
VENTAJAS DEL APRENDIZAJE VIRTUAL EN EL ÁREA MÉDICA. UTILIZACIÓN DE UN SIMULADOR DE CONTROL PULMONAR DEL PH SANGUINEO

OLGA LETICIA FUCHS GÁMEZ
ENRIQUE RUIZ-VELASCO SÁNCHEZ

RESUMEN:

El generar estrategias educacionales aprovechando las nuevas metodologías y las herramientas de informática y computación pueden ser un complemento a las actividades desarrolladas en el salón de clase y en rotaciones clínicas. En este trabajo se presenta el desarrollo y la utilización de un simulador de control pulmonar del PH sanguíneo para el aprendizaje en el Área Médica.

Los modelos matemáticos son una herramienta muy importante para el estudio de los sistemas biológicos, médicos y físicos; nos permite integrar los conocimientos empíricos existentes y darles una interpretación con mejores bases metodológicas. Los modelos del pulmón han evolucionado desde la creación de modelos muy sencillos hasta los más realistas basados en el análisis de la ventilación y perfusión del pulmón. Por otro lado el avance tecnológico de los sistemas computacionales y el software han permitido la creación de simuladores para realizar experimentos en las computadoras en lugar de hacerlos en organismos vivos. Tal es el caso de la realidad virtual, que permite al médico realizar una serie de maniobras quirúrgicas en la computadora antes de intervenir a seres humanos. Esto último resulta fundamental en la práctica médica, ya que si se intenta experimentar con un paciente se podría causar su muerte.

PALABRAS CLAVE: aprendizaje, simuladores, área médica.

INTRODUCCIÓN

Para confrontar los nuevos retos que nos presenta la situación mundial actual en la educación médica y mantener altos estándares de calidad es necesario que los profesores en las facultades de medicina entiendan los cambios acelerados que están ocurriendo actualmente y que promuevan el autoaprendizaje y la participación activa de los estudiantes innovando sus metodologías

educacionales. Es indudable que las nuevas tecnologías de la información y de las telecomunicaciones han posibilitado la creación de nuevos espacios de interrelaciones humanas y que su incursión en la educación ha generado un nuevo paradigma que rompe con el tradicional y da explicaciones nuevas a las relaciones entre los actores del proceso pedagógico, al aprendizaje y a las formas de enseñanza.

Los modelos educativos actuales deben fomentar ambientes de aprendizaje interactivos, sincrónicos y asincrónicos, donde el docente se encuentre comprometido con el aprendizaje de sus alumnos y cumpla un papel como asesor y facilitador. Los estudiantes se convierten en actores de cambio con habilidades y modos de trabajo innovadores en los cuales utilizan tecnologías de vanguardia, materiales didácticos, recursos de información y contenidos digitales.

Una gran oportunidad de desarrollo del aprendizaje nos la ofrecen los entornos virtuales. Caracterizar el aprendizaje en entornos virtuales como un proceso de construcción supone, esencialmente, afirmar que lo que el alumno aprende en un entorno virtual no es simplemente una copia o una reproducción de lo que en ese entorno se le presenta como contenido a aprender, sino una reelaboración de este contenido mediada por la estructura cognitiva del aprendiz. El aprendizaje virtual, por tanto, no se entiende como una mera traslación o transposición del contenido externo a la mente del alumno, sino como un proceso de (re)construcción personal de ese contenido que se realiza en función, y a partir, de un amplio conjunto de elementos que conforman la estructura cognitiva del aprendiz: capacidades cognitivas básicas, conocimiento específico de dominio, estrategias de aprendizaje, capacidades metacognitivas y de autorregulación, factores afectivos, motivaciones y metas, representaciones mutuas y expectativas.

Facilitar el aprendizaje virtual, por tanto, no es simplemente una cuestión de presentar información o de plantear tareas a realizar por parte del alumno. Es,

esencialmente, seguir de manera continuada el proceso de aprendizaje que éste desarrolla, y ofrecerle los apoyos y soportes que requiera en aquellos momentos en que esos apoyos y soportes sean necesarios.

En los ambientes virtuales de aprendizaje son necesarios los recursos y materiales que apoyen a los estudiantes en la construcción del conocimiento. Estos recursos pueden ser mensajes ya sean escritos o visuales, pero en un ambiente de este tipo es necesario hacer estos mensajes interactivos para así lograr transmitir la información adecuada a los estudiantes y lograr un mejor impacto en ellos.

Un sistema de aprendizaje interactivo debe ser capaz de proporcionar al usuario facilidades como la navegación, retroalimentación y evaluación, así como la colaboración.

Las teorías constructivistas se caracterizan por permitir a los alumnos una cierta autonomía en la construcción de sus conocimientos. El énfasis no se pone en los contenidos o en el profesor, sino en los entornos de aprendizaje y en los propios alumnos. El resultado de la instrucción dependerá por tanto, de las decisiones y recursos que se plantean en el contexto o entornos de aprendizaje. Las teorías constructivistas se caracterizan por retomar algunos postulados de la teoría genética con la cual comparten el concepto de actividad mental constructiva, la competencia comunicativa y la capacidad de aprendizaje. La teoría de la flexibilidad cognitiva es presentada por los constructivistas como el remedio para los problemas que se producen en la adquisición de aprendizajes complejos. Se consideran aprendizajes complejos aquellos en los que intervienen múltiples variables cuya combinación puede ser diferente en función del contexto o de la situación. Serían ejemplos de este tipo de aprendizajes los diagnósticos en medicina, la interpretación literaria, la consideración de los valores, etc. Estos aprendizajes requieren habilidades para representar un determinado conocimiento desde diferentes perspectivas.

LOS SIMULADORES

Un simulador es una configuración de hardware y software en la que, mediante algoritmos de cálculo, se reproduce el comportamiento de un determinado proceso o sistema físico. En este proceso se sustituyen las situaciones reales por otras, creadas artificialmente de las cuales se aprenden ciertas acciones, habilidades, hábitos, etc., que posteriormente se transfieren a una situación de la vida real con igual efectividad; ésta es una actividad en la que no solo se acumula información teórica, sino que se la lleva a la práctica.

Características en la educación:

1. Apoyan aprendizaje de tipo experimental y conjetural.
2. Permiten la ejercitación del aprendizaje.
3. Suministran un entorno de aprendizaje abierto basado en modelos reales.
4. Alto nivel de interactividad.
5. Tienen por objeto enseñar un determinado contenido.
6. El usuario trata de entender las características de los fenómenos, cómo controlarlos o que hacer ante diferentes circunstancias.
7. Promueven situaciones excitantes o entretenidas que sirven de contexto al aprendizaje de un determinado tema.
8. El usuario es un ser activo, convirtiéndose en el constructor de su aprendizaje a partir de su propia experiencia.

La simulación por computadora es un intento de modelar situaciones de la vida real por medio de un programa de computadora, lo que requiere ser estudiado para ver cómo es que trabaja el sistema. La simulación por computadora se ha convertido en una parte útil del modelado de muchos sistemas naturales en física, química y biología, y sistemas humanos como la economía y las ciencias

sociales (sociología computacional), su comportamiento cambiará cada simulación según el conjunto de parámetros iniciales supuestos por el entorno.

Para tener una definición exacta del sistema que se desea simular, es necesario hacer primeramente un análisis preliminar de éste, con el fin de determinar la interacción con otros sistemas, las restricciones del sistema, las variables que interactúan dentro del sistema y sus interrelaciones, las medidas de efectividad que se van a utilizar para definir y estudiar el sistema y los resultados que se esperan obtener del estudio. Una vez definidos se construye el modelo con el cual se obtendrán los resultados deseados. En la formulación del modelo es necesario definir todas las variables que forman parte de él, sus relaciones lógicas y los diagramas de flujo que describan en forma completa el modelo. Es determinar los datos que el modelo va a requerir para producir los resultados deseados. La experimentación con el modelo consiste en generar los datos deseados y en realizar un análisis de sensibilidad de los índices requeridos, después se interpretan los resultados que arroja la simulación y con base a esto se toma una decisión.

El diseño del modelo consiste en construir un conjunto de diagramas y relaciones matemáticas que representan el funcionamiento del sistema, preparado para aplicar determinado tipo de simulación. La siguiente etapa consiste en construir el software y las interfaces de usuarios necesarias para el funcionamiento del simulador.

Los modelos del pulmón han evolucionado desde la creación de modelos muy sencillos hasta los más realistas basados en el análisis de la ventilación y perfusión del pulmón (Naylor et al., 1971). El avance tecnológico de los sistemas computacionales y el software ha permitido la creación de simuladores para realizar experimentos en las computadoras en lugar de hacerlos en organismos vivos (Bower y Beeman, 1997), tal es el caso de la realidad virtual, que permite al médico realizar una serie de maniobras quirúrgicas en la computadora antes de intervenir a seres humanos.

DESARROLLO DEL SIMULADOR DE CONTROL PULMONAR DEL PH SANGUINEO

En el proceso respiratorio el intercambio gaseoso se produce siempre por difusión. El proceso de difusión se realiza cuando el oxígeno y el dióxido de carbono se desplazan entre el aire alveolar y la sangre. Los gases difunden desde un sitio de alta presión hacia otra de baja presión (Latorre et al., 1996). Este intercambio de los gases en la capa alvéolo pulmonar sigue la ley de Fick (West, 2002).

La ley de Fick describe la difusión de los gases a través de los tejidos; la cantidad de un gas que cruza la membrana alvéolo pulmonar es directamente proporcional a la superficie del tejido y a la diferencia de concentración del gas entre los dos lados, e inversamente proporcional al espesor de la membrana (West, 2002). Esta ley permite describir la difusión de los gases a través de los tejidos. Indica que la velocidad de traslado de un gas a través de una membrana de tejido es directamente proporcional a la superficie del tejido y la diferencia de concentración del gas entre los dos lados, e inversamente proporcional al espesor de la membrana:

$$D_{gas} = DL \cdot (P_A - P_v)$$

Donde:

D_{gas} = Difusión del gas.

DL = Es la capacidad de difusión del pulmón, que involucra al coeficiente de difusión y a las características anatómicas de la membrana.

P_A y P_v = son las presiones parciales del gas alveolar y la sangre capilar.

$$DL = \frac{A}{T} D$$

A = superficie de área.

T = grosor de la membrana.

D = coeficiente de difusión.

La velocidad de difusión de un gas a través de la membrana alvéolo-capilar depende de al menos 3 factores físicos:

1. La concentración de las moléculas de un gas y en consecuencia su presión parcial.
2. El área disponible para la difusión.
3. El grosor de la membrana alvéolo-capilar.

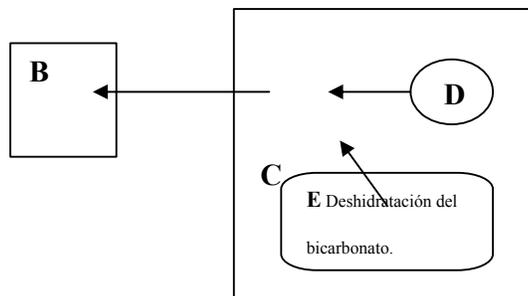
El intercambio de los gases en el pulmón se realiza entre el compartimento alveolar y sanguíneo. La ventilación de los gases depende principalmente de su difusión a través de la capa alvéolo capilar.

Los valores anatómicos que se usaron para el simulador fueron:

Superficie de la barrera hemato-gaseosa del pulmón: 50 a 100 m² (se consideró al pulmón como un sólo compartimiento; un alveolo con esta superficie).

DESARROLLO DE UN MODELO PARA LA VENTILACIÓN DEL BIÓXIDO DE CARBONO

Para el simulador de la gasometría del CO₂, se diseñó el siguiente modelo compartamental:



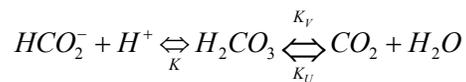
Donde:

El compartimiento B es el espacio alveolar.

El compartimiento C es el espacio sanguíneo.

El compartimiento D son los eritrocitos.

El compartimiento E es la reacción química de la deshidratación del bicarbonato:



Donde:

K es la constante de equilibrio para la ionización del ácido carbónico.

K_V y K_U son las constantes de velocidad para la reacción directa e inversa de las reacciones de deshidratación e hidratación del CO_2 .

El sistema de ecuaciones diferenciales para el modelo es:

$$\frac{\partial [CO_2]_c}{\partial t} = \alpha \cdot [CO_2]_D + \beta \cdot [CO_2]_E - \gamma \cdot [CO_2]_C$$

$$\frac{\partial [CO_2]_D}{\partial t} = -\alpha \cdot [CO_2]_D$$

$$\frac{\partial [CO_2]_E}{\partial t} = \beta \cdot [CO_2]_E$$

Donde:

α , β y γ son coeficientes que denotan la velocidad de paso del CO_2 de un compartimiento a otro. Aquí, para el proceso de difusión, α y γ involucran la ley de Fick. Las propiedades físicas de la membrana del eritrocito afectan el valor de α . En tanto que, las propiedades físicas de la capa alvéolo capilar modifican

el valor de γ . Por otro lado, β es afectada por la constante de equilibrio K y las velocidades de hidratación (K_V) y deshidratación (K_U) del CO_2 .

El paso de CO_2 del compartimiento D al C y del C al B siguen la ley de Fick.

$$\frac{\partial[CO_2]_C}{\partial t} = \frac{DMCO_2}{vol(C)} \cdot (P_{CO_2}(C) - P_{CO_2}(B))$$

Donde:

$DMCO_2$ es la capacidad de difusión del CO_2 por la membrana alvéolo capilar (mM / sec x mmHg).

$PCO_2(C)$ es la presión parcial de CO_2 en sangre.

$PCO_2(B)$ es la presión parcial de CO_2 en los alvéolos.

La ecuación diferencial que describe el paso de CO_2 del eritrocito (D) al plasma es:

$$\frac{\partial[CO_2]_C}{\partial t} = \frac{DRCO_2}{vol(C)} \cdot (P_{CO_2}(D) - P_{CO_2}(C))$$

Donde:

$DRCO_2$ es la capacidad de difusión del CO_2 del eritrocito al plasma.

$PCO_2(D)$ es la presión parcial del CO_2 en el eritrocito.

$PCO_2(C)$ es la presión parcial del CO_2 en el plasma.

La ecuación diferencial usada para describir las reacciones bioquímicas del CO_2 y el bicarbonato es:

$$\frac{\partial[CO_2]_C}{\partial t} = \frac{K_V}{K} \cdot [HCO_3^-] \cdot [H^+] - K_U \cdot [CO_2]$$

Esta ecuación describe un proceso de primer orden que sigue la ley de acción de masas.

En el simulador de la gasometría de CO₂ se usaron las ecuaciones diferenciales anteriores y se resolvieron numéricamente por el método de Euler (Huerta et al. 2001; campos, 2003; Nieves, 1995; Edwards y Penney, 1994; Zill, 1986). Los coeficientes se determinaron empíricamente hasta ajustar los resultados a los valores clínicos normales.

CONCLUSIONES O DISCUSIÓN

Se desarrolló un programa computacional interactivo que permite simular los procesos pulmonares que regulan el pH sanguíneo. Presenta dos niveles de interacción: (1) procesos pulmonares fisiológicos y (2) procesos fisiopatológicos que llevan a la acidosis y a la alcalosis respiratoria.

Los niveles de interacción se presentan en la misma interfaz del usuario. El simulador está diseñado de manera que su uso sea intuitivo y lógico. Esta interfaz presenta un bloque que permite mostrar los valores normales del CO₂ sanguíneo y alveolar, así como sus concentraciones. En la parte central de la interfaz, se destaca un alvéolo y la representación gráfica de un vaso sanguíneo pulmonar dividido mediante colores en dos partes. Una izquierda, de color azul que representa la parte no oxigenada y una derecha roja que representa la parte oxigenada. En cada una de las partes se muestran los valores de presiones de los gases y sus concentraciones, así como el pH sanguíneo correspondiente. En el diseño de la interfaz del usuario se eligió el color amarillo para las casillas que permiten la entrada de valores de las variables necesarias para la simulación y el color verde para las casillas que muestran los valores de las variables calculadas en la simulación: pH, presión parcial de CO₂ y su concentración correspondiente.

Del lado izquierdo, están colocados los botones que permiten la simulación de condiciones fisiológicas y la simulación de acidosis y alcalosis respiratoria respectivamente.

Las variables de entrada se pueden ingresar mediante una barra de deslizamiento o directamente en la casilla correspondiente. La simulación en condiciones fisiológicas permite estudiar de manera interactiva el paso del CO₂ por los pulmones. Se puede ingresar un intervalo amplio de presiones parciales sanguíneas y alveolares del gas. En el caso de que se igualen las presiones alveolares y sanguíneas se llega a la muerte.

El simulador permite explorar teóricamente las consecuencias de invertir la diferencia de presiones entre el alveolo y la sangre; como consecuencia el CO₂ entraría a los pulmones en lugar de salir. En este nivel de simulación el estudiante puede llegar a concluir como el aparato respiratorio es un sistema que permite mantener la vida en un intervalo amplio de condiciones, siempre y cuando se encuentre sano. Se puede advertir que el pH sanguíneo se mantiene en un intervalo de valores estrecho aún con cambios relativamente amplios de las presiones parciales del gas.

La simulación de la acidosis respiratoria permite estudiar cómo enfermedades pulmonares que disminuye el proceso de ventilación-perfusión incrementan la concentración del CO₂ sanguíneo y en consecuencia disminuyen el pH sanguíneo. El grado de acidosis respiratoria es consecuencia de la gravedad de la enfermedad pulmonar que la causa. El simulador asocia tres niveles de gravedad: (1) fulminante, (2) enfermedad pulmonar aguda que pone en riesgo de muerte al paciente, pero que se puede tratar oportunamente y (3) enfermedad pulmonar crónica.

La simulación de la alcalosis respiratoria permite estudiar cómo la hiperventilación lleva al paciente a una alcalosis respiratoria. Los padecimientos que llevan a la alcalosis respiratoria generalmente no producen la muerte puesto que la hiperventilación requiere de un gasto de energía mayor; finalmente el paciente tiene que disminuir la ventilación hasta llegar a la acidosis respiratoria. En consecuencia la alcalosis respiratoria generalmente es transitoria.

La interfaz de usuario de este simulador está diseñada para un fácil manejo. Con los valores iniciales de presión parcial de CO₂ en los alvéolos y en la sangre de las arterias pulmonares, se calculan los valores de CO₂ en la sangre de las venas pulmonares y por lo tanto en el lado arterial general (gasometría). Las modificaciones en la concentración de CO₂ permiten calcular el pH de la sangre. Con este simulador el usuario puede comprender la relación entre variables y la combinación de valores que pueden matar a un paciente. Cada simulación se debe graficar para tener una mejor comprensión de los procesos bioquímicos que suceden con el control del pH. Variaciones pequeñas del pH pueden ocasionar la muerte.

AGRADECIMIENTOS

Trabajo apoyado por la BUAP y por el CESE

BIBLIOGRAFÍA

- Bower, J. M., Beeman, D. (1997). *The book of GENESIS*. Springer-Verlang, Nueva York.
- Campos A. D. F. (2003). *Introducción a los métodos numéricos: Software en Basic y aplicaciones en hidrología superficial*, UASLP, México.
- Edwards C. H. y Penney, D. E. (1994). *Ecuaciones diferenciales elementales y problemas con condiciones en la frontera*. Prentice Hall, México.
- Huerta A. A., Sarrate, J., Rodríguez-Ferran, (2001). *A. Métodos numéricos: Introducción, aplicaciones y programación*. Ediciones UPC, España,
- Latorre, R.; López-Barneo, J.; Bezanilla, F. y Llinas, R. (1996). *Biofísica y fisiología celular*. Universidad de Sevilla, España, pp 87-91,
- Taylor, T. H. Balintfy, Burdick, Kong Chu. (1971). *Técnicas de simulación en computadoras*. Limusa, México.
- Nieves, H. A. A. (1995), *Métodos numéricos aplicados a la ingeniería*. CECSA, México.
- West, J. B. (2002). *Fisiología respiratoria*. 6ta. edición, Panamericana, Buenos Aires, Argentina.
- Zill, D. G. (1986). *Ecuaciones diferenciales con aplicaciones*. Iberoamericana, México.