

## USO DE PROGRAMAS DE SIMULACIÓN COMO HERRAMIENTAS DE DOCENCIA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS DE LA SALUD

---

Antonio Eblen-Zajjur

Dpto. Ciencias Fisiológicas, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad de Carabobo, aeblen@uc.edu.ve, P.O. Box 3798, El Trigal Valencia, Venezuela.

### Resumen

El desarrollo informático actual ofrece una inmensa cantidad de Programas de Simulación (PS) en el área de las Ciencias de la Salud, buena parte de ellos de fácil acceso y totalmente gratuitos, a lo cual se añade: una excelente relación costo/beneficio, incluir la mayoría de los temas de Ciencias de la Salud, optimización del tiempo de las sesiones prácticas, captar la atención, incrementar la creatividad, autoformación y participación del alumno. Sin embargo, el aprovechamiento de esta herramienta requiere por parte del docente, un profundo conocimiento del tema a simular. El desempeño de estas herramientas han sido evaluadas durante 12 años por 4.250 alumnos de la Escuela de Medicina en el Dpto. de Ciencias Fisiológicas, mediante una escala de Likert de 5 puntos (0 lo peor a 5 excelente) obteniéndose  $4,78 \pm 0,34$  ( $X \pm DE$ ), lo que ratifica su gran valor en la educación superior de las ciencias de la salud.

**Palabras Clave:** Programas de simulación, Software educativo, *Fisiología, Ciencias de la Salud.*

**Área Temática:** TIC y Educación Superior

## Abstract

The recent technological development offers a wide variety of Simulation Programs (SP) in the field of Health Sciences, of easy and free access that includes vast issues in health sciences, the optimization time of practice sessions, the capture of attention, the increase of creativity, self learning, and students' active participation. However, these advantages are only possible when professors have a deep knowledge of the theme to be simulated. The performance of these tools have been evaluated in the last 12 years by 4,250 students of the School of Medicine, at the Department of Physiological Sciences of the University of Carabobo, by means of a 5 points Likert scale (0 the worst to 5 excellent) resulting  $4.78 \pm 0.34$  ( $X \pm SD$ ). These results confirm the great value of SP in Higher Education.

**Key Words:** Simulation Programs. Educational Software. Physiology. Health Sciences.

**Tematic Area:** CIT and Undergraduate Education

## Introducción

El desarrollo informático en los últimos 20 años, la necesidad de reducir costos en los diseños de procesos industriales y la prueba rápida de modelos teóricos, han generado una rama informática encargada de la producción de programas de simulación (PS), que incorporando las ecuaciones matemáticas que describen un determinado modelo o proceso de interés, son capaces de reproducir, interpolar o extrapolar el desempeño del mismo aportando resultados gráficos y/o analíticos<sup>1</sup>. Las ecuaciones utilizadas en los PS y que constituyen conceptos básicos, generales y/o leyes fundamentales, provienen de los análisis de regresión múltiparamétrica de datos reales obtenidos en experimentos, mediciones de campo o de procesos cuantitativos o semi-cuantitativos, lo que les confiere una validación intrínseca<sup>2</sup>. La precisión de los resultados de los PS depende predominantemente de la precisión de los análisis de regresión que generaron sus ecuaciones<sup>2</sup>. Adicionalmente, al ser las ecuaciones de regresión del tipo

multiparamétrico es posible modificar uno o varios parámetros en la simulación y obtener así los resultados para propósitos de comparación y progresión de escenarios diferentes<sup>2,3,4</sup>. Esta capacidad confiere a los PS la condición de objetos definibles, condición similar a la de muchos juguetes usados como herramientas instruccionales por permitir reproducir virtual o analógicamente situaciones del mundo real; como ejemplos clásicos encontramos los carros, aviones, trenes, muñecos de personas y animales prehistóricos<sup>5</sup>.

Los recursos actuales de programación ofrecen un amplio espectro de posibilidades gráficas que superan la mera presentación de resultados en ejes cartesianos, permitiendo presentarlos en animaciones, desplazamientos, imágenes sintéticas y volumétricas tanto bi como tridimensionales, con gran precisión y con escalas de tiempo elegidas por el usuario<sup>6</sup>.

Existe disponibilidad actual de PS desarrollados para Ciencias de la Salud tanto comerciales como de software libre sin costo; éstos son generados por universidades y laboratorios sólo con fines académicos, existiendo una larga lista de ofertas<sup>10-16</sup>, lamentablemente muy dispersa e individualizada que requiere una búsqueda sistemática.

En la docencia e investigación de las Ciencias de la Salud, ninguna universidad del mundo dispone de fondos para dotar y cubrir los requerimientos de equipos y reactivos de todos los contenidos programáticos de materias básicas o clínicas, sin embargo, estos objetivos curriculares de los programas docentes deben ser igualmente logrados, lo que aunado a las cada vez mas intensas restricciones presupuestarias, relegan a meras clases teóricas de suma abstracción, el logro de los mismos<sup>7,8,9</sup>. Por su parte los PS, al compararlos con los costosos y variados equipos de laboratorio, requieren de pocos recursos: un computador y un sistema de proyección (video Beam, LCR para retroproyección o equivalentes), lo que en costo representa una muy reducida fracción del costo de la dotación laboratorial requerida para un solo montaje experimental, haciendo la salvedad que el mismo sistema de pre-

sentación puede ser usado con varios PS cubriendo diferentes temas de las asignaturas.

Institucionalmente, una universidad con serias restricciones presupuestarias, podría con los PS, no sólo mantener su nivel académico, incluso aumentarlo, al incorporar un mayor número y calidad de sesiones prácticas en cada tema y asignatura, para lograr los objetivos instruccionales propuestos. Esto es una posibilidad real dada la gran variedad de PS disponibles que abarcan la mayoría de las materias impartidas en todas las ciencias de la salud<sup>10-26</sup>.

El presente artículo describe la experiencia de más de 12 años en el uso de PS como herramienta docente y de investigación en el Departamento de Ciencias de la Salud de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad de Carabobo.

### **Materiales y Métodos**

El Departamento de Ciencias Fisiológicas, ha venido utilizando sistemáticamente los PS desde el año 1995 en los siguientes temas y con los siguientes PS:

a) Fisiología General y Biofísica:

- Difusión<sup>8</sup>
- Ósmosis<sup>8</sup>
- Transporte Activo<sup>13</sup>
- Potencial de Reposo<sup>9</sup>
- Rayos X<sup>20</sup>
- Radioactividad y sus efectos<sup>15</sup>

b) Neurofisiología:

- Potenciales locales<sup>14</sup>
- Potencial de acción<sup>14</sup>
- Cinética y farmacología de canales iónicos<sup>19</sup>
- Redes neuronales biológicas<sup>27</sup>
- Contracción muscular estriada<sup>18</sup>
- Propiocepción y Fibras Intrafusales<sup>27</sup>
- Electroencefalografía<sup>27</sup>
- Baño de órgano aislado<sup>18</sup>

La Figura 1 ilustra el arreglo experimental simulado del PS producido por J. Demster del Departamento de Farmacología de la Universidad de Strathclyde, del Reino Unido<sup>18</sup>, referido al experimento en el gato sobre la fisiología y farmacología corporal de la Acetilcolina. Mediante esta imagen se explica la colocación de los diferentes sensores arteriales, cardíacos y musculares, tanto estriado como nictitante, así como su conexión con el registrador poligráfico de 4 canales. La Figura 2 presenta la respuesta corporal ante la administración endovenosa de una dosis de acetilcolina de 10  $\mu$ g.Kg-1. Los canales de registro de arriba abajo son: Presión arterial, frecuencia cardíaca, contracción nictitante, contracción estriada. Los valores numéricos de estas variables son presentados en cualquier momento en las ventanas del marco derecho de la interfase.

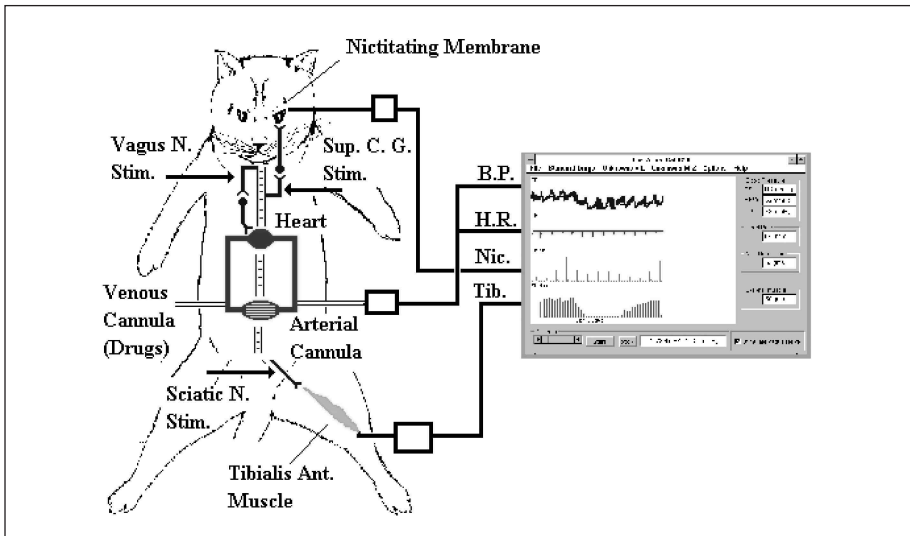
Estos PS se presentan en sesiones prácticas de 60 minutos por semana, alternando con otras sesiones prácticas y experimentos reales referidos a otros temas. Es de hacer notar que existe libre y gratuito acceso a todos los PS por parte de los alumnos<sup>27</sup>. El equipamiento audiovisual consta de un computador tipo Laptop Toshiba Satellite, Celeron M 1,6GHz, 40GB HD, 440 MB RAM, Windows XP, un proyector Video Beam Epson Powerlite S1 y un apuntador laser rojo.

Desde 1997 se realizan evaluaciones sistemáticas por parte de los alumnos de la Escuela de Medicina sobre las clases teóricas, prácticas y de los docentes que impartieron los cursos. Estas evaluaciones que utilizan escalas de Likert 0-5 (0 lo peor y 5 excelente) se realizan una vez concluido el curso y de manera anónima.

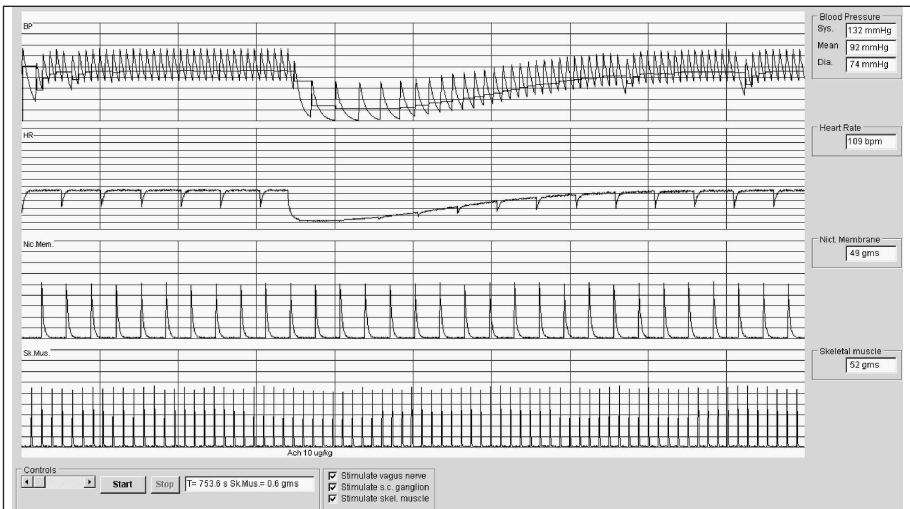
Fig.1

Arreglo experimental simulado en el gato para el estudio del efecto de fármacos sobre la presión arterial, frecuencia cardíaca y contracciones musculares. Simulador Virtual Cat de J Demster<sup>18</sup>.

Fig. 2



Respuesta de presión arterial, frecuencia cardíaca, contracción nictitante y estriada a la acetilcolina (10  $\mu$ g.Kg-1). Simulador Virtual Cat de J Demster18.



## Resultados y discusión

Luego de 12 años las evaluaciones de los PS como herramienta docente por parte de 4.250 alumnos es de  $4,78 \pm 0,34$  (media aritmética  $\pm$  desviación estándar) lo cual es un resultado muy favorable, superior a los experimentos reales según el 52,4% de los estudiantes.

Desde el punto de vista operativo, durante el uso de los PS, la atención de los alumnos se centra en el principio a ser demostrado, no existen distractores como los procedimientos preparativos a la práctica es decir, disecciones, perfusiones, conexiones de cables, líneas de fluidos, esperas de estabilización, calibración, y similares que, a pesar de ser necesarios experimentalmente, distraen al alumno de la idea central de la práctica. Los PS, si bien plantean el arreglo experimental, lo hacen de una manera concreta y breve, pasando al experimento y a sus resultados rápidamente, lo cual permite utilizar mejor el tiempo, permitiendo realizar un mucho mayor número de pruebas que con los experimentos reales. Es posible reproducir cómodamente, en una sola sesión práctica, la misma secuencia de muchos experimentos que llevaron al descubrimiento de leyes y principios fundamentales de las ciencias biomédicas, con lo que se logra optimizar en extremo el tiempo docente. Esta característica unida al relativo bajo costo del equipo de computación-proyección constituyen finalmente una excelente relación costo-beneficio a lo que hay que añadir la ausencia de sacrificio de animales<sup>7</sup>.

En nuestro criterio, la característica docente mas valiosa del uso de los PS es la interactividad de los mismos, gracias a ella, las sesiones prácticas se convierten en verdaderos laboratorios de descubrimiento para el alumno, donde cualquier inquietud, idea o duda puede ser de inmediato probada, discutida e interpretada con las conclusiones que evidencian las leyes y principios que se quieren impartir y acaparando intensamente la atención de todos los alumnos, cumpliéndose así uno de los requerimientos en la enseñanza moderna de las ciencias fisiológicas, la participación activa en la toma de decisiones en los experimentos<sup>28</sup>.

Existen montajes experimentales que por su dificultad técnica y/o su duración son muy difíciles de presentar en una sesión práctica real, los PS permiten la realización de estos experimentos con la misma precisión que los reales pero con la rapidez y facilidad de la realidad digital, ventaja de interés en la docencia e investigación de las materias básicas, pero aún más relevante para las materias clínicas, en donde imperan restricciones bioéticas para el manejo del paciente, por lo que los PS permiten la libre aplicación del natural método del ensayo y el error en el aprendizaje, imposible de aplicar en el manejo de pacientes reales.

La ausencia de costo y su libre distribución legal hacen que los PS puedan ser masivamente distribuidos a todos los alumnos cursantes de los cursos, lo cual les permite poseer un laboratorio gratuito en casa y realizar tareas experimentales sin las dificultades de un laboratorio real y con la ventaja adicional de fomentar su creatividad y autoformación, probando nuevas ideas, experimentos o modelos, para luego discutirlos con sus compañeros y profesores<sup>28</sup>.

Desde el punto de vista de las aplicaciones en investigación y en la formación de recursos humanos en ciencia, los PS ofrecen la ventaja de constituir modelos matemáticamente validados lo que explica que de 5 a 20% de las publicaciones científicas indizadas en la actualidad, utilizan PS, con la salvedad que para algunas áreas, este porcentaje puede llegar a más del 70%.

La investigación es un área tradicionalmente afectada por las restricciones presupuestarias, por lo que el uso de los PS representa una alternativa eficiente dado la excelente relación costo-beneficio, permitir la realización de pruebas piloto a un costo extremadamente bajo, además del alto rendimiento en el tiempo de experimentación. En pocas horas, mediante los PS, es posible determinar la viabilidad de un proyecto, así como la realización de pruebas rápidas de hipótesis, modificaciones sobre la marcha que enriquecen los proyectos, incrementar la creatividad del investigador, y finalmente, permitirle la realización de los experimentos en cualquier momento y lugar, aún fuera del laboratorio.



El aprovechar las grandes ventajas del uso de los PS en docencia e investigación exige al docente el pleno dominio del tema sometido a simulación, no estamos refiriéndonos al uso del simulador mismo, el cual es generalmente fácil y sólo requiere algunos minutos, ocasionalmente horas para su dominio, nos referimos al tema sometido a simulación, por ejemplo: contracción muscular, generación del electrocardiograma, crecimiento bacteriano, trastornos del equilibrio ácido-base, efectos de los segundos mensajeros, control de la glicemia, por solo nombrar algunos. Este pleno dominio del tema permitirá orientar la interpretación y discusión de los resultados del PS y evitará lo que hemos denominado el “Efecto Pandora”, situación inadecuada en la que, gracias a la interactividad alumno-docente típica del uso de los PS, los alumnos sugieren probar un escenario interesante, un cambio de uno o varios parámetros y una vez generados los resultados, el docente no esté en capacidad de interpretarlos, es decir, al abrir la necesaria creatividad de los alumnos, se obtiene un resultado inesperado y adverso al proceso enseñanza-aprendizaje. Una forma muy eficiente de evitar el Efecto Pandora, es la planificación de los experimentos o escenarios a ser simulados, especialmente de los intervalos o rangos de variación de los parámetros de la simulación, los cuales deben abarcar valores fisiológicos o patológicos de interés. Esta planificación se expresa en un guión de simulación, el cual deberá ser lo suficientemente flexible para permitir la interactividad alumno-docente-PS.

Como todo proceso salud-enfermedad, el uso de los PS debe ser precedida de la descripción en un problema de salud-enfermedad para así despertar el interés y la aplicabilidad del conocimiento del alumno, luego, se debe generar, interactivamente, varias hipótesis las cuales van a ser probadas en la simulación y al obtenerse los resultados se requiere nuevamente la interpretación y discusión colectiva, para repetir el proceso hasta agotar el tema planificado, siempre teniendo en cuenta la posibilidad de simular escenarios sugeridos por los alumnos, lo cual es recomendable hacerlo retando a la creatividad in situ y a posteriori, preguntas como: ¿Qué les

gustaría probar, aumentar la temperatura, la presión, la dosis, el estímulo?, ¿Por qué quiere cambiar este parámetro y no otro?, este tipo de preguntas son altamente deseables para despertar la creatividad, el pensamiento crítico y asociativo<sup>28</sup>.

Un gran riesgo del uso de los PS es la enorme tentación de sustituir todas las sesiones prácticas reales, aun teniendo los equipos y los recursos necesarios para su realización, por simulaciones. Este error es frecuente, dadas las facilidades ya comentadas del uso de los PS, sin embargo, es necesario un equilibrio entre el número de sesiones de simulación y de experimentos reales, debe darse prioridad al experimento real siempre que éste sea posible, hay que recordar que siempre habrá tiempo para realizar una simulación y que la maravillosa posibilidad de participar en un experimento real no puede ser desperdiciada<sup>28</sup>.

Esta experiencia favorable ha sido asimilada tanto por la Dirección de Investigación y Producción Intelectual y el Decanato de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad de Carabobo, quienes desde el año 2004 fomentaron dentro del portal de investigación de la Facultad<sup>27</sup> un acceso al repositorio de PS, éste posee una recopilación sistemática de mas de 15 años que incluye los propios programas y en pocos casos, los hipervínculos correspondientes a PS que corren en línea. Este repositorio es el mas grande disponible en internet en el mundo<sup>27</sup>, en la actualidad ofrece 137 PS, abarcando aproximadamente el 75% de las asignaturas de Ciencias de la Salud (Medicina, Enfermería, Bioanálisis, Técnico Superior Universitario en Cardiopulmonar y Técnico Superior Universitario en Citotecnología).

En la actualidad el uso de los PS constituye una muy valiosa herramienta docente y de investigación en la educación superior, sin embargo hay que recordar que como toda herramienta, para el aprovechamiento de todo su potencial, requiere un uso adecuado basado en el conocimiento a profundidad de los temas a ser sometidos a simulación.

## Agradecimiento

El autor expresa su profundo agradecimiento al Ing. Wilfredo Acosta, Administrador del Portal de la Dirección de Investigación y Producción Intelectual, Sede Carabobo, de la Facultad de Ciencias de la Salud, de la Universidad de Carabobo. Parte de las investigaciones presentadas en el presente artículo han contado con financiamiento del Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad de Carabobo (CDCH-UC).

## Bibliografía

1. Interactive reference descriptions of cellular electrophysiology models. Nickerson D, Buist M. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.* 2008;2008:2427-30.
2. Angewandte Statistik, Anwendung statistischer Methoden. Sachs L. Springer-Verlag, Heidelberg, 1982, p.329.
3. Systematic review of the use and value of computer simulation modelling in population health and health care delivery. Fone D, Hollinghurst S, Temple M, Round A, Lester N, Weighman A, Roberts K, Coyle E, Bevan G, Palmer S. *J Public Health Med,* 2003; 25:325-335.
4. Teaching integrative physiology using the quantitative circulatory physiology model and case discussion method: evaluation of the learning experience. Rodríguez-Barbero A, López-Novoa JM. *Adv Physiol Educ.* 2008;32:304-11.
5. Back to the future with hands-on science: students' perceptions of learning anatomy and physiology. Johnston AN, McAllister M. 0; *J Nurs Educ.* 2008;47:417-21.
6. Computer-based simulation as a teaching tool for residents treating patients with cancer-related pain crises. Harting B, Hasler S, Abrams R, Odwazny R, McNutt R. 0; *Qual Manag Health Care.* 2008;17:192-9.
7. Simulation of physiology experiments-an alternative to animal use. Nageswari KS, Devi MS, Sharma R. 0; *Indian J Physiol Pharmacol.* 2007;51:354-60.

8. Computer simulation of diffusion processes as a teaching aid. Holmgren, M., Budelli, R. & Diez-Martinez, O. *Comput. Meth. Prog. Biomed.* 1988, 27, 5-9.
9. Teaching field potentials: a microcomputer simulation of the nerve action potential in a bidimensional conductor. Soto E, Vega R. *Int. J. Biomed. Comput.* 1990; 26:220-4.
10. Computer simulation for teaching membrane potential fundamentals. Soto, E. *Int. J. Biomed. Comput.* 1989; 24:119-122.
11. Membrane potential simulation program for IBM-PC0 compatible equipment for physiology and biology students. Barry PH. *Adv. Physiol. Educ.* 1990; 4:S23-7.
12. Ventilatory control (Ventrol) simulation for education. Boyle J. *Adv. Physiol. Educ.* 1991; 6:S29-S32.
13. Simulation of ionic transport mediated by membrane proteins for educational purposes. Holmgren M, Diez-Martínez O. *Comput Meth Prog Biomed*, 1989;29:50-4.
14. Generación de impulso nervioso: Un modelo de simulación para microcomputadoras personales como herramienta auxiliar en la docencia universitaria. Morán O, Smith J, Requena J. *Interciencia* 1986;11:69-74.
15. Simulación de una explosión nuclear en Valencia, Venezuela: Análisis biofísico y médico. Bosco R, Malpica O, Eblen-Zajjur A. *Interciencia* 2004;29:485-9
16. Teaching pulmonary gas exchange physiology using computer modeling. Kapitan KS. 0; *Adv Physiol Educ.* 2008;32:61-4.
17. Effects of records length selection on the accuracy of spectral estimates of heart rate variability: a simulation study. Pinna GD, Maestri R, Sanarico M. *IEEE Trans Biomed Eng.* 1996;43:757-9.
18. Organ Bath Simulator, J Dempster, Department of Pharmacology, University of Strathclyde, UK. [http://spider.science.strath.ac.uk/sipbs/software\\_sims.htm](http://spider.science.strath.ac.uk/sipbs/software_sims.htm)
19. Spatch, ionic channel simulator. R Cannon, C Hammond, INMED - INSERM, France. [http://www.compneuro.org/spatch/index\\_en.html](http://www.compneuro.org/spatch/index_en.html)

20. X Ray Simulator, School of Health & Social Care, Department of Radiology, Medical Imaging / Ultrasound, <http://www.tees.ac.uk/schools/soh/subjects/radiography/simulator.cfm>
21. A web-based simulation of a longitudinal clinic used in a 4-week ambulatory rotation: a cohort study. Wong RW, Lochnan HA. 0;*BMC Med Educ.* 2009 Feb 2;9:8.
22. Pharmacokinetic/pharmacodynamic modeling to predict in vivo effectiveness of various dosing regimens of piperacillin/tazobactam and piperacillin monotherapy against gram-negative pulmonary isolates from patients managed in intensive care units in 2002. Frei CR, Burgess DS. 0;*Clin Ther.*2008;30:2335-41.
23. Quantitative Circulatory Physiology: an integrative mathematical model of human physiology for medical education. Abram SR, Hodnett BL, Summers RL, Coleman TG, Hester RL. 0;*Adv Physiol Educ.* 2007;31:202-10.
24. Computer simulation of introductory neurophysiology. McGrath P, Kucera R, Smith W. 0;*Adv Physiol Educ.*2003;27:120-9.
25. Determinants of cardiac function: simulation of a dynamic cardiac pump for physiology instruction. Davis MJ, Gore RW. 0;*Adv Physiol Educ.* 2001;25:13-35.
26. "Virtual" experiment for understanding the electrocardiogram and the mean electrical axis.Anderson J, DiCarlo SE. 0;*Adv Physiol Educ.* 2000;23:1-17.
27. Dirección de Investigación y Producción Intelectual, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad de Carabobo. [www.investigacion.fcs.uc.edu.ve](http://www.investigacion.fcs.uc.edu.ve))
28. Hands-on laboratory experience in teaching-learning physiology. Randall W, Burkholder T. *Am J Physiol.* 1990;259(6 Pt 3):S4-7.