
Una experiencia didáctica integradora de física y biología.

Sbarato, R., Iparraguirre, L., Trettel, O., Evequoz, O., Rubio, M., Juri, H.

Facultad de Matemática Astronomía y Física. Grupo de Enseñanza de la Ciencia y la Tecnología (GECYT).
Universidad Nacional de Córdoba. Medina Allende y Haya de la Torre. Ciudad Universitaria. Córdoba.
Te: (0351) 4334051/52/55. Fax: (0351) 4334054. E-mail: Ipa@famaf.unc.edu.ar

Resumen

Se presenta una propuesta para una actividad integradora en el área de Ciencias Naturales, específicamente entre Física y Biología, aprovechando algunas de las posibilidades especiales que brinda el sistema circulatorio, y haciendo hincapié en los aspectos metodológicos del proceso didáctico. En esta propuesta, elaborada por un equipo interdisciplinario, se presenta el tratamiento de los principales aspectos mecánicos del aparato circulatorio, elaborados didácticamente tomando como eje metodológico el tratamiento de situaciones problemáticas. Las actividades están diseñadas para utilizar los conocimientos previos de los alumnos, y lograr una reconstrucción significativa de los mismos. La propuesta es puesta en práctica en un curso de capacitación docente para profesores de Física, y aquí se describe el desarrollo del proceso y se analizan los resultados obtenidos, los cuales se consideran exitosos.

Abstract

This proposal suggests an activity in the area of the Natural Sciences that integrates Physics and Biology due to the singular possibilities of the circulatory system, and with special emphasis on the methodological aspects of the didactic process. This work was developed by an interdisciplinary team and deals with the main mechanical aspects of the circulatory system. They are developed didactically, taking the treatment of problematic situations as a methodological axis. The activities are designed so that the student's previous knowledge is used and reconstructed significantly. This proposal is applied in a training course for Physics Teachers. Here, we present the facts that took place and the discussion of the final results, which we consider successful.

Introducción

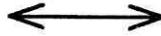
Se presenta una propuesta de trabajo integrador en el área de Ciencias Naturales que constituye un modelo alternativo para la enseñanza de la física del aparato circulatorio humano en el nivel medio. La misma fue desarrollada inicialmente por un equipo interdisciplinario formado por especialistas en física, en medicina y en didáctica, con la finalidad de mejorar la enseñanza de temas de Física Biomédica en la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Córdoba, en el marco de un Proyecto de investigación AIF de CONICOR. Posteriormente esta propuesta fue adaptada para el nivel medio (Polimodal), e implementada en un curso de capacitación docente con profesores de física. A la cual corresponden los resultados que se describen en este trabajo.

Desde el punto de vista de la enseñanza de física y biología en el nivel medio, varios temas se prestan para integrar aportes de ambas asignaturas. El aparato circulatorio animal es uno de los más ricos para ello, dado que tiene diferentes aspectos que pueden relacionarse con varios temas de física, de química y biología (en este trabajo nos ocuparemos solamente de aspectos que tienen que ver con física).

A modo de ejemplo, en el siguiente cuadro enunciamos dos grandes posibilidades para establecer relaciones entre física y biología tomando al aparato circulatorio como eje principal, con las que podría trabajarse de manera similar. Se indican algunos temas particulares de las currícula de cada asignatura.

Circuitos hidráulicos

- Temas particulares de física.
- Presión - caudal - velocidad de flujo.
 - Viscosidad.
 - Conexiones en serie y paralelo.
 - Sistemas de bombeo - tipos de bombas - válvulas.



Sistema circulatorio

- Temas particulares de biología.
- Constitución del sistema circulatorio. Propiedades mecánicas de venas y arterias. Presión arterial.
 - Estructura de los troncos venoso y arterial en función de las funciones nutritiva y oxigenadora de la sangre.
 - Estructura y funcionamiento del corazón.

Calor, temperatura y energía

- Temas particulares de física.
- Temperatura - termómetros.
 - Calor - calorimetría - calor específico - calor de vaporización del agua. Calor de fusión del hielo.
 - Propagación del calor - conducción - radiación - circulación de fluidos (convección forzada).



Termorregulación animal

- Temas particulares de biología.
- Metabolismo celular y producción de calor.
 - Regulación de la aislación térmica.
 - Regulación de la circulación sanguínea.
 - Regulación de la transpiración.

En esta propuesta se trabajó con los aspectos mecánicos del aparato circulatorio, estableciendo comparaciones y analogías con un circuito hidráulico. Veremos en el análisis del desarrollo de esta experiencia que los participantes de la misma (profesores de Física) mostraron conocer más o menos bien la constitución y el funcionamiento del aparato circulatorio, pero inicialmente muy pocos pudieron dar explicaciones aceptables desde el punto de vista de la física, sobre muchos de sus aspectos básicos.

Consideramos que la situación de los alumnos de nivel medio es bastante parecida. A partir de lo que estudian en biología, más lo que aprenden en diversas fuentes en la vida cotidiana, ellos conocen aproximadamente la constitución y el funcionamiento del aparato circulatorio: saben "hablar" de corazón, venas, arterias, válvulas, etc. Sin embargo muy pocos pueden explicar correctamente cómo funcionan las partes, y entender la razón de ser de algunos de los detalles importantes más básicos. Tenemos la convicción de que la problematización introducida por las exigencias de construcción explícita de un modelo es poco menos que indispensable para la comprensión de este tema (y de otros similares) desde el punto de vista de la física, y a la vez, de que

este tipo de comprensión es importante para la biología.

Fundamentación

Esencialmente se trata aquí de describir desde la física el sistema circulatorio humano, explorando hasta qué punto la constitución y función de sus diversos elementos, tal como se las estudia en biología, puede ser explicadas con las leyes, elementos, y lenguaje de la física.

Creemos que una propuesta de este tipo debe ser sumamente beneficiosa para la enseñanza de la física y la biología, por dos razones fundamentales:

- Por un lado, la física necesita objetos concretos, de la vida cotidiana, a los cuales referirse para despertar el interés y motivar a los alumnos. En ese sentido consideramos que los temas de fisiología, debidamente planteados, pueden ser los más adecuados.
- Por otro lado, la biología moderna se relaciona cada vez más con otras ciencias básicas colaborando en su estructura explicativa. En este caso la exigencia de explicar desde la física una serie de elementos que se toman de la biología puede constituir un excelente punto de partida para el desarrollo de una forma más integrada de entender esta ciencia.

Es importante tanto para la física como para la

biología, que al estudiar un tema de fisiología desde la física, se enriquezca el discurso que es habitual desde la biología, adoptando los aspectos de la metodología científica que la física posee muy desarrollados y que pueden completarla o complementarla. Hay que poner especial cuidado para evitar caer en una actividad meramente descriptiva, vacía de los debidos contenidos y conceptos. Es muy fácil que la propuesta se transforme en otra manera de memorizar aspectos del aparato circulatorio si no se consigue involucrar a los alumnos en una actividad que les obligue a aplicar la metodología científica, leyes, y a razonar en términos de modelos (Pozo, 1987). Para ello, siguiendo las ideas de muchas investigaciones actuales en didáctica de las ciencias (Gil *et al.* 1991), en esta propuesta hemos adoptado como eje metodológico el tratamiento de una situación problemática, referida a:

elaborar (en un proceso adecuadamente guiado) un modelo mecánico del sistema circulatorio humano, a partir de una serie de datos y premisas tomados de los conocimientos habitualmente impartidos en biología.

La orientación del proceso estará a cargo de un equipo interdisciplinario, la cual deberá ser suficientemente cuidadosa, como para que los alumnos lleguen a elaborar un modelo que responda a las premisas y leyes que se impongan. Es necesario que los alumnos puedan obtener conclusiones en función del modelo desarrollado y de las leyes y condiciones consideradas, con cierta independencia de lo que realmente sucede en el sistema circulatorio real, funcionando tal cual es. También se espera que puedan decidir hasta qué punto son admisibles las diferencias entre el modelo y dicho sistema real.

Descripción de la propuesta

La forma concreta de plantear el problema consiste en que, luego de una actividad inicial motivadora, se suministra a los asistentes una serie de premisas y una lista de materiales to-

mados del conjunto de conocimientos habitualmente impartidos en Biología. Por medio de una serie de preguntas se plantea el problema de construir un modelo mecánico del sistema cardiovascular, que debe responder a ciertas exigencias en su funcionamiento. Estas actividades se plantean para ser realizadas en grupos de 4 ó 5 personas. El docente con sus ayudantes guía a cada grupo, y establece los momentos para realizar puestas en común, cerrando las conclusiones de cada una.

La actividad inicial motivadora consistió en una práctica de medición de la presión arterial, de la manera que es habitual con un tensiómetro o "esfigmomanómetro", seguida de la explicación del procedimiento también habitualmente impartida, que reproducimos más adelante. Un objetivo importante de esta práctica consistía en que la siguiente actividad comenzaba con una pregunta que requería la explicación física de lo ocurrido durante la medición; y la misma pregunta repetida al final servía como determinación de algún avance experimentado en el proceso.

Otro objetivo importante de esta práctica fue que sirviera como se dijo, de motivación, pero además de guía. Se consideró que la búsqueda de explicaciones para sus distintos aspectos, debía estimular a cada asistente para encarar la tarea de interpretar y buscar explicaciones para todos los demás detalles del funcionamiento del sistema circulatorio en general.

Actividades planteadas

Actividad 1:

Los participantes del curso se deberán tomar la presión arterial con los tensiómetros distribuidos para tal fin. El procedimiento para hacerlo es el habitual, que a continuación se detalla.

Medición de la presión arterial.

El tensiómetro consta de un brazalete que se puede inflar, conectado a un manómetro (Figura 1). El mismo se enrolla alrededor del brazo y se coloca el estetoscopio sobre la arteria bra-

quial del codo. Luego es inflado rápidamente hasta que no se escucha ningún ruido en el estetoscopio. Posteriormente se reduce gradualmente la presión en el brazalete utilizando la válvula dispuesta para tal fin. La presión en el brazalete cuando se oyen por primera vez los latidos, es la presión sistólica (máxima). A medida que la presión va disminuyendo, los sonidos se vuelven más intensos, luego sordos y apagados, y finalmente desaparecen. En este punto tenemos la llamada presión diastólica (mínima).

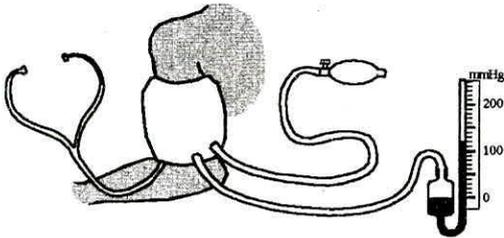


Figura 1: medición de la presión o tensión arterial.

Actividad 2:

Por medio de la respuesta al conjunto de 18 preguntas que se formulan más adelante, desarrollar un modelo de sistema hidrodinámico cerrado, capaz de transportar sangre por el tronco, piernas, riñones, pulmones, bazo, aparato digestivo, hígado, cerebro y brazos, con el fin de que dicho sistema libere a los tejidos que constituyen nuestro organismo de CO_2 y de otros desechos de reacciones químicas, y de que distribuya en los mismos O_2 y los nutrientes para que dichas reacciones se produzcan.

El sistema desarrollado debe cumplir con las siguientes premisas, y debe tener en cuenta las características de las estructuras biológicas que se especifican.

Premisas:

La circulación debe:

- 1) Abarcar todo el organismo.
- 2) Liberar a los tejidos de CO_2 y nutrirlos de O_2 .
- 3) Realizar la tarea anterior en forma urgente, ya que algunos minutos sin O_2 producen la muerte celular.
- 4) Eliminar otros desechos (ejemplo: urea, amoníaco, ácido úrico, etc.).

- 5) Tomar y distribuir nutrientes (ejemplo: aminoácidos, vitaminas, hidratos de carbono, lípidos, minerales, etc.).
- 6) Llevar a cabo las últimas dos tareas de manera no prioritaria.
- 7) Quitar de circulación plaquetas y glóbulos rojos viejos.
- 8) Cumplir ciertos controles inmunológicos.
- 9) Disponer de reservorios de sangre para poder recurrir a ella en caso de necesidad.

Estructuras biológicas que se considerarán:

Arterias y arteriolas: Las arterias son tubos de gran diámetro, constituidas por una cantidad relativamente grande de tejido elástico, mientras que las arteriolas tienen mucho menos tejido elástico y mucho más músculo liso.

Este último está innervado, por lo que posee la facilidad de reaccionar a estímulos externos produciendo la vasodilatación o la vasoconstricción de la arteriola.

Venas y vénulas: Las paredes de las vénulas y venas son tubos de paredes delgadas, que se distienden fácilmente. Ellas contienen poco músculo liso, a pesar de lo cual es posible producir venoconstricción.

Capilares: Son tubos con un diámetro de $5 \mu\text{m}$ en el cabo arterial y $9 \mu\text{m}$ en el cabo venoso. Las paredes tienen $1 \mu\text{m}$ de espesor y están constituidas por una sola capa de endotelio. Permiten la difusión de moléculas a través de ellos. Resisten presiones no mayores a 40 mmHg .

Células musculares. Este tipo de células pueden ser excitadas química, eléctrica y mecánicamente, para producir un potencial de acción que se transmite a lo largo de su membrana celular. Están constituidas por proteínas que se contraen como resultado de la excitación.

Cumplen con la ley de Starling, que dice: "la fuerza de la contracción es proporcional a la longitud inicial de la fibra muscular".

Células nerviosas: Tienen un umbral bajo de excitación. Los excitantes pueden ser eléctricos, químicos o mecánicos. El impulso se con-

duce por un proceso activo y autopropagado.

Válvulas: Son mecanismos de cierre, que se activan ya sea directamente por causas físicas (diferencias de presiones), o ya sea por agentes químicos.

Riñones: Son órganos diseñados con la finalidad de filtrar a la sangre de desechos y regular la cantidad de H₂O en el organismo.

Intestinos: Son órganos encargados de la digestión de alimentos y de la absorción de nutrientes por parte de la sangre.

Pulmones: Son los encargados de eliminar CO₂ y transferir O₂ a la sangre.

Bazo: Se encarga de eliminar glóbulos rojos y plaquetas viejos y cumplir funciones inmunológicas.

Hígado: Es una planta metabólica. Toma los componentes elementales que ingerimos y los transforma en las macromoléculas que necesitamos para vivir.

Preguntas:

- 1) ¿Cómo funciona un tensiómetro?
- 2) ¿Podemos pensar en un sistema hidrodinámico cerrado que transporte líquidos sin que exista una bomba?
- 3) ¿Cuál de las estructuras biológicas antes mencionadas utilizaría para construirlo?
- 4) ¿Cómo diseñaría la bomba más simple que se le ocurra?
- 5) ¿Cuántas cavidades tendría la misma? y cuántas válvulas?
- 6) ¿Cómo funciona dicha bomba?
- 7) ¿Qué detalle tecnológico agregaría para hacer más eficiente la contracción teniendo en cuenta la ley de Starling?
- 8) ¿Cuántas cavidades tendría la bomba? y cuántas válvulas?
- 9) ¿Qué estructura biológica utilizaría para la zona de intercambio de moléculas?
- 10) ¿Qué tubería utilizaría para la salida de sangre pura desde el corazón hacia los tejidos?
- 11) Justificar (10) utilizando la curva P-V de arterias y venas (Figura 2).
- 12) ¿Y qué tubería utilizaría para la sangre que retorna de los tejidos? (Justificar también utilizando la curva P-V de arterias y venas).
- 13) ¿Cómo y con qué estructuras biológicas construiría los reservorios de sangre?
- 14) ¿Dónde y cómo colocaría los pulmones?
- 15) ¿Qué innovaciones debe hacer en la bomba para ubicarlos?
- 16) ¿El circuito circulatorio tendría a los órganos restantes en serie o en paralelo?
- 17) ¿Cómo podemos hacer para ayudar a que la sangre venosa regrese al corazón?
- 18) Se repite la pregunta inicial: ¿Cómo funciona un tensiómetro?

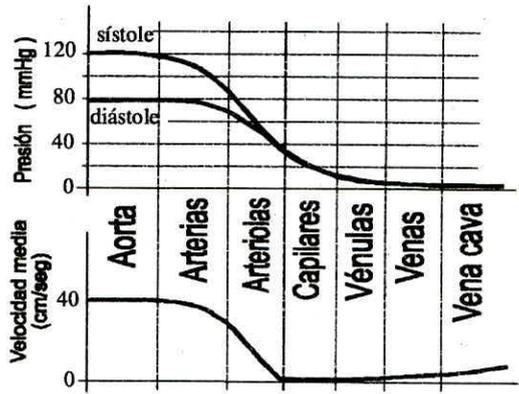


Figura 2: Presión y velocidad de la sangre en los distintos tramos del aparato circulatorio.

Desarrollo de la experiencia

Esta experiencia fue realizada con un conjunto de 70 profesores de Física de nivel medio. El conjunto fue dividido en 14 grupos de cinco integrantes cada uno. No hubo ningún tipo de selección previa de los profesores participantes. Se permitió que los grupos se integraran por libre elección de los participantes sin intentar homogeneizarlos según niveles de conocimientos.

Las respuestas dadas por los distintos grupos a las preguntas fueron.

Pregunta 1) ¿Cómo funciona el tensiómetro?

Respuesta: Los grupos se niegan a contestar argumentando que no lo saben, y no tienen por qué saberlo.

Pregunta 2) ¿Podemos pensar en un sistema hidrodinámico cerrado que transporte líquidos sin que exista una bomba?

Respuesta: Trece grupos responden negativa-

mente. El restante opta por la respuesta afirmativa y sugiere la utilización de un termosifón.

Pregunta 3) ¿Cuál de las estructuras antes mencionadas utilizaría para construir dicho sistema?

Respuesta: El sector minoritario descubre que no puede construir un termosifón con las estructuras disponibles, por lo que decide construir una bomba. El 100 % de los alumnos responde que las estructuras que utilizaría para la construcción de la misma son nervios y tejido muscular.

Pregunta 4) ¿Cómo diseñaría la bomba más simple que se le ocurra?

Respuesta: Las contestaciones son variadas, pero el total coincide en que la bomba deberá ser un órgano hueco constituido por células musculares, al que se le colocarán algunas válvulas físicas, y que se contraerá por la acción de un estímulo eléctrico.

Pregunta 5) ¿Cuántas cavidades tendría la misma? ¿y cuántas válvulas?

Respuesta: Ocho grupos piensan en una bomba constituida por una cavidad de tejido muscular y dos válvulas físicas, tal como se muestra en la figura 3.

El resto propone una bomba compuesta por dos cavidades y cuatro válvulas, como la que se muestra en la figura 4. Explican la elección diciendo que la bomba debe tener una parte para la sangre limpia y otra para la sangre sucia.

Pregunta 6) ¿Cómo funciona dicha bomba?

Respuesta: El primer grupo dice que el órgano al ser estimulado eléctricamente (para lo que necesitamos tejido nervioso) se contrae. La válvula V1 se cierra al aumentar la presión intracavitaria a la vez que se abre la V2. Luego de completar la expulsión del líquido el tejido muscular se distiende, V2 se cierra, V1 se abre e ingresa líquido por tener un gradiente de presión favorable. El segundo grupo responde que la sangre impura ingresa en C1 cuando la pared muscular se distiende. En este primer momento está abierta V1 y V2 está cerrada. La

cavidad C1 completa su llenado y se contrae, con lo que se cierra V1 y se abre V2, siendo impulsada la sangre impura. La sangre pura regresa hacia C2. Primeramente C2 se llena, V3 permanece abierta y V4 cerrada. C2 se comienza a contraer, V3 se cierra, V4 se abre y la sangre es expulsada hacia el resto del organismo. A este grupo se les pregunta si lo que están describiendo es una bomba o dos bombas en serie. Responden que se trata de dos bombas, y por lo tanto la bomba más simple es la de una cavidad con dos válvulas. Tenemos entonces que el 100% de los estudiantes coinciden en su respuesta.

Pregunta 7) ¿Qué detalle tecnológico agregaría para hacer más eficiente la contracción teniendo en cuenta la ley de Starling?

Respuesta: Todos comprenden que deben ingresar más sangre a la cavidad, pero no logran diseñar ningún sistema. Se les pide que piensen en lo que pasa con los globos de cumpleaños cuando los niños los aprietan. Después de unos minutos, sugieren que la forma de aprovechar la ley de Starling es contrayendo la cavidad por partes.

Pregunta 8) ¿Cuántas cavidades tendría la bomba? ¿y cuántas válvulas?

Respuesta: Después de una serie de disgresiones el 100 % de los alumnos opta por un sistema similar al esquematizado en la siguiente figura 5. La bomba tiene ahora dos cavidades. Cuando el órgano está distendido las cavidades se llenan de líquido. Posteriormente los músculos de C1 se contraen, al tiempo que V1 se cierra, V2 se abre y V3 está cerrada. Esto inyecta el líquido de C1 en C2 aumentando la tensión en las paredes de esta última cavidad. Por último las paredes de C2 se contraen, V2 se cierra, V3 se abre y la sangre es impulsada hacia el organismo con más fuerza que en el modelo anterior.

Pregunta 9) ¿Qué estructuras biológicas utilizaría para la zona de intercambio de moléculas?

Respuesta: La totalidad de los asistentes eligen capilares.

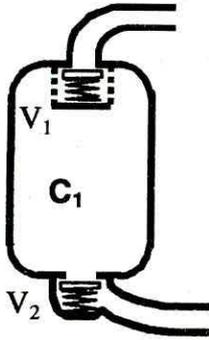


Figura 3: Representación esquemática de una bomba con una cavidad (C1) y dos válvulas (V1 y V2).

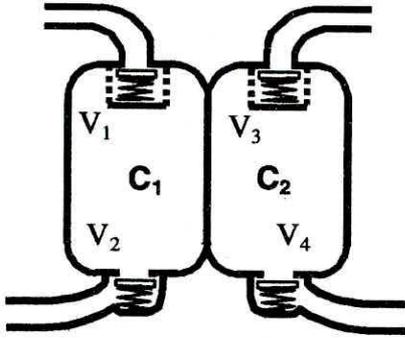


Figura 4: Representación esquemática de una bomba con dos cavidades (C1 y C2) y cuatro válvulas (V1, V2, V3 y V4).

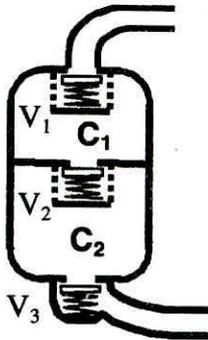


Figura 5: Representación esquemática de una bomba con dos cavidades (C1 y C2) y tres válvulas (V1, V2, y V3).

Pregunta 10) ¿Qué tubería utilizaría para la salida de sangre pura desde el corazón hacia los tejidos?

Respuesta: Ocho grupos responden que utilizarán arterias, y el resto, venas.

Pregunta 11) Justificar utilizando la curva P-V de arterias y venas.

Respuesta: Sólo puede justificar la elección el grupo mayoritario. El grupo minoritario descubre que las venas no se pueden colocar a la salida de la bomba, ya que se distienden muy fácilmente, lo que dificulta que la sangre circule.

Pregunta 12) ¿Y para la que retorna de los tejidos?

Respuesta: 10 grupos responden venas, mientras que el resto sugiere la utilización de arterias.

Pregunta 13) ¿Con qué estructuras biológicas construyen los reservorios?

Respuesta: Los que en la pregunta anterior respondieron venas, pueden ahora justificar su elección al decir que las mismas son a la vez, las tuberías por las que regresa la sangre a la bomba, y los reservorios de sangre. Mientras que el grupo minoritario, que optó por conducir la sangre siempre a través de arterias, se da cuenta que las venas son los reservorios más simples en los que pueden pensar (con las estructuras disponibles), por lo que cambian su respuesta a la pregunta anterior y con esta nueva elección les queda respondida también esta pregunta.

Pregunta 14) ¿Cómo y dónde colocaría los pulmones?

Respuesta: Inicialmente todo el grupo decide colocarlos en serie. En cuanto a la ubicación, prueban colocarlos tanto a la salida de la bomba como al retorno de la misma. En ambas situaciones descubren incompatibilidades. Si los colocan del lado arterial, la presión es excesiva por lo que los capilares estallarían, si los colocan en la zona venosa, la presión es insuficiente. Un 60% del grupo piensa entonces en colocarlos en paralelo, pero descubren que de esta manera, a pesar de resolver el problema referido a las presiones tienen uno mucho más grave, y es el de no cumplir con la premisa que exige una oxigenación urgente de la sangre. La conclusión final es que los pulmones deben ser colocados en serie, pero que la bomba diseñada

no les sirve.

Pregunta 15) ¿Qué innovaciones debe hacer en la bomba para ubicarlos?

Respuesta: Deciden que una forma posible no es agregar nada a la bomba antes desarrollada, sino sumar al sistema, al final de la sección venosa, otra bomba (similar a la que ya estamos utilizando) antes de los pulmones, sólo para ellos. De esta manera se consigue elevar la presión de la sangre desde casi cero en el cabo venoso, hasta unos 30 mmHg necesarios para atravesar los capilares del pulmón. El sistema diseñado se muestra en la figura 6. Hacemos notar que este sistema de dos bombas es el que desarrollo la naturaleza, solo que en lugar de colocar las bombas por separado, las colocó a las dos adheridas entre sí.

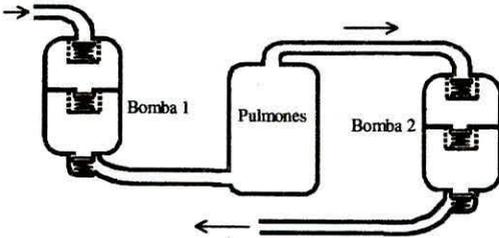


Figura 6: Representación esquemática de los pulmones en serie con una bomba que elevaría la presión desde casi cero en el extremo venoso hasta el valor adecuado para el flujo por los capilares pulmonares (alrededor de 30 mmHg). A la salida de los pulmones la otra bomba eleva la presión para la circulación por el resto de los órganos.

Pregunta 16) ¿El circuito circulatorio tendría a los órganos restantes en serie o en paralelo?

Respuesta: Como están condicionados por la respuesta anterior, deciden colocar a los órganos restantes, en serie. El sistema al que llegan esta esquematizado en la figura 7. El mismo es obviamente muy complejo por lo que deciden colocar a los órganos en paralelo, teniendo en cuenta que las funciones que deben cumplir los mismos no son urgentes. Trece grupos optan por el sistema mostrado en la figura 8. El otro grupo desarrolla un sistema muy complejo como el que se muestra en la figura 9. Después de alguna discusión con respecto al mismo deciden que el mejor sistema es el que eligió la

mayoría.

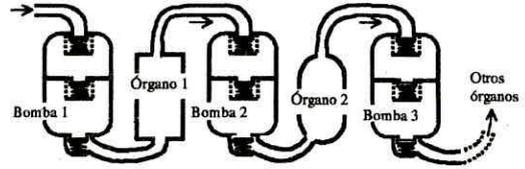


Figura 7: Representación esquemática de los órganos en serie con una bomba para cada uno.

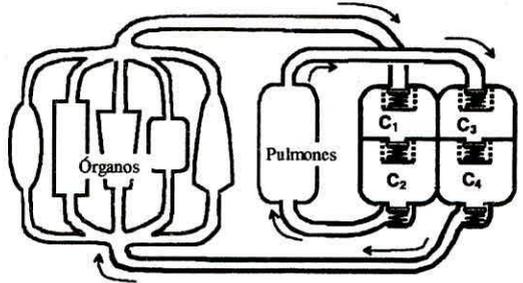


Figura 8: Representación esquemática de una bomba hecha de cuatro cavidades y seis válvulas.

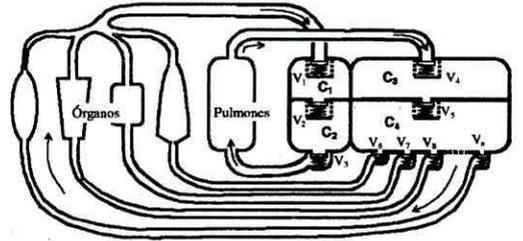


Figura 9: Representación esquemática de una bomba hecha de cuatro cavidades (C1, C2, C3 y C4) y n válvulas (V1, V2, ..., Vn).

Pregunta 17) ¿Cómo podemos hacer para ayudar a que la sangre venosa regrese al corazón?

Respuesta: El 100% sugiere colocar bombas.

Pregunta 18) Finalmente se repite la pregunta 1 ¿Cómo funciona un tensiómetro?

Respuesta: Comienzan a debatir sobre el funcionamiento del aparato, cosa que no ocurrió la primera vez que formulamos esta pregunta. Después de algunos minutos todos los grupos explican correctamente el funcionamiento del aparato.

Análisis de la experiencia

En la respuesta a la pregunta 1 se observa que

la totalidad de los participantes se niega a responder, aduciendo que todo lo que suceda en su cuerpo o esté relacionado con él es terreno de estudio de la Biología, ciencia en la que ellos no son especialistas. *No intentan responder utilizando sus conocimientos de Física.*

En la respuesta 2 ya se sienten en un terreno conocido por lo que todos los grupos comienzan a trabajar. Un grupo propuso utilizar un sistema de termosifón para hacer funcionar el sistema, pero en la respuesta a la pregunta siguiente sus integrantes advirtieron que el problema estaba fuertemente condicionado por la lista de estructuras con las que contaban, ya que no consiguieron ninguno con el que pudieran construir el sistema propuesto. Una vez descartada la propuesta minoritaria, todos comienzan a pensar en diseñar una bomba, y todos saben que dicho diseño debe estar hecho de nervios y músculos. El diseño de la misma pasa por dos etapas, en una primera todos piensan en términos de cilindros y pistones; cuando descartan por complicado este tipo de diseño, comienzan a pensar en la utilización de órganos huecos constituidos de fibras musculares que se contraen bajo la acción de un estímulo eléctrico que transmiten los nervios. Se agregarían las válvulas de tipo físico que fuesen necesarias.

En la respuesta 5 se nota que hay un grupo de personas (40%), que elige como bomba más simple a construir con las estructuras disponibles una de dos cavidades y cuatro válvulas y justifican la respuesta diciendo que una cavidad era para la sangre limpia y otra para la sangre sucia. *En esta respuesta notamos que los alumnos tratan de utilizar los datos que recuerdan del funcionamiento del corazón real.*

El 60% del conjunto opta por una bomba de una sola cavidad, dando muestra de entender realmente cual es el problema propuesto. El grupo minoritario descubre en la pregunta 6 el hecho de que, mientras que el problema le pide que ellos diseñen una bomba, ellos diseñaron un sistema de dos bombas en serie, por lo que

descartan la opción y se acoplan al grupo mayoritario.

En la pregunta 7 es donde surgen los mayores problemas en cuanto al desarrollo del modelo. Todos entienden que deben diseñar una forma de ingresar mayor cantidad de sangre a la cavidad pero no encuentran la manera de hacerlo. Se les brindan algunas ayudas, como el que piensen en lo que sucede con los globos al ser apretados por los niños y se les propone que recuerden lo que les enseñaron alguna vez relativo al funcionamiento del corazón. Después de largas discusiones comprenden que lo que deben hacer es comprimir la cavidad por partes y agregar una válvula que divida a la cavidad en dos. Esto ya explica la respuesta a la pregunta 8.

En la pregunta 9 todos los grupos optan por los capilares para la zona de intercambio de moléculas. El tema es importante, pero no se abordó su análisis más allá de lo superficial. En el diseño de esta propuesta no se encontró una forma adecuada de profundizar en los detalles y se postergaron algunas inquietudes en ese sentido para otra oportunidad.

En la pregunta 10 se pone de manifiesto el conocimiento básico sobre elementos del aparato circulatorio, pero al no saber el por qué, colocan cada estructura en general incorrectamente. Seis de los catorce grupos cree que a la salida del corazón se deben utilizar venas. Cuando se les pide que justifiquen la elección utilizando los diagramas P-V, luego de algunos comentarios del docente guía, se dan cuenta de que las venas son incapaces de transportar la sangre de manera eficiente, ya que se distienden demasiado fácilmente. Cuando deben responder la pregunta 13 en la que se les pide que diseñen reservorios, advierten, nuevamente con alguna ayuda del docente guía, que las venas en el retorno de la sangre al corazón son a la vez tuberías y reservorios.

Llega el momento de ubicar a los órganos. La primera pregunta es referida a la colocación de los pulmones, y los participantes descubren que tanto si los ponen en serie como si los po-

nen en paralelo surgen incompatibilidades con las premisas. Si los colocan en serie se aseguran de que la totalidad de la sangre pase en cada ciclo por estos órganos. Ahora bien si los disponen a la salida del corazón, la presión que tendrían que soportar los capilares es excesiva, mientras que si los colocan en la zona de retorno venoso la presión es deficitaria. Los colocan entonces en paralelo, en este caso no hay problema con las presiones, pero no se cumple con la premisa referida a la urgencia de la oxigenación de la sangre. Descubren también que esta última premisa sólo se cumple colocando los órganos en serie, por lo que deben hacer modificaciones en el sistema de bombeo. Lo que se les ocurre es colocarlos en la zona de retorno venoso, pero disponiendo delante de ellos una bomba extra que será la encargada de elevar la presión sanguínea a valores aceptables para vencer la resistencia periférica de los capilares pulmonares.

Cuando les toca responder acerca de la ubicación de los otros órganos, debido a que están condicionados por el éxito de la respuesta anterior sugieren colocar todos los órganos en serie, lo que implica colocar una bomba extra por órgano. Debido a que éstos no tienen que cumplir tareas tan urgentes no es necesaria semejante complicación. Cuando se dan cuenta de esto deciden colocarlos en paralelo.

Conclusiones

- 1) Se vio claramente que la actividad constituyó un genuino problema capaz de incentivar a los participantes. Interpretamos que esto se debe a los siguientes factores:
 - a) El tema es cercano a las preocupaciones de los asistentes, por lo cual ellos tenían conocimientos previos, e incluso ideas ya consolidadas sobre el mismo.
 - b) Los asistentes conocían elementos que podían utilizar para explicar algunos aspectos y defender algunas ideas, en general ambas cosas de manera parcial. De manera que todas las explicaciones diferían en algo, o tenían inconsistencias o detalles que no re-

sultaban admisibles.

- c) Hubo una guía adecuada del proceso por parte de docentes expertos. Esto fue esencial para mantener el interés en el problema, porque era lo que permitía ordenar periódicamente las ideas, y hacer que las soluciones adecuadas fueran accesibles.

Creemos que estos son factores importantes para tener en cuenta al elegir una situación problemática para un tratamiento como éste.

- 2) El hecho de que los alumnos de esta experiencia fueran profesores de física, y tuvieran suficientes conocimientos previos relativos a la estructura del sistema circulatorio, no produjo automáticamente buenas soluciones del problema planteado. A través de errores como tratar de construir bombas con varias cavidades sólo para reproducir lo que se conoce previamente del sistema real, sin poder explicar para qué lo necesitaría el modelo, o como colocar venas a la salida del corazón y arterias en la zona de retorno por no poder encontrar razones mecánicas para otra opción, vemos con claridad que en el momento inicial lo que faltaba era precisamente el aporte de la física en el proceso.

- 3) Con esta experiencia se ha mostrado claramente que los profesores de física cuentan con muchos de los elementos que necesitan para aplicar la metodología científica a la solución de un problema como éste, *pero no lo hacen a menos que sean adecuadamente guiados* en ese esfuerzo. Esto pone de relieve la importancia que tiene la planificación de las actividades que proponemos a los alumnos para el aprendizaje de estos u otros temas. Actividades adecuadas pueden guiar a los alumnos hacia un aprendizaje basado sobre los principios y métodos de la ciencia, y actividades inadecuadas pueden guiar hacia un aprendizaje memorístico, vacío de significados. En el primer caso el alumno comprenderá la razón de ser de los detalles, podrá, en el futuro, reconstruir el conocimiento. En el segundo caso el alumno sólo habrá memorizado cómo es y cómo funciona el

sistema. Una vez olvidado algún detalle, ya no podrá reconstruirlo.

4) Ante cada una de las preguntas propuestas se contó siempre con al menos dos respuestas. La forma en que cada una fue discutida y las modificaciones desarrolladas, nos permite juzgar que se logró en gran medida una reconstrucción significativa del tema.

Este criterio resultó también coherente con el hecho de que la primer pregunta fuera repetida al finalizar la experiencia y ahora sí se tuvieron respuestas acorde al problema planteado. Interpretamos que se logró una mayor comprensión del sistema circulatorio humano, y también un cambio muy positivo de actitud en

profesores de una disciplina que debe funcionar dentro de un área.

Bibliografía citada y consultada.

- Ganong, J. 1992. *Fisiología Médica*. 13^o Ed. El Manual Moderno. México.
- Testut, L. y Latarjet, A. 1983. *Compendio de Anatomía Descriptiva*. 22^o Ed. Salvat
- Cicardo, M. 1987. *Biofísica*. 8^o Ed. López Librero Editores. SRL. Bs.As.
- Pozo, J. I. 1987. *Aprendizaje de la Ciencia y Pensamiento Causal*. Ed. Visor. Madrid.
- Gil, D. Carrascosa, J., Furió, C., Martínez Torregrosa, J. 1991. *La enseñanza de las Ciencias en la Educación Secundaria*. Ed. Ice - Horsori. Barcelona.