué se extinguen las especies?, ¿nos afectará el cambio climático?, ¿sobrevivirán nuestras ciudades?, ¿cómo se originó la vida sobre nuestro planeta, la Tierra?, ¿son inteligentes las hormigas?, ¿qué fue la explosión del Cámbrico?, ¿vamos hacia una extinción de las especies?, ¿qué propuso Darwin en su célebre teoría de la selección natural? o ¿hay teorías alternativas al darwinismo?

Complementando a los contenidos del libro hemos desarrollado materiales educativos en el sitio <http://bioinformatica.net/evolucion/>. Se trata de un sitio *web* que incluye explicaciones sobre qué es un experimento de simulación, así como la historia de la *computación evolutiva*, es decir de las investigaciones que condujeron a la simulación del principio de selección natural de Darwin en un ordenador. Entre otros temas, y orientado a los estudiantes más avanzados, se incluye un tema en el que se describen las técnicas y algoritmos que subyacen en las simulaciones, por ejemplo cómo se simula la recombinación entre cromosomas, la selección natural con una ruleta o qué es un algoritmo genético, etc. Se explican en detalle varios modelos de simulación basados en el principio de selección acumulativa, también conocidos como



Cold Spring Harbor Laboratory. Noncommercial, educational use only.

Figura 3. Teoría de la evolución bajo un enfoque matemático. Reproducción de «Mathematical Darwinism, A Discussion of the Genetical Theory of Natural Selection» de J.B.S. Haldane, *Eugenics Review* (vol 23:1).

algoritmos evolutivos, incluido el modelo biomorfos de Dawkins. Una vez concluido el estudio de los algoritmos evolutivos se da paso a la explicación de los algoritmos genéticos, es decir a la simulación del principio de selección natural en organismos con recombinación y, por tanto, reproducción sexual. Otro de los temas que se aborda es la relación entre inteligencia y evolución, estudiándose cómo el aprendizaje tiene un efecto sobre la evolución de los organismos. En este tema se explican los modelos de «inteligencia del enjambre», por ejemplo de auto-organización en bandadas de aves o en bancos de peces, así como los modelos de colonias de hormigas. Se incluye una explicación al llamado efecto Bald-

win o evolución ontogénica, concluyendo con el estudio de aquellos organismos con cerebro y, por tanto, que exhiben aprendizaje. El aprendizaje es el resultado de un cambio en la plasticidad sináptica explicándose cómo simular en organismos digitales circuitos de neuronas artificiales. El estudio de los circuitos de neuronas artificiales, denominados *redes neuronales artificiales* es tratado, dado su importancia, en un tema aparte. Aunque no resulte necesario comprender en detalle como se simulan las distintas clases de aprendizaje, los modelos con neuronas artificiales están suficientemente explicados en el libro *Bioinformática. Simulación, vida artificial e inteligencia artificial* (Lahoz-Beltrá, 2004). El sitio web incluye, bajo la denominación de *DarwinLab*, proyectos en los que se plantean situaciones experimentales de mayor o menor dificultad, las explicaciones y el *software* necesarios para el desarrollo de las prácticas. Los programas elegidos son una recopilación *freeware* de simulaciones clásicas en computación evolutiva y vida artificial, por ejemplo Gene Pool, Darwin Pond, Bugs, Boids, School Fish, Framsticks, etc. Tanto el *software* como los enlaces que permiten su descarga han sido recogidos en un repositorio, seleccionándose los programas por su valor científico y pedagógico. Aunque todo este material está disponible para cualquier visitante del sitio web, en el caso de un curso reglado corresponde al profesor la elección de los materiales adaptándolos al nivel y contenidos del curso.

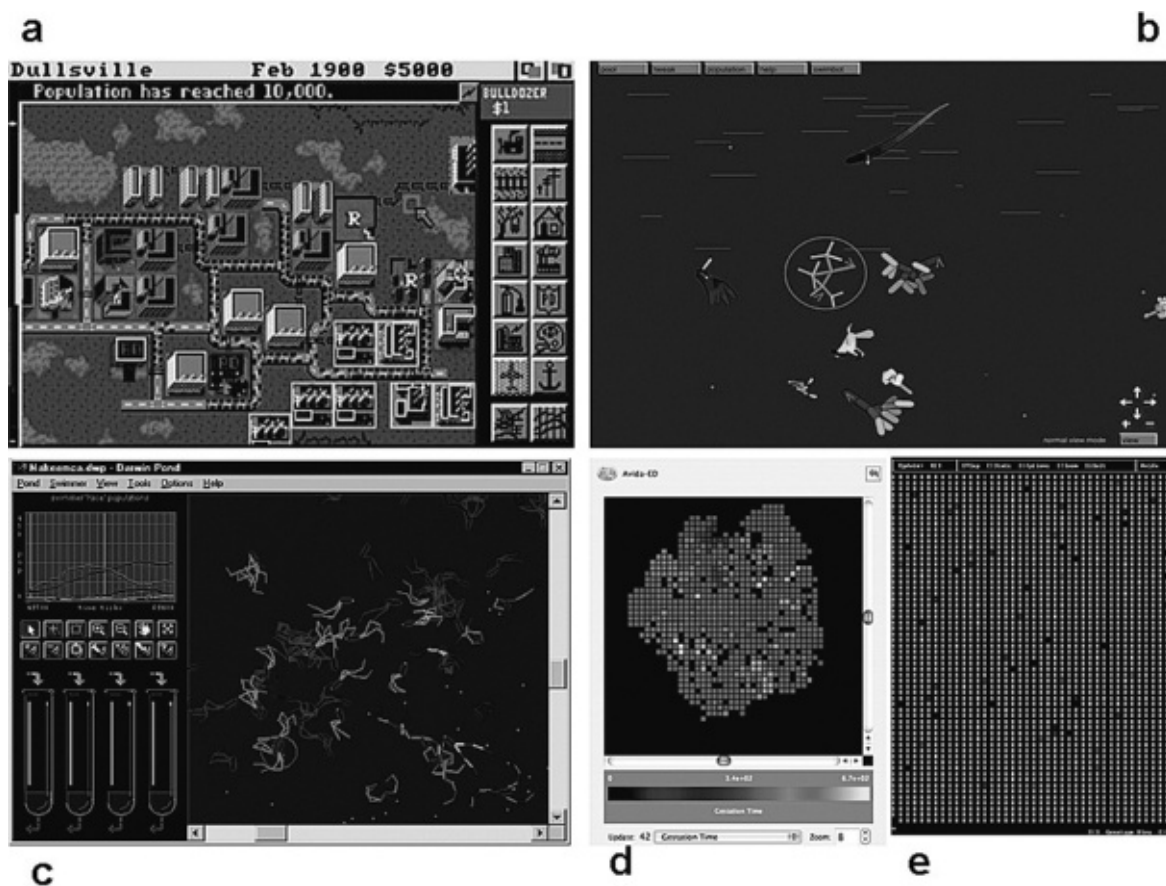


Figura 4. Teoría de la evolución bajo un enfoque constructivista. Programas (a) SimCity. (b) Gene Pool y (c) Darwin Pond. (d, e) Versiones del simulador Avida, uno de los primeros simuladores que fue aceptado entre microbiólogos y biólogos evolucionistas, y que es utilizado hoy en día en el aula (véase <http://avida-ed.msu.edu/>).

El material didáctico ha sido organizado en unidades didácticas implementándose como objetos digitales educativos (ODE). Los ODE han sido diseñados y creados con *Cuadernia*, una herramienta desarrollada

por la Consejería de Educación y Ciencia de Castilla-La Mancha¹. La herramienta dispone de una *interface* de usuario con la que se diseña el ODE (Figura 5) a partir de texto, imagen, ficheros *flash*, vídeo y sonido, incluyendo opciones de realidad aumentada y actividades multimedia. Hemos elegido esta herramienta por sus ventajas, ya que se puede instalar a nivel local, en red (versión servidor) o en memoria USB, permitiendo que los ODE creados sean empaquetados en formato SCORM y por tanto utilizables en Moodle. También incluye herramientas para crear secuencias didácticas (Lección → Actividad → Evaluación) que puedan utilizarse en sistemas LMS (Learning Management System) o VLE (Virtual Learning Environment).

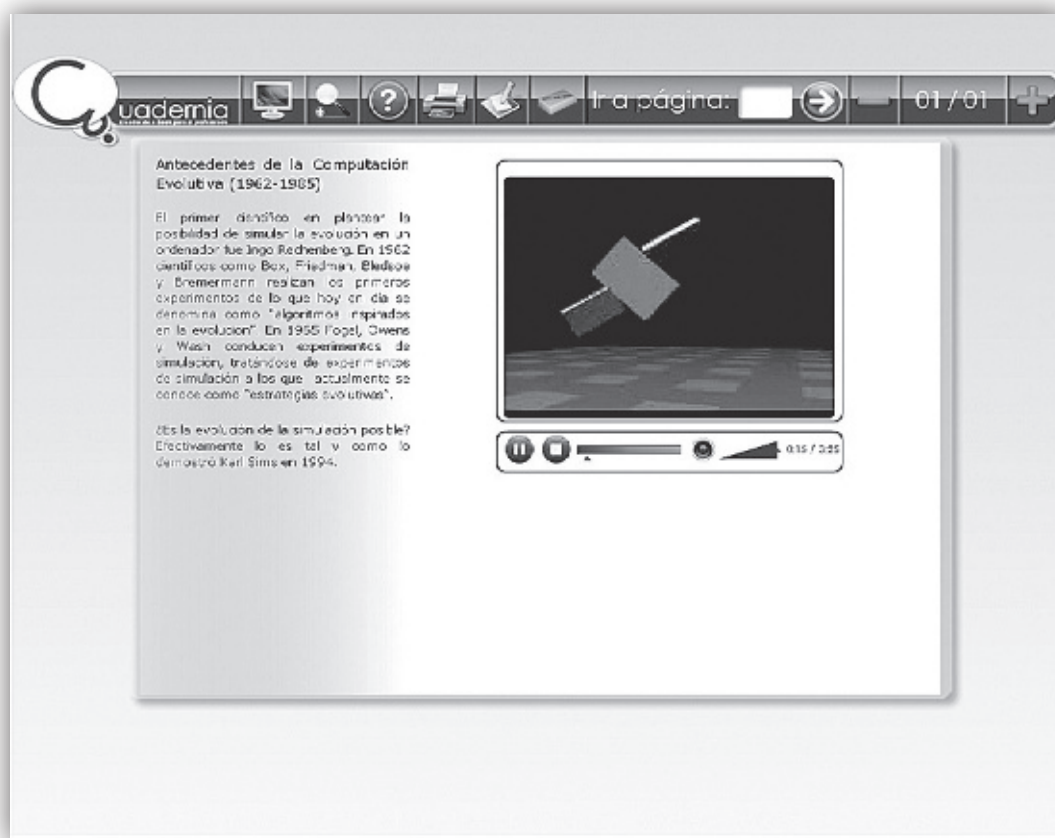


Figura 5. Ejemplo de ODE del sitio web <http://bioinformatica.net/evolucion/>

4. CONCLUSIONES

El paradigma constructivista permite explicar la teoría de la evolución desde una perspectiva experimental haciendo uso del ordenador como si de un tubo de ensayo se tratase. La ventaja de este paradigma es que no solo se explica al estudiante la evolución, sino que además se le familiariza con el (i) diseño experimental, (ii) el trabajo en grupo y (iii) la resolución de problemas bajo un enfoque multidisciplinar. El autor de este artículo ha comprobado durante años el éxito de esta metodología en distintos cursos, ya fueran de Licenciatura, Grado o Máster, planteando a los estudiantes cuestiones teóricas de cierto alcance sobre biología evolutiva y su simulación en ordenador. Los estudiantes fueron capaces de encontrar las respuestas a través de experimentos de simulación e incluso plantear ellos mismos nuevas pre-

¹ Portal de Educación Castilla-La Mancha.Territorio Cuadernia, en: <http://www.educa.jccm.es/educa-jccm/cm/recursos/temas/cuadernia> (fecha de consulta 18-04-2012).

guntas. Otro mérito de este enfoque es que el estudiante de biología se familiariza con (iv) el uso del ordenador, y por consiguiente con la herramienta en la que se sustentan algunas disciplinas como la bioinformática o la biología sintética.

BIBLIOGRAFÍA

- DAWKINS, R. (1976). *The selfish gene*, Oxford, Oxford University Press (trad. esp.: *El gen esgoista*, Barcelona, Salvat, 1989).
- DAWKINS, R. (1986). *The blind watchmaker*, Nueva York, Norton (trad. esp.: *El relojero ciego*, Barcelona, RBA, 1993).
- DOBZHANSKY, T. (1973). Nothing in Biology Makes Sense Except in the Light of Evolution. *American Biology Teacher*, 35, 125-129.
- FISHER, R.A. (1930). *The genetical theory of natural selection*, Oxford, Oxford University Press.
- LAHOZ-BELTRÁ, R. (2004). *Bioinformática. Simulación, vida artificial e inteligencia artificial*, Madrid, Ediciones Díaz de Santos.
- LAHOZ-BELTRÁ, R. (2008). *¿Juega Darwin a los dados?* Madrid, Nivola.
- LAHOZ-BELTRÁ, R. (2011). *Las matemáticas de la vida*, Barcelona, RBA Coleccionables.
- LAHOZ-BELTRÁ, R., MARTINEZ CALVO, C., PÉREZ DE VARGAS, A., GÓNZALEZ MANTEIGA, M.T., LÓPEZ GONZÁLEZ-NIETO, P., GÓMEZ FLECHOSO, M.A. (2011). Adaptación de las matemáticas para biólogos al Plan Bolonia: dificultades y retos. En GÓNZALEZ MONTERO DE ESPINOSA, M., BARATAS DÍAZ, A. (eds.), *Investigación y Didáctica para las Aulas del Siglo XXI*, Madrid, Santillana, pp. 155-164.
- SANZ SERRANO, T. (2007). El reto de enseñar evolución: uso de ejemplos cercanos al alumnado. *eVOLUCIÓN*, 2(2), 69-73.