	Revista Electrónica de Didáctica en Educación Superior	Nro. 7, Abril 2014
ISSN: 1853-3159		

## INVESTIGACIÓN ASISTIDA POR COMPUTADORA PARA ALUMNOS DE BIOFÍSICA

A.I. Lazarte, A.M. Silva

Ciclo Básico Común - Universidad de Buenos Aires

### INTRODUCCIÓN

Recientemente, la revista *Science* premió al profesor Margus Pedaste y otros por el diseño de un programa para aprender ciencias investigando, (Pedaste, M. et al. 2013), basado en la combinación de simulaciones, experimentos virtuales y material multimedia. En nuestros cursos masivos de Introducción a la Biofísica, resulta fundamental la comprensión de los procesos, y la participación activa de los estudiantes en la construcción del conocimiento. Un abordaje parcial de este objetivo se realiza a través de los programas informáticos educativos (Barroso, J. 2003)

El software educativo permite tratar las diferentes materias de formas muy diversas (a partir de cuestionarios, facilitando una información estructurada a los alumnos, mediante la simulación de fenómenos) y ofrece un entorno de trabajo sensible a las circunstancias de los estudiantes y rico en posibilidades de interacción. (Barboza Norbis, 2007)

Son materiales elaborados con una finalidad didáctica que utilizan el ordenador como soporte en el que se realizan las actividades propuestas. Son interactivos, responden inmediatamente a las acciones de los estudiantes y permiten un diálogo y un intercambio de informaciones entre el ordenador y el usuario. Su utilización es accesible, los conocimientos informáticos necesarios para utilizar los programas son mínimos sin necesidad de manejar un lenguaje complejo. De

todos modos las etapas de interpretar o modificar los códigos y el análisis teórico de los resultados, requiere de la tutoría del docente.

Los simuladores presentan un modelo o entorno dinámico y facilitan su exploración y modificación a los alumnos, que pueden realizar aprendizajes inductivos, deductivos o analógicos (Galagovsky, 2001) mediante la observación y la manipulación de la estructura subyacente. De esta manera pueden descubrir los elementos del modelo, sus interrelaciones, y pueden tomar decisiones y adquirir experiencia directa frente a situaciones que resultarían difícilmente accesibles.

En cualquier caso, posibilitan un aprendizaje significativo por descubrimiento y la investigación de los estudiantes-experimentadores puede realizarse en tiempo real o en tiempo acelerado, según el simulador. Presentan de manera numérica o gráfica una realidad regida mediante leyes representadas por un sistema de ecuaciones deterministas. Generalmente el software educativo es utilizado por los profesores a manera de pizarra electrónica, como demostración o para ilustrar un concepto, que podrán luego reforzar interactuando con el programa (Peré Marquéz, 1999).

En esta experiencia, el objetivo prioritario es la participación activa y primaria del alumno, que favorezca la autonomía en el manejo de esta herramienta.

## **OBJETIVOS**

Los programas didácticos, cuando se aplican a la realidad educativa, realizan las funciones básicas propias de los medios didácticos en general y además, en algunos casos, según la forma de uso que determina el profesor, pueden proporcionar funcionalidades específicas. La utilización del recurso didáctico que presentamos aspira a cumplir las siguientes funciones:

**Función formativa.** Orientando el aprendizaje de los estudiantes ya que, explícita o implícitamente, promueve determinadas actuaciones de los mismos encaminadas a facilitar el logro de unos objetivos educativos específicos. En nuestro caso, si bien el ordenador actúa en general como mediador en la construcción del conocimiento y el metaconocimiento de los estudiantes, son los docentes quienes participan de manera explícita en esta función

formativa, ya que dirigen las actividades de los estudiantes en función de sus inquietudes, respuestas y progresos.

**Función investigadora.** Los programas no directivos, especialmente las bases de datos, simuladores y programas constructores, ofrecen a los estudiantes interesantes entornos donde investigar: buscar determinadas informaciones, cambiar los valores de las variables de un sistema, etc. Además, pueden proporcionar a los profesores y estudiantes instrumentos de gran utilidad para el desarrollo de trabajos de investigación que se realicen básicamente al margen de los ordenadores.

**Función innovadora.** Aunque no siempre sus planteamientos pedagógicos resulten innovadores, los programas educativos se pueden considerar materiales didácticos con esta función ya que utilizan una tecnología recientemente incorporada a los centros educativos y, en general, suelen permitir muy diversas formas de uso. Esta versatilidad abre amplias posibilidades de experimentación didáctica e innovación educativa en el aula.

## **METODOLOGÍA**

Las herramientas de simulación de problemas simples se basan en generar un conjunto de pequeños programas en lenguajes establecidos para la resolución de algún algoritmo definido por el programador. Paralelamente se deben incluir los programas para realizar gráficos de la situación física.

En la mayoría de los casos, se deben tener conocimientos importantes de programación para poder llevar a cabo simulaciones de problemas simples que sean de utilidad para docencia. Esto se basa en que en muchos casos se requiere de la resolución de complicadas ecuaciones, procedentes de modelos matemáticos que el docente puede conocer pero desconoce su resolución o los métodos numéricos necesarios.

Dentro del software educativo, el programa Mathematica® presenta algunas cualidades en cuanto a la resolución de ecuaciones o de modelos y a la generación de una animación que pueda resultar relativamente simple. Particularmente el programa indicado posee un conjunto enorme de funciones para resolver complejos problemas de diversas disciplinas de manera

numérica o simbólica. El programa tiene un subprograma denominado “Wolfram Mathematica Player Projects Demonstrations” que permite armar animaciones o simulaciones en tiempo real modificando parámetros del modelo, verificando el efecto en el resultado en forma gráfica. Adicionalmente se puede trabajar con expresiones en forma simbólica, y en este caso el software resuelve numéricamente las expresiones cargadas y no requiere la implementación de algoritmos para obtener soluciones.

### **Descripción del CDF Wolfram Mathematica®**

El programa Wolfram Mathematica® debe ser instalado con licencia, pero su herramienta para preparar Demostraciones de Proyectos CDF es libre y gratuita, pudiéndose descargar desde el sitio web correspondiente (<http://www.wolfram.com/cdf-player/>). Los documentos CDF (interactivos) permiten contener en tanto la información compleja de un problema matemático y la parte gráfica en un único módulo. Finalmente, estos documentos pueden implementarse en diapositivas, informes, libros y objetos de páginas web.

Los documentos CDF solo requieren de la instalación del programa ejecutor, gratuito, que puede compararse con otros programas/lenguajes conocidos como: JAVA, FLASH, HTML5 entre otros<sup>1</sup>.

La base de datos sobre simulaciones y documentos CDF, en la página web del programa alcanza actualmente 9000 ejemplos.

### **EJEMPLOS DE APLICACIÓN**

En esta sección se mostrarán 3 ejemplos concretos del uso de la herramienta interactiva. Dos de los ejemplos fueron tomados de <http://demonstrations.wolfram.com/> y el tercero y último ejemplo fue realizado por los autores de este trabajo. En el primer caso, el programa ya está escrito y el desafío para los estudiantes es la interpretación y comprensión de conceptos tales como las concentraciones iónicas en los medios extra e intracelular, y los detalles de los procesos que dan origen a la señal eléctrica generada. Los conocimientos asociados deben ser

---

<sup>1</sup> En el sitio web: <http://www.wolfram.com/cdf/compare-cdf/how-cdf-compares.es.html> puede encontrarse una comparación muy detallada del programa Mathematica y los documentos CDF con otros programas o lenguajes.

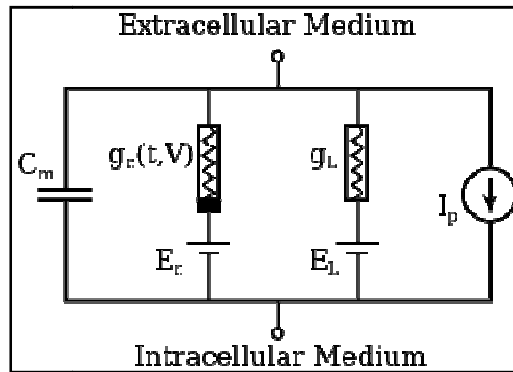
estudiados y discutidos con los docentes como parte de la investigación dirigida. La posibilidad de modificar los valores y registrar los efectos, facilita una nítida profundización conceptual de fenómenos que ocurren en la realidad y son de difícil acceso, pero son fácilmente asequibles y manipulables en el entorno virtual.

En el segundo caso, se posibilita la autoevaluación de conocimientos de anatomía del esqueleto, por la simple localización de cada hueso y articulación. Mediante un programa gráfico tridimensional se puede cambiar el punto de observación y optimizar el conocimiento de la posición relativa de cada parte constitutiva.

En el último ejemplo, los estudiantes tienen la oportunidad de un acercamiento “fenomenológico” para crear un sistema de ecuaciones con sentido físico directo, que está acorde con los conocimientos que poseen de matemática, pero usados en un contexto diferente. El caso, de amplia difusión en la Ecología y la dinámica de poblaciones, permite además una aproximación al significado de bifurcaciones y senderos caóticos. Pueden en definitiva modificar parámetros, indagar en su significado físico, y eventualmente cambiar el programa, y ver los resultados de tales acciones.

### **Aplicaciones a la biología celular**

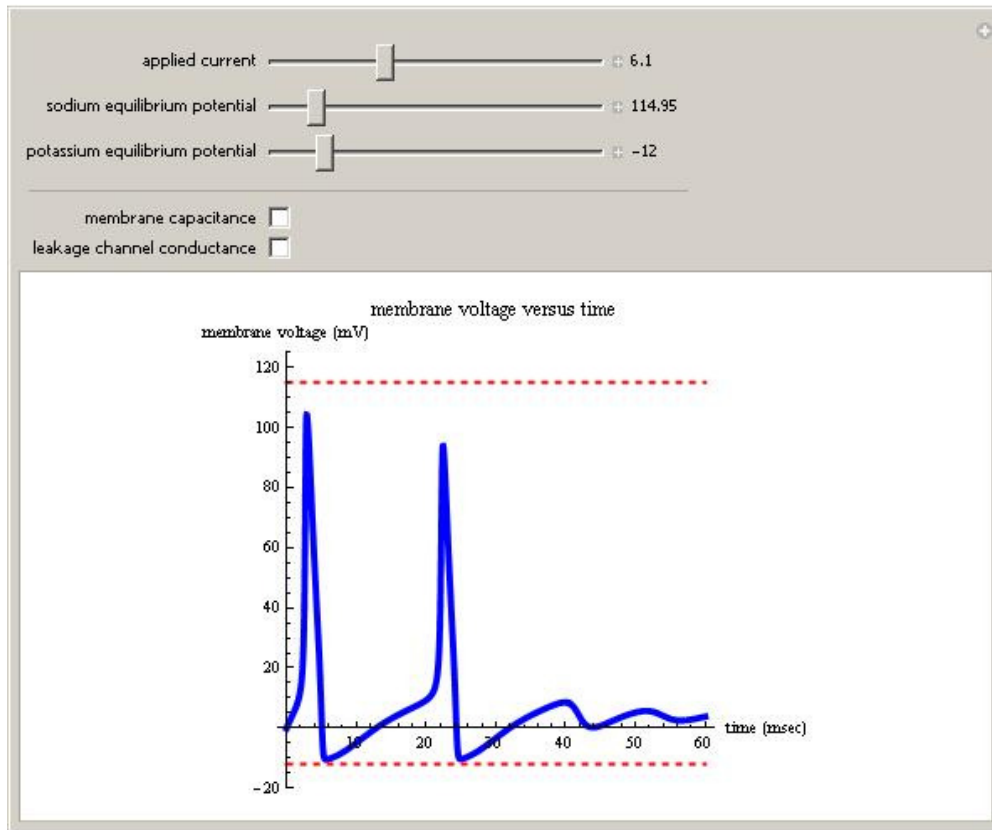
El modelo matemático desarrollado por Hodgkin y Huxley (HH) simula de manera aproximada y de modo satisfactorio y correcto la transmisión de los potenciales de acción en las neuronas, la velocidad de conducción y cómo se generan los pulsos. Dicho modelo se basa en un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias no lineales que modelan, es decir, simulan, las características eléctricas de células como las neuronas o miocitos cardíacos. En la **Figura 1** se ilustra el modelo eléctrico de una membrana que separa el medio intracelular del exterior (Volkenshtein, 1985).



**Figura 1:** Esquema del modelo de Hodgkin y Huxley

Con:  $C_m$ : capacitancia de la membrana  $g_n$ : conductancia iónica no lineal del canal n  
 $g_L$ : conductancia iónica lineal de las puertas de los canales.  $I_p$ : bombas iónicas (fuentes de corriente).  $E_n$  y  $E_L$ : gradientes electroquímicos, representados por baterías.  
 Existen varios modelos basados en datos experimentales para ajustar las conductancias y los potenciales de cada fuente así como la capacidad de la membrana. Mayor información puede obtenerse en Volkenshtein, (1985).

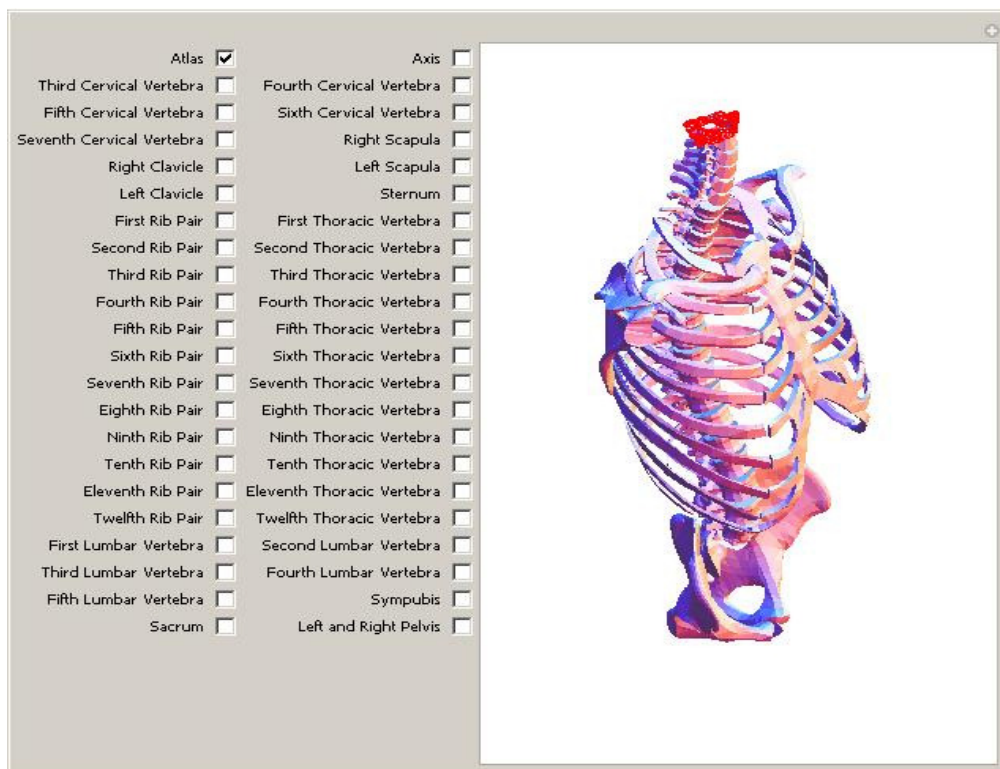
En la **Figura 2** se ilustra una captura de la pantalla con la solución del modelo para un dado conjunto de parámetros que pueden elegirse mediante las barras móviles.



**Figura 2:** Resolución del modelo de Hodgkin y Huxley.

### Aplicaciones a la medicina

En este ejemplo, el usuario puede de manera muy simple marcar en cada hueso de la lista de la izquierda de la figura y observar el cambio de color de dicho hueso sobre la derecha. Cabe señalar que el torso adicionalmente puede ampliarse y rotar. **Figura 3.**



**Figura 3:** Esquema del esqueleto de un torso de un ser humano.

## Aplicaciones a la bioquímica y biología

Es común en muchos casos de la biología o bioquímica u otras disciplinas, la aparición de problemas acoplados debido a la interacción de especies y/o compuestos. Ejemplos de esto pueden ser la interacción compleja entre una enzima y un sustrato, un proceso de epidemia entre enfermos y susceptibles de enfermarse o bien, los conocidos modelos de depredadores y presas (conejos y zorros).

Expondremos las ecuaciones y el significado de cada variable y constante utilizadas en las mismas. Cabe señalar que estas ecuaciones reciben el nombre de ecuaciones de Lotka - Volterra y, bajo ciertas condiciones se comportan como un oscilador. Las ecuaciones son:

$$\begin{aligned}\frac{dP(t)}{dt} &= aP(t) - cD(t)P(t) \\ \frac{dD(t)}{dt} &= -bD(t) + dD(t)P(t)\end{aligned}$$

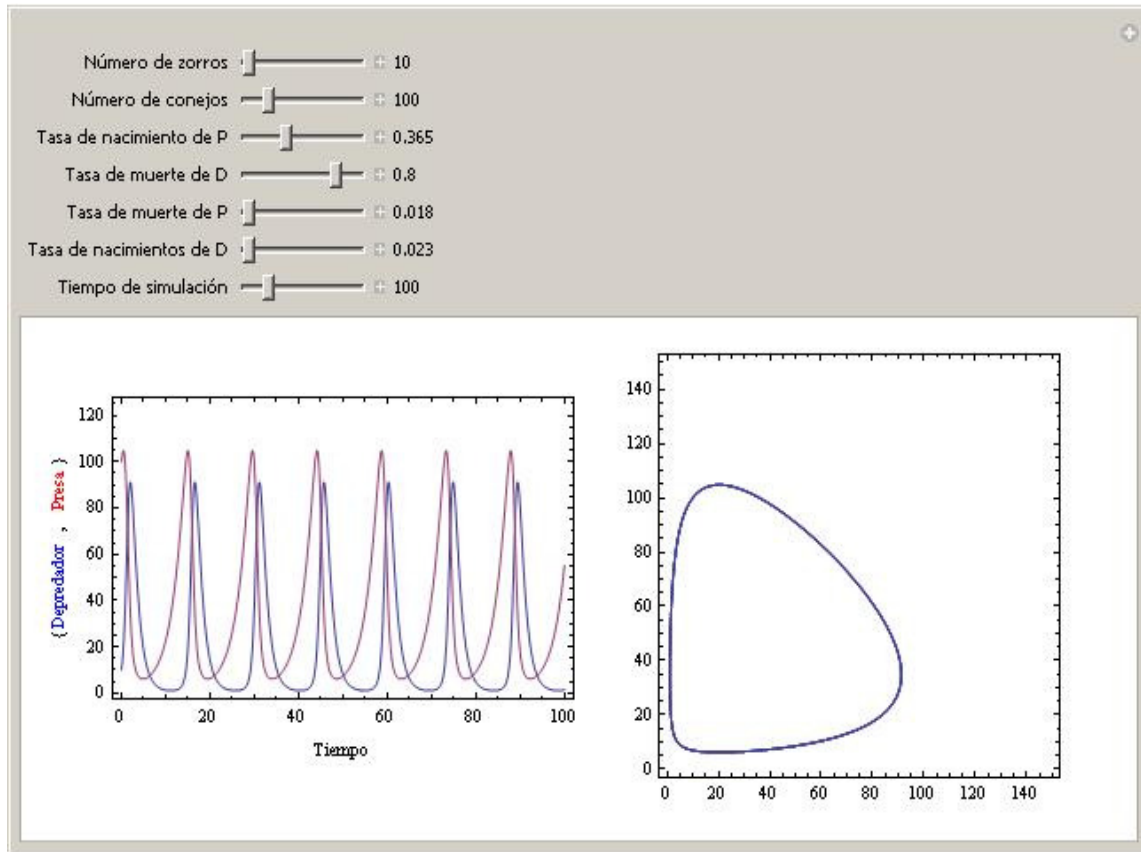


Siendo  $D(t)$  y  $P(t)$  la cantidades de depredadores y presas en función del tiempo, respectivamente. Las magnitudes  $a$ ,  $b$ ,  $c$  y  $d$  son constantes positivas que determinan, respectivamente, la tasa de nacimiento de la presa y de muerte del depredador, las tasas de mortalidad de la presa y nacimiento del depredador. Hay que destacar que estos últimos dos términos acoplan las ecuaciones debido a que la tasa de desaparición de presas depende de la cantidad de depredadores.

A continuación, transcribimos el código (programa) que hemos creado para resolver las ecuaciones (1-2), cuyas gráficas pueden verse en la **Figura 4**.

```
Manipulate[Module[{eqn1,soln1},
PnumMax = 500; DnumMax = 500;
eqn1={D1'[t]==-b*D1[t]+dD1[t]*P[t],P'[t]==a*P[t]-
P[t]*D1[t],D1[0]==Dnum0,P[0]==Pnum0};
soln1=NDSolve[eqn1,{D1,P},{t,0,tiempo}];
show1=Show[Plot[{D1[t]/.soln1,P[t]/.soln1},{t,0,tiempo}],PlotRange-
>{{0,tiempo},{0,PnumMax/4}},Frame->True,FrameLabel-
>{"Tiempo",{Style["Depredador",Blue],Style["Presa",Red]}}];show2=Show[Parametri-
cPlot[{D1[t],P[t]}/.soln1,{t,0,tiempo}],PlotRange->{{0,150},{0,150}},Frame-
>True];GraphicsRow[{show1,show2},{0.01,0.01},ImageSize->600],
{{Dnum0,10,"Número de zorros"},1,DnumMax,Appearance->"Labeled",ImageSize-
>Tiny},{{Pnum0,100,"Número de conejos"},1,PnumMax,Appearance-
>"Labeled",ImageSize->Tiny},{{a,0.4,"Tasa de nacimiento de
P"},0.001,1,Appearance->"Labeled",ImageSize->Tiny},{{b,.8,"Tasa de muerte de
D"},0.001,1,Appearance->"Labeled",ImageSize->Tiny},{{c,.018,"Tasa de muerte de
P"},0.001,1,Appearance->"Labeled",ImageSize->Tiny},{{d,.023,"Tasa de
nacimientos de D"},0.001,1,Appearance->"Labeled",ImageSize-
>Tiny},{{tiempo,100,"Tiempo de simulación"},0,500,Appearance-
>"Labeled",ImageSize->Tiny},SaveDefinitions->True,ControlPlacement-
>Top,TrackedSymbols:>{Dnum0,Pnum0,a,b,c,d,tiempo,PnumMax,DnumMax}]
```

## Programa para resolver y graficar el sistema de ecuaciones de Lotka – Volterra



**Figura 4:** Evolución temporal de la cantidad de presas y depredadores (izquierda).  
Espacio de fase correspondiente.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La utilización de modelos y simulaciones constituye una estrategia didáctica superadora de los obstáculos que surgen en la enseñanza y el aprendizaje de contenidos relacionados con fenómenos reales, que ya sea por su orden de magnitud, por el grado de abstracción que implican o por su complejidad, resultan de difícil comprensión e interpretación. El instrumento presentado ofrece múltiples posibilidades para tratar diversas situaciones de las Ciencias Naturales y Exactas aparte de las ejemplificadas aquí.

Más aún, el hecho de proponer una investigación relacionada con un núcleo temático, acerca al estudiante a un abordaje epistemológico acorde con el trabajo científico y a un conjunto de metodologías válidas en su futuro desempeño académico. Esta propuesta está recién siendo puesta en marcha con pequeños grupos, y por lo tanto en una fase germinal. En virtud del impacto que pueda tener la implementación de esta metodología, se podrían analizar nuevas pautas y criterios de evaluación del desempeño de los alumnos en función de su capacidad de comprender, explicar y argumentar los fenómenos estudiados y los conceptos asociados a los mismos.

## REFERENCIAS

- Barboza Norbis, L., Planificación Estratégica: bases conceptuales y metodológicas para una resignificación de la Planificación Educativa en el Uruguay, Publicación N° 1 Reflexiones iniciales, Montevideo, Papeles de trabajo, FHCE-UdelaR, (2007).
- Barroso, J., Las Nuevas Tecnologías de la Información y la Comunicación y la Formación del Profesorado Universitario. III Congreso Internacional Virtual de Educación 1-11 Abril (2003).
- Galagovsky, L., En Enseñanza de las Ciencias, 19 (2), pp. 231 – 242 (2001).
- Marquéz, P., El software educativo, Universidad de Barcelona, España, (1999).  
[http://www.dirinfo.unsl.edu.ar/profesorado/INfyEduc/teorias/clasif\\_software\\_educativo\\_de\\_pere.pdf](http://www.dirinfo.unsl.edu.ar/profesorado/INfyEduc/teorias/clasif_software_educativo_de_pere.pdf)
- Pedaste, M. y otros, Science, 340 (6140), pp. 1537-1538 (2013)
- Volkenshtein, M. V., Biofísica, Editorial Mir, Moscú pp. Capítulo 15, simulación de los procesos biológicos dinámicos. (1985)