

*SIMULADOR  
HERMODINAMICO  
CARDIACO*  
**«HEMOSIM-1»**

---

**Anfora**

*Leonardo Aranzazu M.*

Ingeniero de Sistemas

*Andrea Villada A.*

Ingeniera de Sistemas

Profesores Universidad Autónoma de Manizales

*Bernardo Ocampo T.*

Médico Anestesiólogo

Profesor Titular de Anestesia y Reanimación.

Facultad de Medicina Universidad de Caldas.

Profesor Facultad de Fisioteria

Universidad Autónoma de Manizales

*Gustavo Reyes P.*

Médico Anestesiólogo

Intensivista de la Unidad de Cuidados Intensivos

Hospital de Caldas

**ASESOR**

*Mauricio Alba C.*

Ingeniero de Sistemas

Decano Facultad Ingeniería de Sistemas

Universidad Autónoma de Manizales

Es de gran utilidad para los expertos en el área médica simular comportamientos de un determinado sistema del cuerpo humano. Es así como **HEMOSIM 1** pretende ser un módulo de vigilancia, control y diagnóstico de un paciente que presente diversos desórdenes hemodinámicos.

Sistemas de estas características facilitan y hacen más técnico el manejo de los pacientes llamados críticos, gravemente enfermos, que ingresan a la UCI, así como el manejo de pacientes de alto riesgo anestésico que son llevados a cirugía.

Hemosim 1 busca registrar los cambios hemodinámicos, representarlos gráficamente permitiendo el seguimiento del paciente y simulando respuestas a dosis variables de drogas en pacientes críticamente enfermos.

## PRESENTACION

*«El fundamento racional para usar la simulación en cualquier disciplina es la búsqueda constante del hombre por adquirir conocimientos relativos a la predicción del futuro»*

**NAYLOR**

La teoría de sistemas, base fundamental de la Ingeniería de Sistemas, busca una mejor comunicación entre especialistas de diferentes campos, según la definición dada por Von Bertalanffy gestor de este movimiento: «Existe una tendencia general hacia la integración en todas las ciencias, tanto naturales como sociales», de ahí la posibilidad

de realizar proyectos que comprendan dos áreas diferentes: Ingeniería de Sistemas y Medicina (1) BER90.

Se proyectó el desarrollo de un sistema de evaluación de la función cardíaca a través de la evaluación <sup>(2)</sup>hemodinámica para el registro de los datos obtenidos durante la atención del paciente y la simulación de situaciones en respuesta a acciones terapéuticas producidas por las diferentes drogas usadas rutinariamente en el tratamiento de <sup>3</sup>patologías que afecten dicha función.

Tomando los datos hemodinámicos

resultantes de la monitoría invasiva (catéter de Swan Ganz, gasto cardíaco, saturación del oxígeno venoso mixto) usados rutinariamente por el equipo de profesionales que maneja pacientes críticamente enfermos, se diseñó un sistema que sirviera simultáneamente para:

1. Seguimiento de la evolución clínica en respuesta a la enfermedad y a las acciones terapéuticas.
2. Simulación de respuesta a acciones terapéuticas con el uso de las drogas frecuentemente usadas o combinación de las mismas, en el manejo de estas situaciones patológicas.
3. Simulación de respuestas clíni-

cas a cambios de variables.

4. Soporte al diagnóstico de la situación hemodinámica del paciente.

Para este diseño se utilizó el concepto y principio de SISTEMA DINAMICO: un sumario abstracto de los datos de observación de un sistema real. Los modelos construidos con la ayuda de la dinámica de sistemas, se basan en los conocimientos de especialistas en el sistema modelado.

La teoría de sistemas realimentada suministra estructuras básicas, permitiendo generar gran variedad de comportamientos dinámicos, los cuales se pueden emplear en la



descripción de los comportamientos encontrados en la realidad.

Adicionalmente Hemosim I sirve para el entrenamiento de estudiantes de pregrado en las profesiones de ciencias de la salud y de los estudiantes de especialización (cirugía, anestesiología, medicina interna, etc.), en el manejo de pacientes críticamente enfermos.

### JUSTIFICACION

La Ingeniería de Sistemas es una profesión que por sus características ofrece una gran multiplicidad de aplicaciones en diversas áreas, algunas de ellas poco exploradas en la Facultad, como es el caso de las ciencias médicas y en general de la salud.

Dichas aplicaciones pueden ser un apoyo de gran valor en el desempeño de estos profesionales, creando nuevas técnicas de análisis, disminuyendo riesgos, agilizando labores propias tanto en el campo del diagnóstico como en las acciones terapéuticas a aplicar y puede ser de gran utilidad para los expertos en dicha área, simular comportamientos de un determinado sistema del cuerpo humano como un módulo de vigilancia, seguimiento y «diagnóstico» de un paciente que presente diferentes patologías.

Sistemas de estas características facilitan y hacen más técnico el manejo de los pacientes llamados críticos, gravemente enfermos, que ingresan a las Unidades de Cuidados Intensivo (UCI), así como el manejo de pacientes de «alto riesgo anestésico» que son llevados a cirugía.

El Departamento de Caldas es reconocido a nivel nacional por su desarrollo en el campo de la salud, debido entre otras razones, a la existencia de varias Facultades en esta área, vinculadas a las instituciones prestadoras de servicio (hospitales de diferentes niveles).

El aprendizaje de las diferentes técnicas de monitorización, análisis de datos, resultados terapéuticos, evolución clínica, etc. de los pacientes de la UCI, es muy compleja y limitada para los estudiantes de pre y post-grado y aún para los especialistas, porque su estado no les permite un libre acercamiento a los métodos diagnósticos y a la aplicación y respuesta de diferentes acciones terapéuticas aplicados a los pacientes. La simulación de condiciones normales, situaciones clínicas y de respuesta a tratamientos, permitirá un mejor entrenamiento para afrontar el manejo de pacientes en su desempeño clínico, por lo cual este sistema



servirá ampliamente para la formación del personal profesional allí vinculado y será un soporte significativo en las actividades investigativas concernientes al tema en discusión.

Siendo así, este estudio promueve el desarrollo de investigaciones interdisciplinarias y contribuye al desarrollo de la región, específicamente en el área de la salud por las siguientes razones:

- \* Es un área que permite desarrollar proyectos cuyos directos beneficiarios serán los pacientes de todas las clases sociales y de diferentes entidades que llegan a las UCI.
- \* La tecnología en este campo es muy costosa y no siempre se adecúa a la situación de salud en Colombia y a la situación económica de sus instituciones, por lo

cual es necesario que el sistema se desarrolle de acuerdo a los requerimientos de la región, satisfaciendo las necesidades establecidas por los expertos en el área de la salud.

#### **METODOLOGIA**

Para el estudio del sistema Hemodinámico Cardíaco desde el punto de vista de la Dinámica de Sistemas, se empleó básicamente el método propuesto por Javier Aracil.

El sistema tiene la propiedad de permitir la adición y modificación de las drogas (variables exógenas) siendo la validación del modelo modificado, responsabilidad de los expertos en las etapas de pruebas posteriores a la operación.

El enfoque metodológico base utili-

zado para la construcción de software es análisis y diseño orientado a objetos, propuesto por Coad y Yourdon, con algunos tópicos de la metodología de Jorge Villalobos en cuanto a documentación. La implantación del sistema se desarrolla en el lenguaje de programación Borland C++ versión 3.1 en plataforma Windows.

Las simulaciones desarrolladas en el paradigma orientado a objetos son rápidas, proveen modelos y ejecutables portables y una gran variedad de herramientas complementarias (JEF92).

## DESARROLLO DEL PROYECTO

La monitoría hemodinámica de la función cardíaca permite la **evaluación de cambios mínimos o detectables rápidamente**, brindando así la posibilidad de anticiparse a efectos patológicos desfavorables dando un tratamiento correctivo, preventivo y evaluatorio de la terapia que se estaba aplicando.

Para el tratamiento de pacientes críticos es necesario disponer de un flujo continuo de información, además del conocimiento profundo de algunas drogas que producen cambios rápidos que requieren monitoría cuidadosa, puesto que

sus efectos benéficos pueden pasar rápidamente a ser efectos indeseables. Los datos hemodinámicos necesarios para la monitorización son obtenidos por medio de catéteres que permiten la medición y deducción de variables hemodinámicas (MAT92) tales como:

- Presiones en el corazón derecho.
- Presiones en el corazón izquierdo.
- Cálculo del gasto cardíaco (Cantidad de sangre expulsada por el corazón).
- Resistencias vasculares pulmonar y sistémica.

## VARIABLES HEMODINÁMICAS

### VARIABLES INICIALES

PPS (Presión pulmonar sistólica, dada por el catéter de Swan Ganz)  
PPD (Presión pulmonar diastólica, dada por el catéter de Swan Ganz)  
PAS (Presión arterial sistólica, dada por el tensiómetro)  
PAD (Presión arterial diastólica, dada por el tensiómetro)  
PVC (Presión venosa central, dada por el catéter de Swan Ganz)  
PCP (Presión en cuña pulmonar, dada por el catéter de Swan Ganz)  
FC (Frecuencia cardíaca, por pulso)  
GC (Gasto cardíaco, dada por el catéter de Swan Ganz)  
PESO

## VARIABLES CALCULADAS

| VARIABLE HEMODINÁMICA                     |      | FÓRMULA                       | UNIDAD                 |
|---|------|-------------------------------|------------------------|
| Superficie corporal:                      | SC   | $SC = PESO(KG) * 0.02 + 0.4$  | M <sup>2</sup>         |
| Índice cardíaco:                          | IC   | $\frac{GC}{SC}$               | $\frac{L * M^3}{MIN}$  |
| Índice de resistencia arterial sistémica: | IRAS | $\frac{(PAM - PVC) * 80}{IC}$ | $\frac{DIN SEG}{CMS}$  |
| Índice de resistencia arterial pulmonar:  | IRAP | $\frac{(PPM - PCP) * 80}{IC}$ | $\frac{DIN SEG}{CMS}$  |
| Índice sistólico:                         | IS   | $\frac{IC * 1000}{FC}$        | $\frac{ML * M^3}{Seg}$ |
| Índice de trabajo ventricular izquierdo:  | ITVI | $IS * (PAM - PCP) * 0.0144$   | GR.M <sup>3</sup> /S   |
| Índice de trabajo ventricular derecho:    | ITVD | $IS * (PPM - PVC) * 0.0144$   | GR.M <sup>3</sup> /S   |
| Índice de Presión Ventricular:            | IPV  | $\frac{ITVI}{PCP}$            |                        |
| Presión pulmonar media:                   | PAP  | $\frac{PPS - PPD}{3} + PPD$   |                        |
| Presión Arterial media:                   | PAM  | $\frac{PAS - PAD}{3} + PAD$   |                        |

### CURVAS DE FUNCIÓN VENTRICULAR

El corazón, desde el punto de vista hemodinámico, ha dejado de considerarse una unidad y en la actualidad, es necesario el estudio independiente del **corazón derecho** el cual recibe y lleva la sangre a los pulmones para la oxigenación y el **corazón izquierdo**, el cual recibe e impulsa la sangre oxigenada hacia los tejidos para su «nutrición». Los dos están íntimamente relacionados, pero las fuerzas que los rigen, así como su comportamiento en respuesta a situaciones hemodinámicas, son diferentes para cada uno.

De esta manera, toda la información hemodinámica recogida se puede representar en las CURVAS DE FUNCIÓN VENTRICULAR (CFV) independientes (corazón derecho e izquierdo), las cuales permiten visualizar el estado actual y la evolución del paciente en la respuesta a las acciones terapéuticas.

Cuando se tiene construido el modelo se puede simular su evolución para estudiar el comportamiento del sistema. Por medio de unas condiciones iniciales dadas, se puede determinar la evolución de las distintas variables que intervienen en el modelo y obtener gráficos en los que se registre esta evolución.

## SIMULACIÓN

Son múltiples las acciones terapéuticas que se pueden emprender en los pacientes con falla hemodinámica y ellas se basan en general en drogas y sus acciones farmacológicas, predecibles en relación a su dosis.

La simulación está basada en la proyección de situaciones hemodinámicas y en la formulación de drogas a dosis predeterminadas, las cuales deben producir efectos que proyectan en las CFV la nueva situación hemodinámica.

### Tipos de drogas:

Se simula con diferentes drogas usadas en el manejo del paciente

*Son múltiples las acciones terapéuticas que se pueden emprender en los pacientes con falla hemodinámica ...'*

crítico dentro de las cuales se incluyen <sup>11</sup>**inotrópicos** y dentro de ellos la Dopamina<sup>11</sup>, la Dobutamina<sup>11</sup> y la Adrenalina<sup>11</sup>, los cuales refuerzan la <sup>11</sup>contractilidad cardíaca y aumentan la resistencia general y pulmonar, elevando el gasto cardíaco; los <sup>12</sup>**vasodilatadores** y dentro de ellos la Nitroglicerina<sup>12</sup> y la Furosemida<sup>12</sup> los cuales disminuyen la resistencias vasculares y de esta manera mejoran el gasto cardíaco; los **líquidos** y dentro de ellos los cristaloides y el Haemacel<sup>13</sup> como coloide, los cuales mejoran la <sup>13</sup>precarga y de esta manera el <sup>1415</sup>gasto cardíaco.

Las acciones de estas drogas son mas complejas y aquí sólo se han esbozado las acciones mas relevantes. La combinación de estas drogas muestra respuestas diferentes y en el ejercicio de la simulación y comparación con los resultados de la aplicación al paciente, se tendrá información valiosa para el manejo clínico rutinario.

### SISTEMA HEMODINAMICO CARDIACO

La hemodinamia es el estudio de la circulación <sup>16</sup>(PLA91), concebida como un sistema dinámico, es decir, un sistema en el cual las interacciones entre los elementos provocan cambios en el tiempo <sup>17</sup>(GOT84); por ejemplo, la relación

entre el corazón y los pulmones produce una transición de sangre no oxigenada a sangre oxigenada, de acuerdo a la <sup>14</sup>frecuencia cardíaca.

La dinámica de sistemas está íntimamente ligada al área de conocimiento a la que pertenecen la teoría general de sistemas, la teoría de la informática y la cibernética (ARA83); esta confluencia de disciplinas filosóficas constituyen el paradigma de sistemas el cual adopta una visión globalizadora en oposición a los métodos de tipo analítico y reduccionista, es decir, el estudio de la realidad se enfoca en la consideración de las unidades que resultan de la interacción de las partes. La dinámica de sistemas está basada en métodos para el estudio de los sistemas complejos que pueden considerarse un puente entre los métodos empleados por los ingenieros y los métodos específicos de estudio utilizados por especialistas en otras áreas, en este caso medicina.

El objetivo del investigador de sistemas es definir cuidadosamente cuál es el sistema total, el medio en que se encuentra, cuáles son sus objetivos y sus partes y cómo esas partes apoyan el logro de esos objetivos<sup>15</sup>(BER82).

## CONSTRUCCION DEL MODELO

Al construir el modelo de simulación es necesario definir (ARA83):

Los componentes que interactúan para producir el comportamiento que se está investigando, tomando sólo aquellos que son relevantes al interior del sistema y al comportamiento estudiado; variables hemodinámicas medidas y calculadas del paciente y drogas.

- *Variables endógenas:* Son útiles para caracterizar a aquellos elementos cuyo comportamiento está completamente determinado por la estructura del sistema, sin posibilidad de modificación directamente desde el exterior.

*El objetivo del investigador de sistemas es definir cuidadosamente cuál es el sistema total, el medio en que se encuentra, cuáles son sus objetivos y sus partes ...'*

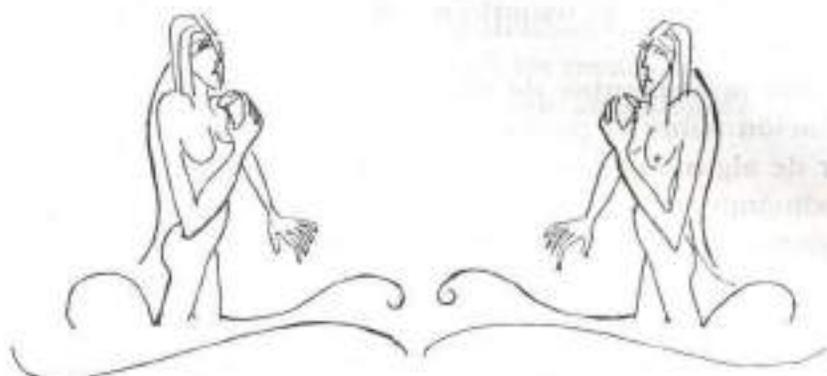
Los elementos que componen el sistema hemodinámico cumplen su función manteniendo un equilibrio perfecto en sus interacciones. Dichos elementos son representados en el modelo de simulación Hemosim por variables hemodinámicas medidas y calculadas al paciente.

En el modelo Hemosim, las drogas son las variables exógenas que intervienen en búsqueda del equilibrio.

- *Variables exógenas:* Son aquellas que describen los efectos sobre el sistema y que son susceptibles de ser modificadas desde el exterior del mismo (representan el medio en que está inmerso el sistema). Una variable para ser exógena debe cumplir con las siguientes condiciones: un cambio en alguno de sus atributos afecta al sistema y otros atributos (distintos a los anteriores) son afectados por el comportamiento del sistema; es decir, un mismo atributo no puede afectar y ser afectado por el sistema, puesto que en tal caso estaría incluido en el propio sistema. Cuando el sistema hemodinámico no cumple con su función de «nutrir al cuerpo», es porque alguno(s) de sus componentes falla en su comportamiento, provocando un desequilibrio en el sistema. Para corregir esta falla hemodinámica, el personal médico suministra drogas buscando el adecuado funcionamiento del corazón. En el

- *Estructura del sistema:* Es la relación entre los elementos que lo componen. Los elementos que pertenecen al medio se relacionan con los que se encuentran dentro de los límites del sistema de manera diferente a como se interrelacionan entre ellos. Las relaciones de causa a efecto entre el medio y el sistema son unidireccionales, mientras que los elementos en el interior del sistema están estructurados por medio de bucles de realimentación que determinan una fuerte interacción entre ellos. El modelo que refleja el comportamiento del sistema hemodinámico para Hemosim es de tipo matemático, siendo su estructura representada por fórmulas para definir valores de las variables calculadas con respecto a las medidas y las fórmulas que determinan el efecto de las drogas en las variables endógenas. La estructura se refleja en el diagrama causal.

Un evento para el modelo Hemosim ocurre cuando se adiciona un nuevo estado hemodinámico dado por el usuario o como resultado de una simulación ante el suministro de una droga y cuando es modificada



alguna acción terapéutica existente.

El estado del modelo (valores de sus elementos en un tiempo específico) está determinado por el estado hemodinámico actual del paciente (con la última fecha registrada) y el seguimiento por el conjunto de estados hemodinámicos registrados para el paciente.

Aunque el comportamiento del sistema real es continuo, el modelo diseñado es de tiempo discreto ya que simula su comportamiento cuando un evento ocurre al suministrarse alguna droga (variable exógena) en un tiempo especificado por el usuario y registrado por el sistema, provocando un nuevo estado del modelo.

El modelo es dinámico puesto que los estados resultan en diferentes épocas en el tiempo, aunque las variables no expresan explícitamente este factor.

#### **FUNCIONAMIENTO DEL HEMOSIM 1**

Hemosim trabaja con dos tipos de información: la concerniente a cada paciente y la que es relativa al funcionamiento del sistema en general.

- La información básica y persistente de un paciente en Hemosim, está compuesta por los siguientes ítems: nombre, sexo, peso, talla, edad e historia clínica.

El registro hemodinámico de un paciente es un conjunto de esta-

dos clínicos originados de dos maneras:

- De datos reales medidos al paciente y dados por el usuario a Hemosim.
- De datos provenientes de una simulación sobre el paciente a partir de alguno de los estados hemodinámicos, con una acción terapéutica ejecutada al seleccionar una dosis del modelo de simulación.
- La información general del sistema se refiere a las drogas, configuración del mismo y al sistema de ayudas.
- La información de las drogas almacena su clasificación genérica, las dosis y las acciones terapéuticas de cada una, sobre cualquier estado hemodinámico.
- La información referente a configuración es aquella que permite presentar los diferentes aspectos funcionales de Hemosim de acuerdo a los gustos y preferencias del usuario.
- El sistema de ayudas contiene todo lo concerniente a Hemosim, su manejo, casos clínicos para estudio y la teoría hemodinámica compuesta por: hemodinamia básica, algoritmo de decisiones, valores normales y fórmulas de variables hemodinámicas e información farmacológica de las drogas.

### **Simulación en Hemosim 1.**

En Hemosim existen dos maneras de efectuar simulaciones sobre el registro hemodinámico de un paciente:

- A partir de la selección de un estado hemodinámico, ya sea real o simulado y de una droga se observa su acción terapéutica, generando un nuevo estado que se cataloga como simulado.
- Además se puede tomar un estado real y efectuar cambios sobre los valores de las variables que los componen; si éste es cabeza de una cadena de simulaciones, Hemosim recalcula, resimula, toda esta cadena de estados derivados a partir de los cambios efectuados.

### **Comprensión gráfica del registro hemodinámico de un paciente en Hemosim 1**

Hemosim proporciona una manera gráfica de determinar el estado hemodinámico de un paciente mediante las curvas de función ventricular.

Existen cuatro gráficas básicas: la de Presión Capilar Pulmonar contra Índice cardíaco (PCP - IC) y la de Presión Capilar Pulmonar contra Índice de Trabajo Sistólico

Ventricular izquierdo (PCP - ITSVI), las cuales miran la situación hemodinámica con corazón derecho y las de Presión Venosa Central contra Índice Cardíaco (PVC - IC) y la de Presión Venosa Central contra Índice de Trabajo Sistólico Ventricular Derecho (PVC - ITSVD), las cuales miran hemodinámicamente al corazón izquierdo.

*Cómo llevar un estado hemodinámico de un paciente a las gráficas:* Se puede ubicar seleccionándolo con registro hemodinámico. Además, Hemosim ubica en la gráfica automáticamente el estado resultante e inicial de una simulación. Estas operaciones muestran la gran flexibilidad que Hemosim proporciona para que el usuario pueda mantener un módulo de vigilancia, control y diagnóstico de un paciente que presente diversas patologías de una manera sencilla, amigable y de rápida comprensión (Ver gráfica pag. sig.).

### **Modificación del modelo Hemosim 1:**

Hemosim permite adicionar, modificar y borrar drogas del modelo de simulación, generando un nuevo modelo y permitiendo la actualización del «software» en la medida que aparezcan nuevas drogas en el mer-

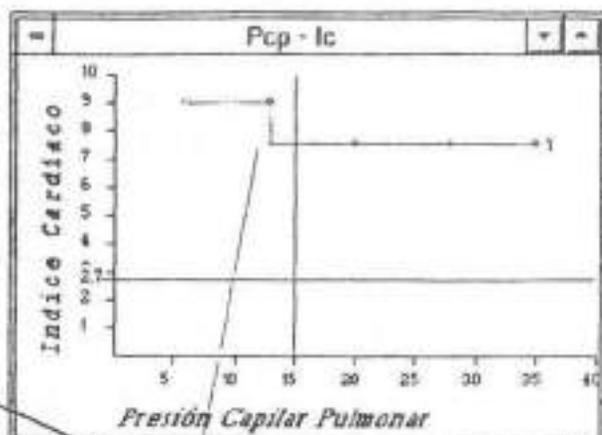
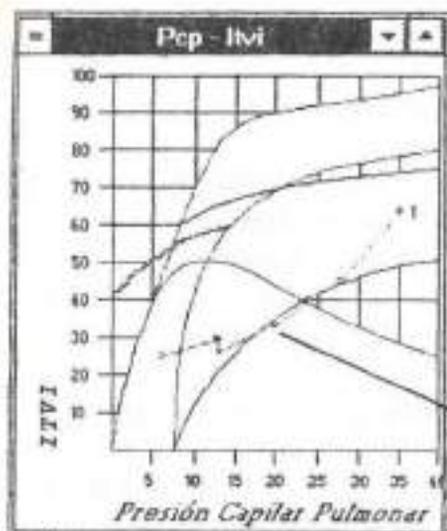
cado. La modificación de la acción de las drogas, al cambiar las fórmulas de su comportamiento, permite actualizar el «software» de acuerdo con los resultados de investigaciones que las analicen.

### **Concluyendo...**

En esta primera etapa de la investigación, se ha logrado establecer una posible metodología para el estudio de modelos de simulación de sistemas corporales.

El comportamiento de muchos de los sistemas corporales ya se encuentra representado mediante modelos resultantes de extensas investigaciones en el área médica; modelos con características esencialmente similares, que difieren ya sea en su complejidad al buscar una representación más exacta del mismo sistema, en lo que se busca estudiar de este sistema o en sus componentes al representar sistemas diferentes. Ese comportamiento de los sistemas corporales puede ser modelable bajo una misma estructura, modificándola de acuerdo al sistema o al objetivo del estudio.

Es posible desarrollar trabajos que aporten un fuerte soporte tecnológico en el desempeño de otros profesionales, y que a su vez nos



Estados Hemodinámicos

Estado Hemodinámico Simulado

Estado Hemodinámico Real

Variables Hemodinámicas

| Seguimiento Hemodinámico |       |       |     |     |     |       |      |    |      |
|--------------------------|-------|-------|-----|-----|-----|-------|------|----|------|
| FECHA                    | PAS   | PAD   | FC  | PVC | PCP | PPS   | PPD  | GC | PAM  |
| ✓ O 95 Apr 25 14:13:16   | 97    | 110   | 120 | 38  | 35  | 55    | 80   | 3  | 105  |
| ✓ L 95 Apr 25 14:18:36   | 77.6  | 88    | 135 | 31  | 28  | 46.75 | 68   | 3  | 84.5 |
| ✓ Q 95 Apr 25 14:18:36   | 77.6  | 88    | 135 | 31  | 28  | 46.75 | 68   | 3  | 84.5 |
| ✓ L 95 Apr 25 14:19:05   | 69.84 | 79.2  | 135 | 28  | 25  | 46.75 | 68   | 3  | 76.1 |
| ✓ Q 95 Apr 25 14:19:05   | 69.84 | 79.2  | 135 | 28  | 25  | 46.75 | 68   | 3  | 76.1 |
| L 95 Apr 25 14:20:59     | 59.36 | 67.32 | 145 | 23  | 20  | 42.00 | 61.2 | 3  | 64.5 |

Estado simulado con: Vasodilatadores, Nitroglicerina, dosis: 1... 1

Estado Seleccionado

Tipo del estado Escogido

Estado Escogido

retroalimenten con nuevos conocimientos y formas diferentes de aplicarlos, logrando un mutuo aporte, fruto de un fluido intercambio de opiniones e ideas.

LOS INTERESADOS PUEDEN CONSULTAR BIBLIOGRAFIA EN LA DECANATURA DE LA FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS, Universidad Autónoma de Manizales.

---

<sup>1</sup>(BER90) Bertalanfy, Ludwing Vo, «Teoría general de sistemas», Fondo de Cultura Económica, S. A. de C. V., Argentina 1990.

<sup>2</sup>Hemodinamia: Rama de la medicina que estudia la circulación de la sangre.

<sup>3</sup>Patología: Rama de la medicina dedicada a la naturaleza de las enfermedades.

<sup>4</sup>Catéter: Pequeño instrumento flotante (tubo de plástico) que es introducido en el corazón para medir presiones.

<sup>5</sup>Terapéutica: tratamiento de las enfermedades.

<sup>6</sup>(JEF92) JEFFREY, A. Joines; Kenneth A. Powell; Stephen D. Roberts, «Object - Oriented modeling and simulation with C++», Winter simulation conference, 1992.

<sup>7</sup>(MAT92)MATIZ, Hernando, «Hemodinamia básica», Escuela

Colombiana de Medicina, Santa Fé de Bogotá 1992.

<sup>8</sup>Arterial: Referente a las arterias. Conductos encargados de distribir por todo el cuerpo la sangre expulsada de los ventrículos del corazón.

<sup>9</sup>Ventrículos derecho e izquierdo: Cavidades inferiores propulsoras del corazón.

<sup>10</sup>Inotrópicos: Sustancias que refuerzan contracción cardiaca.

<sup>11</sup>Contractilidad: Estado intróptico del corazón.

<sup>12</sup>Vasodilatadores: Sustancias que dilatan vasos sanguíneos.

<sup>13</sup>Precarga: Es la longitud de la fibra muscular al principio de la contracción (volumen diastólico final).

<sup>14</sup>Gasto cardiaco: Cantidad de sangre expulsada al final de diástole.

<sup>15</sup>Diástole: Relajación durante el latido del corazón.

<sup>16</sup>(PLA91) «Nueva enciclopedia temática, ciencias naturales», Planeta Colombiana Editorial S. A., Santa Fé de Bogotá 1991.

<sup>17</sup>(GOT84) Gottfried, Byron S., «Elements of stochastic process simulation», Prentice Hall, inc., New Jersey 1984.

<sup>18</sup>Frecuencia cardiaca: Número de latidos por minuto del corazón.

<sup>19</sup>(Ber82) Bertoggllo, «Teoría general de sistemas», 1982.