

Introducción a la Fisiología

Mario A. Dvorkin, Guillermo LaMura y Claudia Lázaro

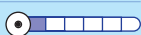
Capítulo 0

Donde el lector será informado acerca de qué es la fisiología y qué papel desempeña en el ejercicio médico; la ventaja de la enseñanza por competencias en una actividad práctica como es la medicina. Por último pero no por ello menos importante, saber por qué un sistema complejo de comportamiento caótico que no cambia termina por envejecer y morir.

“La mente no debe considerarse una vasija para llenar sino una fogata para encender.”

Plutarco (46-120 d.C.)

Caso clínico



Comenzamos en este capítulo a desarrollar algunos puntos de la vida y circunstancias del Sr. Juan D. Sastre.

Su caso nos acompañará durante todo el libro. Esto es más que un ejemplo. Nuestra postura incluye como presupuesto que los conocimientos que mejor se construyen y guardan son aquellos que cobran sentido en nuestra mente, porque nos impactan, porque los podemos relacionar, porque nos permiten pensar...

Aquí va entonces su presentación en sociedad:

Juan D. Sastre es un típico exponente de nuestra sociedad: 49 años, casado, con dos hijos, una de 12 y otro de 7. Trabaja duro junto a su mujer con el objetivo de forjar un futuro promisorio para sus hijos en un mundo cada vez más complejo. Viéndolos crecer y cercano a los 50, Juan piensa qué diferentes son ahora sus expectativas de vida, su propia historia, su relación matrimonial y paterna, y comprende, que aún en (con suerte) la mitad de la vida, esto es sólo el comienzo. Pare él, su turbulenta adolescencia es sólo un sueño, pero la de su hija amenaza con convertirse en una pesadilla. A pesar de todos estos cambios, su vida se puede definir como estable para el estándar social. Quizá sea estable justamente porque cambia acorde con las circunstancias. Tal vez sólo de eso se trate la vida: adaptarse a los cambios inevitables cambiando uno, minuto a minuto, año a año, generación tras generación...

EL LUGAR DE LA FISIOLOGÍA EN LA MEDICINA

Pocas veces reflexionamos sobre el lugar que tiene una determinada disciplina en una ciencia. En el caso de la fisiología podemos afirmar que es central su lugar en la medicina. Decimos central por dos razones: la primera y más importante es que es la materia que dictamos[©], y segundo, porque estructura el modelo del pensamiento médico. Es el núcleo que articula una forma particular de leer los fenómenos y las circunstancias que los rodean. Al decir de Edward De Bono, es un sombrero para pensar o un par de anteojos que nos permiten ver de determinado color.

Todo médico debe ser, en alguna medida, un pequeño fisiólogo. Debe tener absolutamente incorporada una forma de razonamiento frente a cualquier caso. La práctica de este tipo de razonamiento genera una **competencia**, es decir, una habilidad para leer e interpretar una realidad.

El desafío, entonces, es como dicen los profesores de idioma “no traducir las cosas al lenguaje fisiológico” sino “*pensar fisiológicamente la realidad*”.

NUESTRA FILOSOFÍA DE LA FISIOLOGÍA

“Fructificad y multiplicaos.”

Génesis 22

Entendemos por Fisiología el estudio de los mecanismos biológicos que permiten a los seres vivos adaptarse a su medio, sobrevivir en él y multiplicarse

La Fisiología no es tanto una ciencia en sí misma sino más bien una forma de abordar la realidad para

comprender el funcionamiento de los organismos vivos. Debido a la complejidad estructural y funcional de éstos, su dinámica constante y su capacidad para el cambio, la fisiología constituye una de las ramas más fascinantes de la biología (cerca a veces a la metafísica) que no resulta ajena a ninguna persona, cualquiera sea su raza, sexo, edad o religión, ya que nos ayuda a comprendernos mejor a nosotros mismos.

La fisiología como ciencia

Rutherford solía decir que sólo existen dos tipos de ciencia: la física y la filatelia. Desde un punto de vista estricto, la fisiología es una disciplina apoyada por tres grandes ramas de la ciencia “dura”: biofísica, bioquímica y estadística. Su función es generar grandes preguntas para que estas grandes y nobles ciencias intenten descubrir las respuestas. La Fisiología –citando a Ralph W. Gerard (1900-1974) como en el libro de Ude Silverthorn–, se convierte más en un punto de vista que en una ciencia.

El mapa no es el territorio

Lo que nosotros denominamos realidad es una construcción teórica que efectúa nuestro cerebro sobre la base de la información que recibe de los receptores sensoriales

Como los generales de un ejército en una batalla actual, el cerebro elabora dentro de su búnker cerrado y aislado, un mapa con la información que le relevan los observadores avanzados que se encuentran en la zona de conflicto (receptores). Por ello, sólo somos capaces de percibir las cosas para las que poseemos receptores y sólo aquello que nuestros receptores sean capaces de detectar. Denominamos **percepción** (imagen, sonido, olor, tacto) a una convención generada por el cerebro para representar los elementos de la naturaleza en el plano de la conciencia. Es decir que, como los generales de la analogía, nuestra conciencia sólo ve el mapa, no el territorio real.

Debido a la particular estructura de nuestros hemisferios cerebrales, disponemos de dos tipos diferentes y complementarios de interpretación o análisis de dicha realidad:

- El **hemisferio no dominante** (en general el derecho) realizaría una interpretación holística, no secuencial y geométrica, que es muy rápida.
- El **hemisferio dominante** utiliza un tipo de pensamiento abstracto basado en la lógica proposicional, lo que lo hace secuencial y más lento. Debido a que es capaz de utilizar el lenguaje para la construcción del pensamiento simbólico, es capaz también de expresarse en forma oral y escrita.

Por lo tanto, al observar un fenómeno nuestra primera impresión es holística, general, no lógica (diríamos casi intuitiva), nos permite decidir si algo está bien o no, si nos gusta o no, a pesar de no poder dar ninguna razón lógica para ello (el hemisferio no dominante no habla). Esto nos sucede al ver un dibujo que tiene las proporciones incorrectas, un instrumento desafinado o cuando nos cae mal una persona que acabamos de conocer.

El hemisferio dominante, en cambio, debe realizar un análisis secuencial de la información y establecer pautas propias del análisis lógico. Al estar ambos conectados, uno aprovecha al máximo el rendimiento de los dos y hace primero una aproximación geoespacial del problema y luego analiza lógicamente la información.

Este análisis lógico nos permite tratar de predecir los acontecimientos naturales creando modelos que puedan explicar el funcionamiento de las cosas y, por lo tanto, preconocer resultados que nos permitan anticipar sucesos. Así, comenzamos a ver la realidad como si fuera un sistema y a analizarla como tal. Pero, ¿qué es un sistema?

SISTEMAS

Según el diccionario de la RAE, un sistema es un “conjunto de cosas que relacionadas entre sí ordenadamente, contribuyen a determinado objeto”

Los sistemas no existen en la naturaleza sino en la mente de quienes la estudian

Un sistema físico constituye una **abstracción funcional**, en el que para facilitar su estudio separamos los **componentes** y analizamos las características particulares y generales, registrando **señales observables y medibles** (fig. 0-1).

Los sistemas pueden ser tan grandes como todo el universo o tan pequeños como las partículas subatómicas y, en general, pueden dividirse a su vez en subsistemas que interactúan. Estos subsistemas forman los componentes del sistema en estudio y de su interacción se pretende conocer las leyes que explican su comportamiento.

Por ejemplo: el sistema solar está compuesto por el Sol, los diferentes planetas y sus satélites que interactúan según la mecánica clásica de manera que se puede predecir su trayectoria conociendo la posición y las leyes; un hospital es también un sistema donde sus componentes interactúan para lograr un fin determinado y cuyo estudio nos permite anticipar resultados.

Los sistemas se clasifican en dos grandes grupos, no regulados y regulados

- **Sistemas no regulados o de lazo abierto:** estos sistemas poseen una *señal de entrada*, una *función de transferencia* que caracteriza la respuesta del proceso y una *señal de salida* que no modifica a la de entrada (fig. 0-2).

Por ejemplo, si usted oprime el freno de un automóvil muy antiguo, éste disminuirá la velocidad, pero dicha velocidad (señal de salida) no altera la presión que usted ejerce sobre el pedal (por lo menos, no en forma directa).

- **Sistemas regulados o de lazo cerrado:** los sistemas regulados son los llamados de *feedback*, *retroalimentación* o *retroacción*; poseen características similares a las de los no regulados, en cuanto a tener entrada, salida y función de transferencia, pero en éstos, parte de la salida se realimenta e interactúa con la señal de entrada para modificar el comportamiento de salida.

Por ejemplo: actualmente los frenos de los automóviles cuentan con un sistema de retroacción que hace que cuando usted oprime el freno con mucha presión, el pedal se vuelva más rígido impidiendo que el automóvil se “clave”, es decir, frene en forma repentina (se lo denomina frenos con servomecanismo).

Los sistemas regulados pueden utilizar retroalimentación o retroacción (*feedback*) negativa o positiva

- **Retroalimentación negativa:** en estos sistemas de lazo cerrado, la señal de salida permite regular la de entrada disminuyéndola. Para este caso se requiere un comparador que posea un valor estándar o “*set point*” con el cual cotejar la señal de salida. Si hay disparidad entre ambas (señal de error) se varía la ganancia de la señal de entrada hasta estabilizar el sistema.

Por ejemplo: los barorreceptores arteriales son capaces de reaccionar ante una elevación de la presión sanguínea y generar una disminución del trabajo cardíaco y respuesta vascular para volver al valor previo (véase fig. 0-2B).

- **Retroalimentación positiva:** a diferencia de los anteriores, en estos sistemas, la señal de salida *estimula* la de entrada, amplificando la perturbación o cantidad de información, lo que determina una respuesta explosiva en el sistema a menos que un factor externo los detenga.

Por ejemplo: los potenciales de acción (véanse fig. 0-2C y cap. 13) o la ovulación.

Los sistemas regulados con *feedback* negativo tienden a mantener su estado estacionario

La función de la retroacción negativa es justamente equilibrar la señal de salida oscilando alrededor

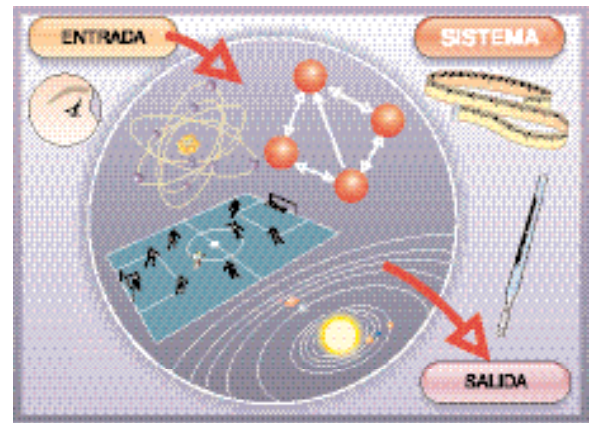


Fig. 0-1. Sistemas físicos.

de un valor estable denominado *set point*. Estos sistemas funcionan como el piloto automático de los aviones. En éstos uno fija un rumbo (*set point*) y un sensor conectado a la brújula detectará cualquier desviación de la ruta (p. ej., por el viento) haciendo que los controles de dirección del avión corrijan automáticamente el rumbo a la dirección prefijada.

Téngase en cuenta que si el avión se dirige hacia una tormenta y alguien intenta desviar el curso sin desconectar el piloto automático, el avión volverá tozudamente en la dirección prefijada aun cuando esa ruta implique un riesgo.

De la misma manera, el termostato hipotalámico que regula nuestra temperatura central intenta mantener

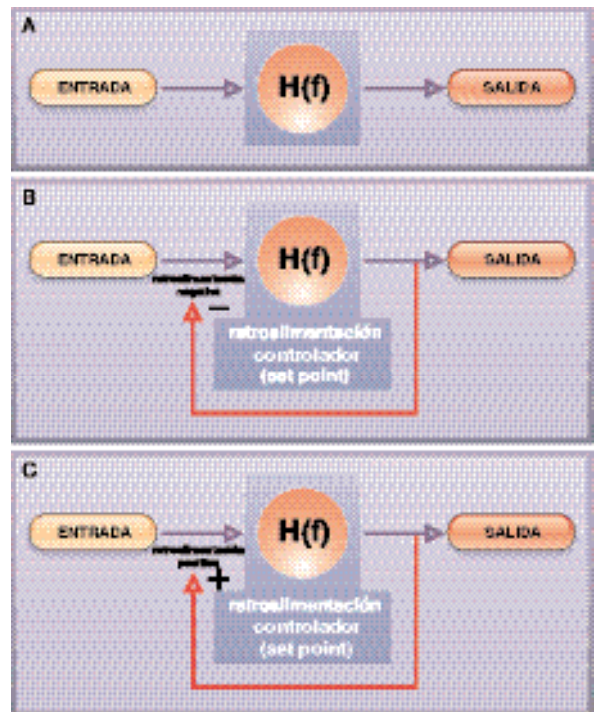


Fig. 0-2. Sistemas regulados. A. Lazo abierto. B. Lazo cerrado por retroacción negativa. C. Lazo cerrado con retroacción positiva.

ésta cercana a los 37 °C. En situaciones de inflamación, parece ser prudente elevar la temperatura para mejorar la capacidad defensiva de nuestro sistema inmunitario y el valor se fija más alto, digamos 39 °C. En estas condiciones que denominamos síndrome febril, si uno intenta bajar la fiebre mediante un baño frío, el cuerpo volverá a elevar la temperatura para llegar a ese nuevo valor (39 °C) en lugar de cortar en 37 °C. El tratamiento más eficaz para el descenso de la temperatura es volver el termostato a su valor de corte original mediante inhibidores de la síntesis de prostaglandinas como el ibuprofeno o la aspirina (fig. 0-3).

SISTEMAS DINÁMICOS

“Lo único inmutable es el cambio.”

Frase del budismo Zen

Los sistemas dinámicos se clasifican en deterministas y estocásticos

En los **sistemas deterministas** se puede predecir la respuesta o salida del sistema mediante el conocimiento del *estado inicial* y el grupo de *reglas de cambio*. En los **sistemas estocásticos**, en cambio, la salida está determinada por una *variabilidad al azar* (como

ganarse la lotería), o sea, son impredecibles. Dentro de los sistemas deterministas siempre hay un grado de variabilidad estocástica denominada “ruido” que interfiere con las mediciones que uno realiza.

Los sistemas deterministas se clasifican a su vez en **lineales** y **no lineales**. En los primeros, las reglas de cambio son linealmente proporcionales a las variables de entrada (*proporcionalidad*) y presentan lo que se denomina *superposición*. La superposición implica que el estudio separado de los componentes de estos sistemas puede hacerse en forma aislada y así predecirse el resultado del comportamiento del sistema *in toto* (por lo tanto, la conducta total del sistema se puede calcular con independencia de cada variable de ingreso ya que las variables no interactúan).

Un automóvil, dentro de ciertos límites, se comporta como un sistema lineal, ya que su respuesta es predecible con respecto a la entrada (p. ej., la presión del acelerador produce cambios proporcionales en la velocidad, el consumo de combustible y el desgaste) y además, desarmando sus partes constitutivas se puede inducir el conocimiento sobre el funcionamiento total del vehículo.

En el caso de los sistemas no lineales, la conducta del sistema no evidencia proporcionalidad ni super-

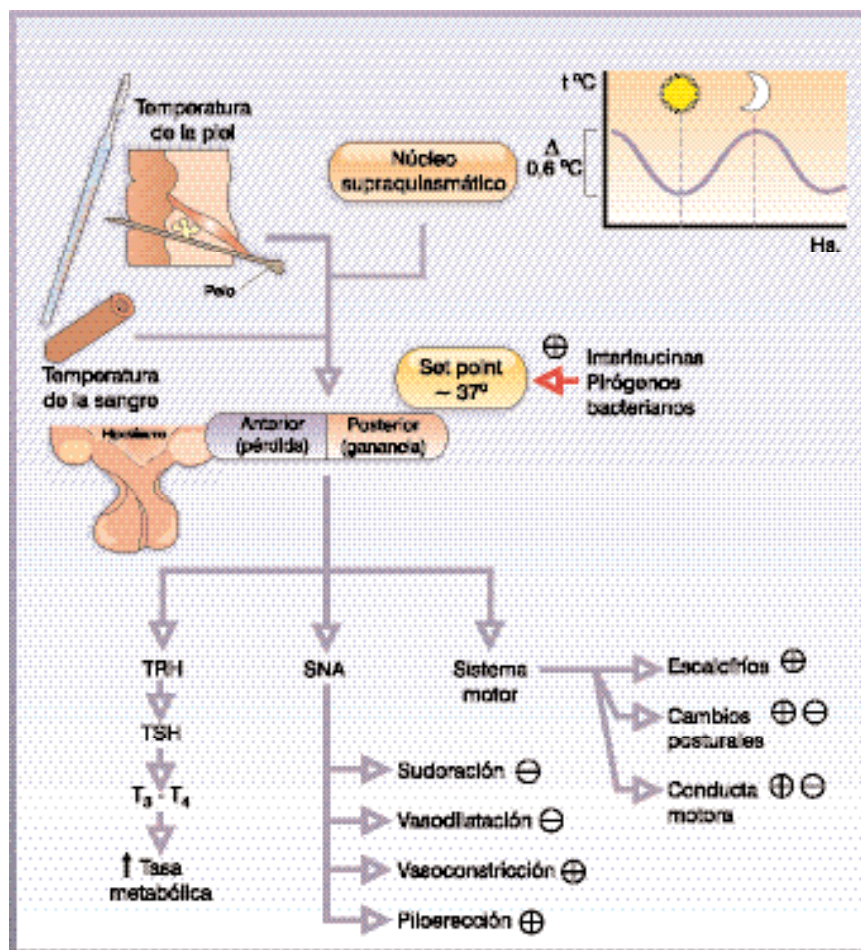


Fig. 0-3. Regulación de la temperatura corporal.

posición, por lo que la respuesta total es más que la suma de las respuestas de cada componente tomado en forma aislada (“El todo es más que la suma de las partes”).

En la naturaleza, la mayoría de los sistemas son no lineales (curva de saturación de la oxihemoglobina, curva de histéresis pulmonar, respuesta neuronal a los impulsos, etc.). En un sentido extendido, podríamos decir que estudiar un subsistema en un paciente en forma aislada no nos permitirá siempre predecir la respuesta del paciente como organismo total y que ante diferentes condiciones iniciales, el organismo puede presentar un comportamiento no siempre predecible por la estadística lineal.

No hay enfermedades sino pacientes enfermos

Por ejemplo, si comparamos un resorte conectado a un peso con una fibra muscular en las mismas condiciones veremos que la elongación del resorte será proporcional al peso que pende, donde el coeficiente de elasticidad (que es una constante propia del resorte) interviene en la relación de proporcionalidad del sistema lineal. Por el contrario, en el caso del músculo, la elasticidad es variable y dependiente del grado de elongación y contracción, y además ni siquiera es homogénea porque intervienen la elastina y el colágeno con propiedades diferentes. Por lo tanto, a pesar del comportamiento similar, este último es un sistema no lineal.



Un sistema lineal puede poseer una función que lo defina que no sea necesariamente una recta, sino como en la mayoría de los sistemas biológicos, puede ser exponencial. Sin embargo, si este sistema presenta proporción y superposición y no es sensible a las condiciones iniciales sigue siendo un sistema lineal.

Sistemas caóticos

Algunos sistemas no lineales presentan un comportamiento irregular denominado caótico.

Caos, en el sentido en que lo utilizamos, no significa desorden, ya que aquí se trata de sistemas determinísticos (no al azar), en los que la característica saliente es que pequeñas variaciones en el estado inicial producen grandes diferencias en la salida. Una lista enorme de procesos fisiológicos como el ritmo cardíaco, la liberación cíclica de hormonas, la presión arterial, la ventilación, entre otros, presentan comportamiento caótico.

Dinámica de los sistemas no lineales. Fisiología fractal y caos

“En condiciones normales de presión y temperatura, los organismos tienden a comportarse como se les dé la gana.”

Uno de los corolarios de la ley de Murphy

Como se mencionó, en un sistema intervienen señales de entrada y de salida; la primera es la variable de control y la otra, la variable controlada, dependiente de la entrada y de la función de transferencia del sistema (véase arriba). Esta función es característica de cada sistema y por ende de sus leyes físicas. El conocimiento de estas leyes se basa en modelos predictivos que surgen de hipótesis fundadas en la observación del sistema y sus variables.

Además, en los sistemas intervienen otros parámetros que no consideramos hasta ahora: las **condiciones iniciales**.

En los sistemas lineales se puede predecir el comportamiento del sistema al conocer la señal de entrada y su función de transferencia sin ser demasiado sensible a las condiciones iniciales. Por el contrario, en los sistemas no lineales, *pequeñas variaciones de las condiciones iniciales pueden producir respuestas de salida insospechadas (efecto mariposa de Edward Lorenz)*. Nosotros simplificamos la estructura compleja de los sistemas orgánicos al aproximarlos a un sistema lineal. Esta hipótesis es válida dentro de un rango estrecho que denominamos rango fisiológico pero, como vimos, en realidad son sistemas más complejos y muchos de ellos presentan un comportamiento no lineal y hasta caótico.

Modelos predictivos

Para tratar de comprender, analizar y predecir el comportamiento de los sistemas son necesarios modelos, que en algunos casos son reales como una maqueta y en otros son abstractos como un modelo matemático o estadístico, pero siempre como herramienta para el desarrollo del conocimiento.

Esta interacción de los sistemas no lineales, también denominada **ciencia de la complejidad**, generó distintos tratamientos con el objeto de encontrar modelos que se aproximen a los sistemas o parámetros estadísticos que lo caractericen.

En 1840 el botánico escocés Robert Brown descubrió el movimiento desordenado de partículas microscópicas de polen en un medio líquido. A principios de 1900, Bachelier y otros físicos estudian y experimentan aplicaciones para el movimiento browniano como la colisión de partículas, la teoría molecular del calor, la difusión, etc., y en 1926, Jean Perrin recibió el Premio Nobel de Física por sus trabajos sobre el movimiento browniano.

Por otra parte, Stanislas Ulam, por la década de 1940, introduce los autómatas celulares que son simples algoritmos matemáticos que se reproducen, crecen y mueren simulando el comportamiento en el desarrollo biológico.

En 1975 Benoit Mandelbrot publica el ensayo “Les objets fractales: Forme, hasard et dimension” donde menciona por primera vez el término fractal como una forma geométrica con estructuras autosemejantes (fig. 0-4).

Fractales

“A stone, when is examined, will be found a mountain in miniature.”

J. Ruskin, Modern Painters, Vol. 5, chapter 18, 1860.

Esta propiedad de autosemejanza es una característica de la geometría fractal observada en la naturaleza en general, y en particular en biología. Uno de los patrones más comunes son las estructuras ramificadas. En la botánica la observamos en las ramas de los árboles, las raíces, las hojas, etc. y en el cuerpo humano en las arterias, venas, nervios, el Haz de His, el hueso trabecular, el árbol bronquial, las superficies fractales de las proteínas, por citar algunos casos (fig. 0-5). El estudio de estos modelos fractales promete ser herramientas de diagnóstico como el patrón del tejido mamario en una mamografía como predictor de riesgo de cáncer mamario o la heterogeneidad del flujo sanguíneo en la región del miocardio y tantos otros nuevos conceptos de diagnóstico.

El modelo fractal y multifractal también puede ser aplicado además de a la morfología, a las *señales* que emiten los organismos vivos (como el ECG) y obtener parámetros como la **dimensión fractal** que caracteriza la variabilidad del sistema y su complejidad. La capacidad de cómputo y versatilidad de los sistemas informáticos actuales nos permite simular e

interactuar con distintos tipos de modelos de sistemas no lineales como caos determinístico, para buscar *atractores y bifurcaciones, fractales, movimiento browniano, autómatas celulares, redes neuronales artificiales, inteligencia artificial y algoritmos estocásticos*.

Fractalidad en señales: variabilidad R-R

Es bastante más fácil imaginar una montaña compuesta por piedras que son a su vez montañas en miniatura, que trasladar esta imagen autosemejante a las señales biológicas.

Cuando uno se refiere a comportamiento fractal de una señal biológica se refiere a que la morfología de dicha señal es autosemejante en diferentes escalas temporales.

Tomemos por ejemplo la frecuencia cardíaca medida por el ECG.

Los valores “normales” de frecuencia cardíaca se calculan según el promedio de un minuto de actividad con el individuo en reposo, o sea con el mínimo gasto de energía. Ahora bien, por un lado dijimos que los valores normales son diferentes en el neonato (140 pulsos/min), el lactante (130 pulsos/min) y el adulto joven (80 pulsos/min).

Si en lugar de medir el promedio de latidos por minuto analizamos la variabilidad de la frecuencia cardíaca (HRV) como la variación irregular del período de cada ciclo cardíaco (intervalo de tiempo entre R-R) durante un tiempo prolongado, encontramos otro importante elemento de diagnóstico predictivo que por años fue inadvertido en la práctica médica. La informática y poderosas herramientas de análisis estadísticos nos permiten cuantificar nuevos parámetros de diagnóstico.

En condiciones de salud, el intervalo R-R cambia en forma permanente según variabilidad al azar (fig. 0-6). Este registro de variabilidad presenta características fractales que son características del sistema saludable.

Cuando dicho patrón pierde esta irregularidad estocástica y las fluctuaciones se tornan fijas, el sistema en lugar de estar en estado más estacionario se encuentra más inestable, capaz de perder el control, la capacidad de autorregulación o de homeostasis (véase fig. 0-6B).

La variabilidad de valores, como la frecuencia cardíaca, la frecuencia respiratoria o la distribución ventilación-perfusión, es un signo de salud (véase “Sistemas caóticos”), y la pérdida de esa variabilidad, lo es de enfermedad.

Este cambio permanente nos permite descubrir otras propiedades de los sistemas, nuevos parámetros de diagnóstico. Esto no es casual, el método científico que utilizamos consiste en aislar el sistema y estudiar su comportamiento con las variaciones de los parámetros de entrada y salida, para luego hacer-

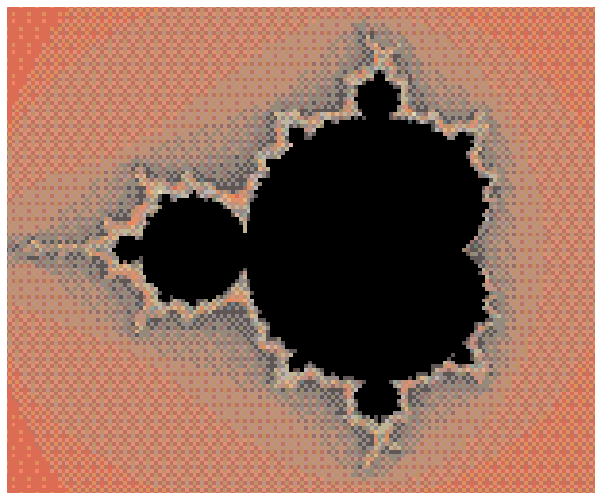
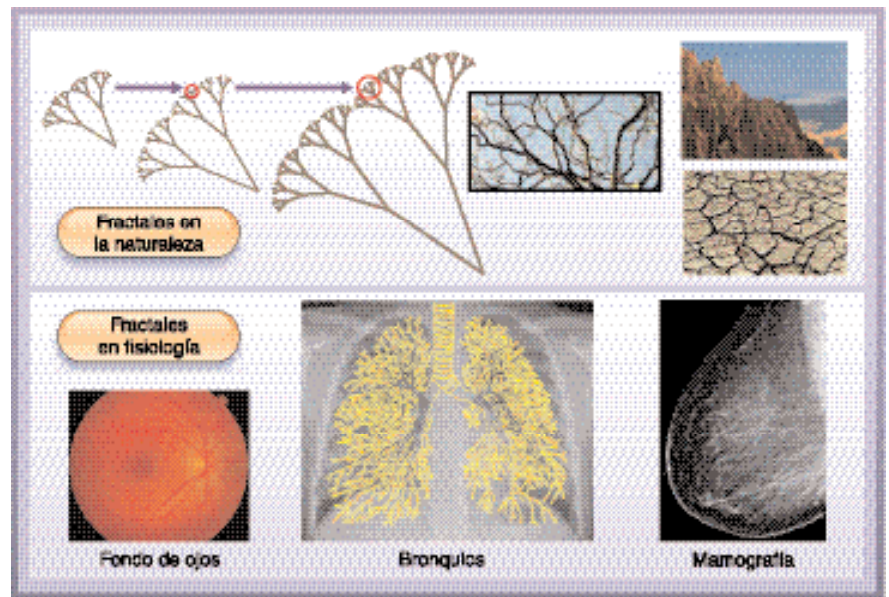


Fig. 0-4. Fractal de Mandelbrot.

Fig. 0-5. Ejemplos de estructura fractal.



lo más complejo e incorporar nuevas variables o acoplarlo a nuevos sistemas. Pensemos un ejemplo: supongamos que mi sistema es una persona cuya respuesta o variable de salida es el discurso o monólogo que está exponiendo y las variables de entrada pueden ser el conocimiento, la ideología y la experiencia. Fácilmente podemos estudiar a esta persona como sistema, y de la expresión oral que escuchamos hacemos un diagnóstico de las variables de entrada (conocimiento, ideología y experiencia). Ahora bien, si hacemos mucho más complejo el sistema y en el mismo salón ubicamos un centenar de oradores que al unísono expresan sus discursos, el primer diagnóstico que efectuamos es considerar esa información sonora como ruido; es la respuesta de un proceso aleatorio y el único parámetro medible será el promedio del nivel sonoro.

Rápidamente comprendemos con este ejemplo que el desafío es encontrar en esta información de apariencia aleatoria los nuevos parámetros de diagnóstico, como la variabilidad entre otros, que caractericen a los sistemas dinámicos complejos.

DE LA HOMEOSTASIS A LA ALOSTASIS

“Algo tiene que cambiar para que nada cambie.”
Giovanni de Lampedusa, El Gatopardo

El término acuñado por el gran William Cannon fue durante mucho tiempo el paradigma que refleja mejor la suma de las funciones fisiológicas: el mantenimiento de un estado estacionario que garantice las funciones celulares. Se dice estado estacionario y no equilibrio (de ahí que sea homeo [parecido] y no homo [igual]), ya que el término equilibrio puede reflejar un estado estático mientras que la homeosta-

sis representa un cambio permanente de las variables en aras de una respuesta estable en el largo plazo. Es por esto que la tendencia actual en varias líneas de investigación es estudiar la respuesta de los sistemas dinámicos (véase sección anterior) en estado estacionario, a pesar de que sus variables de entrada y de salida muestren una variabilidad permanente y de apariencia aleatoria en el entorno, a un valor medio.

Por lo tanto, la terminación “estasis” suena demasiado estable por lo que se utilizaron términos como homeoquinesis u homeodinámica y finalmente, con los trabajos de McEwen sobre estrés, alostasis (estabilidad a través del cambio).

El concepto alostático o dinámico de la fisiología considera las alteraciones de las variables fisiológicas a lo largo del tiempo y sus mecanismos de regulación significan un cambio importante de paradigma científico

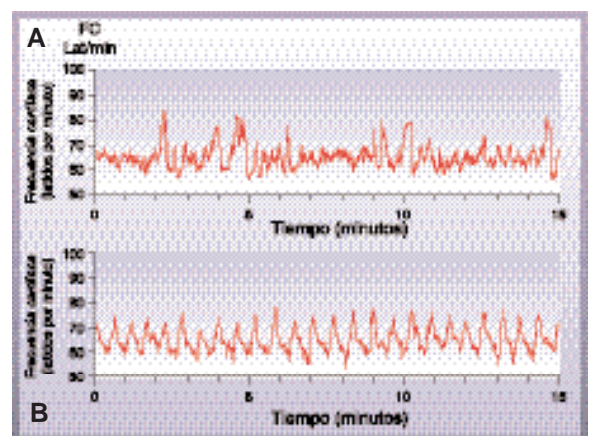


Fig. 0-6. Variabilidad R-R. A. Variabilidad normal. B. Variabilidad menor en un cuadro patológico.

El estado de salud implica la presencia de una variación intrínseca (caótica) en la mayoría de los sistemas fisiológicos, mientras que los estados patológicos se asocian con una tendencia a fijar los valores de las variables (regularidad mayor), véase [figura 0-6](#).

El organismo sano es aquel que cambia todo el tiempo con una variabilidad aleatoria alrededor de uno o más *atractores*.

¿Cuál es el estado ideal de un individuo?

“En el mismo río entramos y no entramos, pues somos y no somos [los mismos].”

Heráclito de Efeso

A esta pregunta hay que oponerle otra: ¿Para quién y en qué circunstancias? Las variables que definen la “normalidad” del estado homeostático varían según el período de la vida que consideremos (neonato, lactante, niño, adulto, geronte), el género, el grado de actividad física, el estado gestacional en la mujer, el momento del día, la altitud, latitud y longitud, la época del año, la temperatura y humedad ambiente, y hasta el estado educacional, cultural y psíquico.

La fisiología normal no es así la que nos mantiene en un valor fijo estable, sino la que varía esos valores de acuerdo con cada una de las circunstancias arriba mencionadas.

Lo que nosotros denominamos estado de “salud” o normalidad es la flexibilidad o adaptación de estas variables a la situación o escenario.

Por lo tanto, la homeostasis no representa un concepto estático de equilibrio, sino un estado dinámico al que se llega gracias a un trabajo constante de los mecanismos de adaptación.

CONTEXTO MÉDICO DE LA FISIOLÓGÍA: EL PACIENTE

“A cualquier casa que entrare acudiré para asistencia del enfermo, fuera de todo agravio intencionado o corrupción...”

Hipócrates (470-377 a.C.)

La asistencia del paciente, como queda expuesto en el juramento hipocrático, es el desvelo principal de los médicos

Por lo tanto, si bien la fisiología puede estudiarse como disciplina independiente relacionada con el interés de develar los misterios de la vida, o para comparar el funcionamiento de los animales (fisiología comparada), para los docentes de Ciencias de la Salud cuya obligación es formar a profesionales que deberán tratar pacientes durante toda su carrera es imprescindible ayudar a construir en el alumno un pensamiento fisiológico que le permita abordar la problemática de los pacientes y comprender su evo-

lución. En última instancia, ayudar a construir el pensamiento clínico, principal competencia de un médico, en la que la fisiología ocupa un lugar estelar. Como decía Magendie, uno de los padres de la Fisiología Moderna, “la medicina no es más que la fisiología del hombre enfermo”.

Si logramos este cometido habremos cumplido con los lineamientos de los padres de esta obra. Nos proponemos ahora encarar el estudio de la Fisiología con el paciente como marco de referencia. Es nuestro deseo más ferviente que la lectura de este libro, más que un mero ejercicio intelectual, sirva para iniciar una corriente de pensamiento que permita en el futuro restaurar y prolongar la salud y la calidad de vida de las personas.

El paciente

Cuando analizamos a un paciente como la realidad de estudio, nuestro hemisferio no dominante (generalmente el derecho) hace una síntesis inmediata más artística e intuitiva, que en la historia clínica se describe como **impresión diagnóstica**. Ésta nos permite intuir si el individuo se encuentra sano o enfermo y en este último caso, si parece grave o no. Por ejemplo, los médicos que cuentan ya muchos años de ejercicio en la profesión pueden reconocer que el paciente tiene fiebre aun antes de tomar sus signos vitales debido a que el patrón que observan los lleva al diagnóstico y en general... no se equivocan. Esta misma intuición tienen las madres cuando ven a sus hijos y les diagnostican hipertermia sólo con tocarlos.

El hemisferio dominante llamado así por poseer los centros del lenguaje (generalmente el izquierdo) analiza la información mediante las leyes de la lógica en forma lineal y sistemática dividiéndolo artificialmente en diferentes subsistemas (cardiovascular, respiratorio, etc.). Las dos formas interactúan dentro de nuestros hemisferios merced a su interconectividad, de tal manera que al percibir algo, primero tenemos una impresión general y luego un análisis secuencial de la misma.

El **enfoque sistémico** (el paciente como sistema y conformado a su vez por subsistemas) nos permite analizar al individuo según los dictados del método científico, al estudiar los componentes parciales del sujeto para averiguar qué funciona mal y cómo repararlo.

Este enfoque por sistemas es el que adoptaremos en general en la obra sin olvidar que el médico debe realizar un proceso de síntesis para considerar al paciente una entidad única.

El paciente como sistema


El cuerpo humano conforma un sistema complejo, separado del medio externo por las barreras naturales que conforman la piel y las mucosas, y compuesto por

subsistemas casi tan complejos como el propio organismo. Por ejemplo, el sistema cardiovascular, respiratorio, renal, digestivo, endocrino, linfático y nervioso, los que a su vez están compuestos por células (que conforman otro subsistema). Todos estos sistemas y subsistemas tienen como característica ser dinámicos.

Por otro lado, cada uno de estos subsistemas no es lineal, por lo que su comportamiento puede ser predicho sólo dentro de ciertos límites. A su vez, como son dependientes de las condiciones iniciales por tener comportamiento caótico es difícil predecir éste sobre la base de la estadística lineal.

COMPETENCIAS: UNA OBLIGACIÓN DE LAS FACULTADES DE MEDICINA

La Federación Mundial para la Educación Médica (WFME) definió en el *WFME Global Standards for Quality Improvement*, redactado en Dinamarca en el año 2003, como su propósito educacional que las facultades de medicina deben definir las competencias que correspondan exhibir a sus estudiantes al graduarse en relación con su entrenamiento posterior y su papel futuro dentro del sistema de salud.

 www2.sund.ku.dk/wfme/Activities/WFME%20Standard%20Documents%20and%20translations/WFME%20Standard.pdf

Por competencia definimos el conocimiento y comprensión de los procesos básicos, clínicos, de comportamiento, ciencias sociales, salud pública y ética médica RELEVANTES para la práctica de la medicina junto a las actitudes, destrezas en procedimientos diagnósticos y de tratamiento, de comunicación orientadas al tratamiento, prevención, promoción, rehabilitación de la salud, así como capacidad de seguir desarrollándose profesionalmente y aprendiendo a través de su carrera profesional.

En este sentido, proponemos las competencias médicas que nos parecen fundamentales y que se encuentran en la fisiología por su particular posición central en la adquisición del razonamiento clínico. Nuestro propósito es no sólo aportar conocimientos básicos sino ayudar a construir esa estructura de pensamiento.

Competencias

- Fomentar la comunicación, el trabajo multidisciplinario, la capacidad de aprender y la motivación. Desarrollar un comportamiento ético basado en el respeto a los pacientes y a los colegas.

Competencias centrales en las ciencias básicas

Muchas competencias centrales, clave o *core*, puede describirse aquí como la capacidad de leer críticamente

te artículos, generar hipótesis, búsqueda bibliográfica, comunicación intergrupal, trabajo eficaz en grupo, aplicación del método científico a la resolución de problemas y extensión de los datos de laboratorio a la práctica. Sin embargo, nos interesa recalcar dos:

- La primera es la capacidad de hacerse preguntas. No debería pasar una hoja de este libro sin hacerse preguntas sobre lo que leyó. Como decía Nietzsche: “De qué sirve un libro que no puede llevarnos más allá de todos los libros”.
- La segunda es tomar la fisiología como un sistema de pensamiento, como un método para comprender qué quiere decirnos un paciente con sus síntomas y signos y de qué manera podemos trazar una estrategia de tratamiento.

 Para un manual completo sobre competencia laboral consulte:

www.cinterfor.org.uy/public/spanish/region/ampro/cinterfor/publ/man_ops/pdf/presenta.pdf -

El método fisiológico permite un abordaje racional del paciente

El primer y único ineludible paso de la actividad médica es la interacción con el paciente.

En esta fase el estudiante recoge los antecedentes e información sobre los síntomas del paciente, agrega los signos obtenidos en el examen físico, los datos de laboratorio y estudios de imágenes. Lo fundamental con estos datos es elaborar un esquema mental o representación intelectual de lo que le sucede. Con el acopio de experiencia los estudiantes de ciencias médicas y en especial los residentes, elaboran patrones (lo que J. Bowen denomina *scripts* o guiones) con los que contrastan la información obtenida en el examen físico.

Si ésta parece ser la forma en que se adquieren las habilidades clínicas debiera ser nuestra obligación adaptarnos a ellas ya que mucho de la construcción de este patrón o guión resulta de una visión fisiológica y fisiopatológica de la realidad.

Cuando uno observa un paciente con dificultad respiratoria aguda supone inicialmente un trastorno pulmonar, cardíaco o del transporte de oxígeno. Si a eso se asocia un cuarto ruido y signos auscultatorios de edema de pulmón, para un clínico significa casi inmediatamente una insuficiencia cardíaca diastólica mientras que para un alumno no avezado son sólo tres incógnitas por resolver.

¿Cómo hacer que un alumno de fisiología asocie los parámetros fisiológicos con escenarios?

Así como la **semiología** (que no es otra cosa que la evidencia signosintomatológica de la fisiología del

paciente) agrupa los hallazgos en **síndromes** (que son una forma de ensamblar los guiones), los mecanismos fisiológicos deben ser interpretados a la luz del contexto o escenario en que se encuentra el paciente. Y esto no sólo se aplica a la fisiopatología como en el caso de bajo gasto cardíaco, hipoxemia, acidosis, hiperglucemia, etc., sino es un sujeto normal expuesto a deshidratación, altas temperaturas, alta altitud, embarazo, ejercicio, hiperbaria, por mencionar sólo algunas.

Por lo tanto, más importante que la adquisición de conocimientos estáticos de fisiología cardiovascular en sí, el alumno debe comprender cómo responden los sistemas cardiovascular, renal, endocrino y nervioso ante, por ejemplo, un síndrome de alto gasto cardíaco como el hipertiroidismo, el embarazo o el ejercicio extremo y en un bajo gasto como la deshidratación y la hemorragia.

Por ejemplo: Un paciente llega de la sala de operaciones. En los controles inmediatos tiene los ojos hundidos, la lengua seca, la frecuencia cardíaca elevada, la presión arterial disminuida y escasa eliminación de orina. El residente de la sala interpreta estos signos como falta de líquido extracelular, quizá por escasa reposición en relación con la pérdida en cirugía. Un ionograma urinario con sodio muy bajo y la osmolalidad urinaria elevada apoya aún más su teoría. Si el razonamiento fisiológico fue el correcto, la infusión de líquidos por vía intravenosa debería mejorar los parámetros. Si luego de infundir 500 mL la frecuencia cardíaca baja, la tensión arterial sube, la

diuresis (volumen de orina) mejora, los ojos y la lengua se humedecen, la fase experimental respalda la hipótesis (fig. 0-7).

Por experiencia personal estamos en condiciones de decir que los alumnos de fisiología pueden conocer aisladamente fisiología cardiovascular, renal y endocrina pero sólo una minoría es la que puede resolver un caso similar al anterior no siendo responsable de esto la falta de conocimientos clínicos sino la ausencia de articulación entre sí de los mecanismos fisiológicos.

Pensamiento lineal vs. pensamiento lateral

Un esquema de pensamiento lineal puede ser correcto como en el caso anterior, pero a veces no es suficiente.

Veamos otro ejemplo: Un neonatólogo recibe un neonato con coloración azulada de piel y mucosas (cianosis). La saturación de la oxihemoglobina y el nivel de O_2 en sangre son bajos, lo que hace suponer que es necesario más O_2 en el aire inspirado para elevarla. Luego de colocar una máscara con O_2 suplementario, el paciente se torna más rosado y mejora.

Al día siguiente recibe un neonato en similares condiciones y, envalentonado por su experiencia anterior, el médico administra O_2 . Pero esta vez el paciente no sólo no mejora sino que sus parámetros cardiovasculares empeoran. Empecinado en su hipótesis, el médico decide aumentar la fracción inspirada de O_2 . El paciente empeora en forma directa con la mayoría de su saturación.

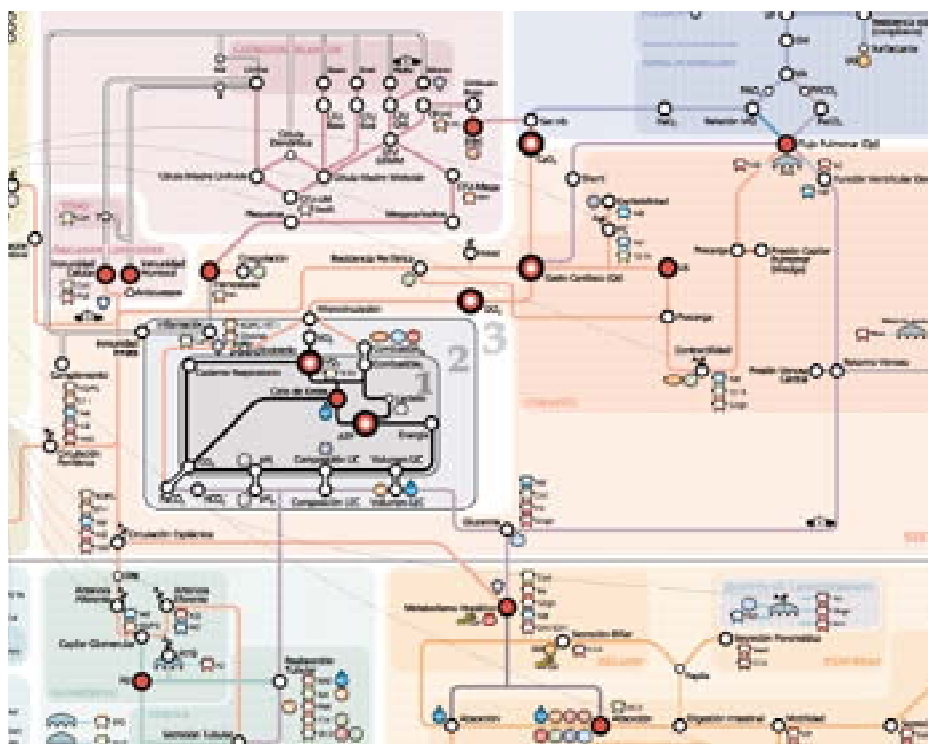


Fig. 0-7. Mapa conceptual. Deshidratación.

¿Qué ocurre? ¿Por qué un razonamiento correcto en el primer caso fue incorrecto en el segundo?

Aun sin saber todavía cómo explicar esto hasta que vean circulación transicional (cap. 20 y su importancia en las cardiopatías congénitas [en este caso una hipoplasia del ventrículo izquierdo]), nuestro esquema de razonamiento fisiológico indica que si el tratamiento con oxígeno no mejora al paciente, en vez de persistir de manera obstinada deberíamos detenernos y replantear nuestra hipótesis a la luz de los datos nuevos de que disponemos (la mejora de la oxigenación empeora la dinámica cardiovascular) y enunciar una nueva hipótesis para explicar estos hallazgos.

Esto es un ejemplo de pensamiento lateral, en el que en un sistema muy interrelacionado como es nuestro organismo, hay numerosas interacciones posibles entre los diferentes subsistemas que obligan a estar atentos a los cambios más sutiles. Esta interrelación estrecha permite llegar a un estado dinámico ideal llamado homeostasis.

Competencia

- Estudiar los mecanismos fisiológicos dentro del contexto o escenario presente en ese momento

Círculos virtuosos y círculos viciosos

“En el organismo todo ayuda y todo conspira.”

Hipócrates

Cuando vimos las características de los sistemas regulados por retroalimentación negativa mencionamos que estos sistemas están diseñados para mantener la estabilidad de la señal. Sin embargo, algunos mecanismos, que son útiles para restablecer parámetros a la normalidad en el corto plazo, pueden convertirse a su vez en una fuente de desajustes si se prolongan en el tiempo, como, por ejemplo, el estrés crónico.

Es fundamental que como médicos sepamos interpretar y dilucidar qué mecanismos fisiológicos benefician y cuáles empeoran el cuadro del paciente. Muchas veces resulta necesario intervenir para cortar estos círculos viciosos.

Un ejemplo: Un paciente con insuficiencia cardíaca presenta un gasto cardíaco disminuido debido a que al corazón le resulta imposible eyectar todo el volumen que debería. En esas circunstancias el corazón debe manejar volúmenes crecientes por la suma del retorno venoso al volumen residual aumentado. En condiciones normales, el incremento del volumen de

fin de diástole determinaría una mayor descarga sistólica y, por lo tanto, un mayor gasto cardíaco (ley de Starling), por lo que éste debería ser un mecanismo útil de regulación. Lamentablemente el ventrículo con insuficiencia que se encuentra muy dilatado empeora su funcionamiento si se lo sobrecarga aún más. En estas circunstancias la baja perfusión periférica y la baja presión arterial disparan mecanismos que tienden a aumentar la reabsorción de Na^+ y agua debido a la baja volemia efectiva. Esta expansión del líquido extracelular (LEC) determina un empeoramiento de la situación cardíaca, lo que conforma un círculo vicioso (fig. 0-8).



Los mecanismos fisiológicos que nos mantienen sanos son los mismos responsables de los mecanismos fisiopatológicos que nos enferman, todo se trata de desajuste entre la respuesta y el contexto.

Mapa conceptual

Elegimos un diagrama de trenes subterráneos para graficar el esquema conceptual de la obra porque nos parece adecuado como ejemplo gráfico para entenderla. Utilicémoslo para ubicar la integración horizontal de los sistemas y consúltelo cada vez que se encuentre perdido. La línea central corresponde al bloque intracelular, base fundamental de la vida vegetativa del paciente. Los puntos de interconexión muestran dónde se articula ésta con la línea tisular o extracelular y a su vez con los subsistemas que mantienen al extracelular estable.

En cada línea se pueden observar los sitios de control neurovegetativo y endocrino y los sistemas de defensa y control inmunitario. La alegoría se completa con la movilidad del subte, similar a la dinámica de los sistemas fisiológicos para mantener el estado hemodinámico que caracteriza a la salud (véanse figs. 0-7 y 0-8).

DIAGRAMACIÓN GENERAL DE LA OBRA

La estructura de este libro responde a una concepción particular. La parte I está orientada a destacar los mecanismos que mantienen vivas a las células.

La parte II, a los sistemas de distribución local y a las formas de interacción entre las células.

La parte III, a los sistemas fisiológicos cuyo fin es mantener constante el medio interno.

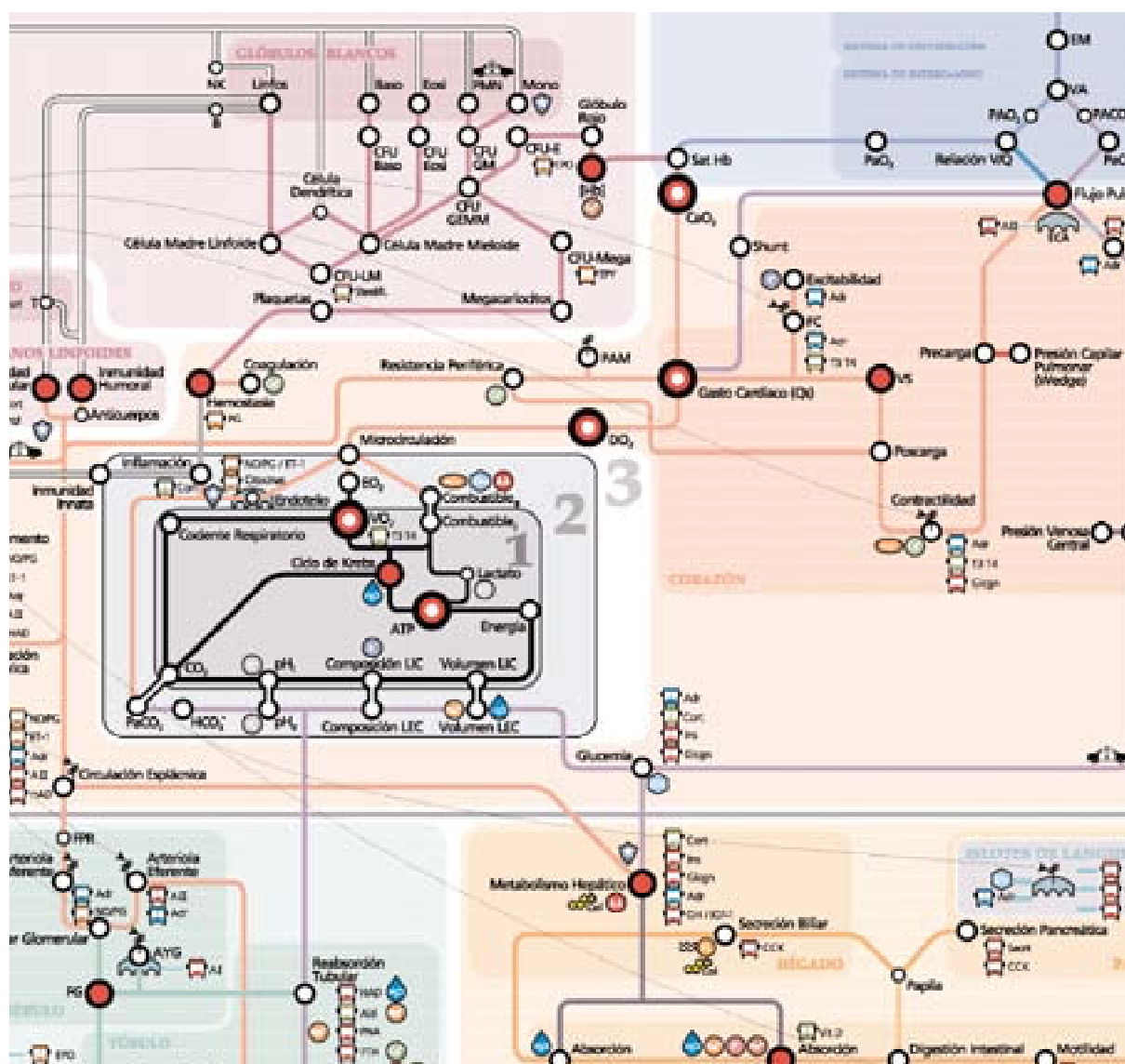


Fig. 0-8. Mapa conceptual. Insuficiencia cardíaca.

Lecturas recomendadas

- Bowen J. Educational Strategies to promote. Clinical Reasoning *N Eng J Med* 355:2217-25, 2006.
- Godin P, Buchman T. Uncoupling of Biological Oscillators. *Critical Care Medicine* 1996; 7, 24:7.
- Goldemberger A L. Complex systems. *Proc Am Thorac Soc* 2006; 3: 467-72.
- Goldemberger A, Amaral L, Hausdorff J, Ivanov P, Peng C, y Stanley E. Fractal dynamics in physiology: Alterations with disease and aging. *Pnas* 2002; 99: 2466-2472.
- Irigoin M, Vargas F. Competencia laboral: Manual de conceptos, métodos y aplicaciones en el sector salud. Montevideo: OPS Cinterfor: 2002.

- Malnic G. Homeostase, regulação e controle em Fisiologia em
Aires M Fisiología. 2a ed. Guanabara: Koogan; 1999.
- Schön D. La formación de profesionales reflexivos. Paidós,
1992.
- Siegfried K, Starker H. Kaos über Alles. Schmart Pub. 86th ed.,
1966.
- Towell D, Goldstein B. Linear and Nonlinear Dynamics and
the Pathophysiology of Shock. New Horizons, 1998; 6:2.
- West B. Fractal Physiology and Chaos in Medicine. New
Jersey: World Scientific; 1990.
- WFME. University of Copenhagen. Basic Medical Education.
WFME Global Standards for quality Improvement.
Denmark: 2003.

INTEGRACIÓN



CASO CLÍNICO

En todos los capítulos se desplegará un caso para definir el contexto clínico más relevante para el tema por tratar. El propósito, más que observar las desdichas de la familia Sastre, es definir un contexto clínico para orientar el estudio de la fisiología hacia la construcción del pensamiento médico.



RECONOCIMIENTO DE PATRONES

El diagnóstico clínico se basa en un reconocimiento de patrones. Estos patrones organizan los parámetros fisiológicos en conjuntos o unidades de sentido denominados síndromes que le permiten al médico orientar el tratamiento. En los capítulos encontrarán algunos de estos patrones que son importantes para la construcción del pensamiento clínico, p. ej., dolor precordial con supradesnivel del ST y enzimas cardíacas elevadas constituye un síndrome coronario agudo.



CRONOBIOLOGÍA

No somos el mismo organismo que fuimos un minuto atrás, por más que ese lapso sea corto. Nuestra fisiología varía de acuerdo con el tiempo de una manera bastante predecible. Por lo tanto es necesario conocer dichas variaciones diarias, mensuales, estacionales y anuales para poder entender cambios a mediano y largo plazo. Este apartado mostrará algunas de esas variaciones.



CICLO VITAL

La fisiología del recién nacido, lactante y niño tiene bastantes diferencias con las del adulto. En este apartado se resaltarán las más relevantes.

El estudio de la Fisiología es, entonces, una travesía hacia el corazón de la vida. ¡Buen viaje!