

Propuesta didáctica interdisciplinaria de la modelización del flujo sanguíneo

Interdisciplinary pedagogic proposal for modeling of blood flow

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

Silvia I. Navarro¹, Nicolás F. Rosello², Rodolfo C. Muros²,
María Luz Quiroga¹, Héctor Bulacios³ y Gustavo A. Juárez¹

¹Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Catamarca, Avda. Belgrano N° 300, CP 4700, Catamarca. Argentina.

²Colegio Provincial N°1 Joaquín V. González, San Nicolás de Bari (Oeste) N° 763, CP 5300, La Rioja. Argentina.

³Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad Nacional de Catamarca. Maestro Quiroga N° 100, CP 4700, Catamarca. Argentina

E-mail: silvina.facen@gmail.com

Resumen

La presente propuesta didáctica interdisciplinaria fue implementada en el nuevo espacio curricular de la Educación Secundaria Obligatoria (Provincia de La Rioja) llamada Biofísica. El proceso de modelizar y construir un dispositivo experimental con materiales de bajo costo, y las intervenciones didácticas adecuadas generaron un ambiente que favorece la transferencia de contenidos a nuevas situaciones, de la cual es posible obtener aprendizajes significativos donde el alumno es el principal actor de su propio conocimiento.

Palabras clave: Fluidos; Número de Reynolds; Sistema circulatorio; Experimento; Estrategia didáctica.

Abstract

The present interdisciplinary didactic proposal was implemented in Biophysics, a new curricular subject for the Secondary Education of the province of La Rioja. The process of modeling and constructing an experimental device with low cost materials and appropriate didactic interventions generated an environment that favors the transfer of contents to new situations, from which it is possible to obtain meaningful learning where the student is the main actor of their own knowledge.

Keywords: Fluids; Reynolds numbers; Circulatory system; Experiment; Didactic strategy.

I. INTRODUCCIÓN

Esta propuesta didáctica interdisciplinaria se implementó en el nuevo espacio curricular de Biofísica, incorporado en la Educación Secundaria Obligatoria a partir de 2015, en la Provincia de La Rioja. De acuerdo a los Núcleos de Aprendizaje Prioritarios (NAP) y la caracterización de los diseños curriculares, Biofísica es un espacio destinado a la comprensión de los fenómenos biológicos relacionados con el funcionamiento del organismo humano; es decir, los procesos fisiológicos que ocurren bajo las leyes de la física y la biología. Su aprendizaje tiene un importante nivel de complejidad para los alumnos y docentes, debido a la demanda de saberes previos que conllevan las ciencias mencionadas, como así también la puesta en acción de la capacidad de resolver problemas y el uso del pensamiento estratégico y formal. El abordaje y la práctica de estos saberes requieren de investigación, para la comprensión de la interacción de principios físicos y los mecanismos básicos en los estados de salud y de enfermedad.

La biofísica permite a los alumnos desarrollar capacidades y habilidades que se evidencian a través de la experimentación, en la que se ponen en juego diversas variables como la observación, la recolección de datos, el análisis de resultados y la modelización experimental mediante la construcción de un instrumento didáctico para evaluar el flujo sanguíneo en el sistema circulatorio, a través del cual los alumnos pueden enunciar sus conclusiones y contrastarla con la teoría. El contexto de enseñanza-aprendizaje en estos espacios se vincula con las nuevas tecnologías y el diseño experimental con materiales de bajo costo, donde es posible obtener aprendizajes significativos, siendo el alumno el principal actor de su propio conocimiento. Con lo cual, cada sujeto construye individualmente sus propios conocimientos a través de

un proceso dinámico en el que relaciona la nueva información con los conocimientos previos (Moreira y Calvo Redondo, 1993).

Consecuentemente, el aprendizaje de los alumnos podría organizarse como un proceso amplio de creación y construcción intelectual, en el que se comparten y confrontan diversas argumentaciones, en el que los alumnos se incorporan a una dinámica de máxima interacción entre los grupos, mediante un sistema de negociación de significados científicos, de búsqueda de consensos, de comunicación de resultados, etc. En síntesis, a una labor de interacción intelectual constructiva, en la que se promueva la progresiva autonomía de los alumnos y en la que el docente oriente una resolución con aspiraciones científicas de las tareas en realización (Colombo de Cudmani y otros, 1991). Por ello, consideramos que nuestra iniciativa está apoyada en la siguiente propuesta:

Sólo a través de la modelización puede plantearse el efecto de alterar algo en un esquema totalmente interrelacionado en el cual cada detalle representa posiblemente la mejor opción teniendo en cuenta todas las posibilidades y referencias. Un ejemplo interesante para ilustrar esto es el sistema circulatorio (humano o de cualquier animal). El sistema circulatorio humano es un sistema muy complejo, dentro de un organismo que a su vez es otro sistema más complejo. Las interrelaciones mutuas que se establecen en su funcionamiento son de tal grado de complejidad que las relaciones causa–efecto que pueden establecerse para su mejor estudio o explicación sólo tiene sentido desde el punto de vista de la modelización del sistema. (Iparraguirre, 1997)

Por lo tanto, se deben crear condiciones de aula apropiadas para lograr desarrollar junto a los alumnos, temas que les resulten interesantes, de manera que su enseñanza les proporcione respuesta a sus preguntas, creando intereses e incentivarlos con ideas adecuadas para confrontar nuevos conceptos a fin de favorecer su propio aprendizaje (Gil Pérez, 1982; Nieda, 1994). Asimismo, el aporte que realiza la modelización y experimentación como instrumento operativo, se transforma en la representación básica del proceso dinámico de la fase explicativa, buscando la interpretación del proceso contenido en el tema de estudio.

II. PROPUESTA DE TRABAJO

Esta propuesta pedagógica interdisciplinaria tiende a la integración de: contenidos conceptuales; contenidos actitudinales (que justiprecie el trabajo en equipo, promoviendo la cooperación intelectual y respetando diferentes opiniones); y contenidos procedimentales (que ejecute con responsabilidad las actividades que se desarrollan en las clases experimentales).

El problema planteado fue determinar el número de Reynolds mediante la modelización y construcción de un dispositivo experimental con materiales de bajo costo, para relacionarlo con el comportamiento del flujo sanguíneo.

Se implementó en el Colegio Provincial N°1 “Joaquín Víctor González” de la Provincia de La Rioja, Departamento Capital. La población sobre la que se desarrolló dicha actividad estuvo conformada por un total de 37 alumnos pertenecientes al 5^{to} año 3^{ra} división (turno mañana) y 20 alumnos del 5^{to} año 3^{ra} división (turno tarde). Este último fue tomado como grupo de control, escogido por la disponibilidad horaria previa respecto al otro grupo, según el cronograma de actividades. Se destaca que los alumnos provienen del área Ciencias Naturales, por ello en años anteriores cursaron Física, Química y Biología, que junto a la base matemática les permitió resolver el problema planteado.

Se desarrolló en las cinco horas semanales de la asignatura Biofísica, incluyendo cinco extra-clases durante tres semanas para ajustar y mejorar el equipo experimental construido. El desarrollo de las actividades fue programado y se dio a conocer a los alumnos con anticipación, para que pudieran conseguir los materiales y, también, para generar una actitud de expectación que promoviera interés por el nuevo conocimiento a alcanzar. A continuación se detallan dichas actividades.

A. Actividad teórica

Se realizó un repaso de los conceptos del sistema circulatorio a través de preguntas abiertas: ¿cuál es la función del sistema circulatorio?, ¿cómo es su funcionamiento?, ¿cuáles son los componentes del sistema circulatorio? Luego de unos minutos de reflexión se efectuó un debate y puesta en común. A continuación se procedió a visionar un video (El sistema circulatorio – Documental de biología, 2011) y después cada alumno hizo un comentario por escrito que explicara el funcionamiento y componentes del sistema circulatorio: corazón (sus partes), venas, arterias, sangre (propiedades). Con posterioridad se realizó la lectura comprensiva del material didáctico aportado por la cátedra, donde se encuentra desarrollado el marco teórico de los temas: presión, densidad, viscosidad, fluidos, tipos de flujos y número de Reynolds (Cussó

et al. 2009; Cromer, 1996; Giancoli, 2009; López Crespo, 2013; Serway, 2001). Finalmente, se hizo un resumen sobre estos conceptos y se investigó las unidades de las magnitudes que intervienen.

B. Actividad experimental

Las experiencias propuestas fueron realizadas por los alumnos bajo la dirección de los docentes de la cátedra, utilizaron algunos instrumentos con que cuenta el laboratorio de la escuela y otros materiales de bajo costo. Se conformaron grupos de trabajo (el N°4 fue el grupo control) para desarrollar las guías de laboratorio que a continuación se detallan:

B.1. Cálculo de la densidad de un fluido

Tuvo por objetivo adquirir la noción de densidad de un fluido y se emplearon los siguientes materiales: vaso cilíndrico de acrílico descartable de 300 cm³, glicerina, agua, balanza digital (apreciación 0,10 g), calibre (apreciación 0,01 mm), regla milimetrada (apreciación 1 mm), vaso cubicado, calculadora y computadora.

Se procedió a determinar la masa y el diámetro de los recipientes descartables de acrílico, utilizando la balanza digital y un calibre, obteniéndose $m = 40,0 \pm 0,2$ g y $D = 6,48 \pm 0,01$ cm cuyos valores fueron tomados por cada grupo para posteriores cálculos. A continuación, cada grupo procedió a la preparación de la solución de agua y glicerina; luego con la medición de la masa de dicha solución se programó la puesta a cero de la balanza con una tara de $40,0 \pm 0,2$ g (valor determinado anteriormente de la masa del recipiente) obteniéndose los valores de dichas masas. Posteriormente, se determinó la altura que alcanza el fluido de la solución, y con el valor del diámetro obtenido se calcula el volumen de la solución. Finalmente se halló la densidad del fluido con los valores promedios obtenidos anteriormente de masa y volumen, tal como se detalla en la tabla I. Se consideró que el valor experimentalmente de la densidad obtenido por el grupo control N°4 es el que más se aproxima al valor de la sangre humana.

TABLA I. Determinación de la densidad del fluido.

Grupos	Solución cm ³		Masa g	Altura cm	Volumen cm ³	Densidad ρ g/cm ³
	agua	glicerina				
Grupo 1	100	100	$220,4 \pm 0,8$	$5,50 \pm 0,04$	$181,3 \pm 0,02$	$1,22 \pm 0,5$
Grupo 2	125	75	200 ± 1	$5,34 \pm 0,05$	$176,1 \pm 0,02$	$1,14 \pm 0,2$
Grupo 3	150	50	$187,3 \pm 0,4$	$5,17 \pm 0,04$	$170,5 \pm 0,03$	$1,01 \pm 0,5$
Grupo 4	175	25	$160,0 \pm 0,4$	$4,60 \pm 0,04$	$151,7 \pm 0,01$	$1,05 \pm 0,1$

Se escogió glicerina por tener un punto de ebullición alto, se disuelve en agua y es económica. Para lograr las diferentes proporciones de solución, se procedió a realizar distintas pruebas experimentales, hasta obtener los mejores resultados que fueron los empleados en cada experimento.

Por otro lado, se proporcionó a los alumnos el valor de viscosidad obtenida experimentalmente por los docentes de la cátedra, cuya solución escogida fue de 175 cm³ de agua, 25 cm³ de glicerina siendo la temperatura al momento de la experiencia de $T_{\text{fluido}} = 20 \pm 1^\circ\text{C}$. El valor de la viscosidad del fluido fue $\eta = 1,1 \pm 0,04$ poise, que sirvió para calcular luego el número de Reynolds.

B.2. Determinación del comportamiento de un fluido según el número de Reynolds

El objetivo fue estudiar el comportamiento de un fluido a través de la construcción de un dispositivo experimental con material de bajo costo, para lo cual se emplearon los siguientes materiales: dispositivo para determinar la velocidad del fluido, 5 l de fluido utilizado en las experiencias anteriores (incrementando de manera proporcional), filmadora o celular y computadora.

Se construyó un dispositivo experimental con material de bajo costo. El dispositivo consiste de un depósito de 20 l con tapa a rosca, en él se coloca una válvula de entrada de aire que sirve para aumentar la presión y recrear aproximadamente las condiciones de presión que se produce en el torrente sanguíneo. En el extremo inferior del depósito, se realiza una abertura que se conecta a una salida de tanque de agua seguida de una llave de paso esférica la cual se gradúa con un semicírculo, cupla T, entrerrosca y rosca espiga, siendo todas las conexiones de plomería de polipropileno de diámetro $\frac{3}{4}$ y sellado con teflón, sella rosca y silicona. En la unión T, se colocan dos adaptadores para llegar a rosca $\frac{1}{4}$ en donde se coloca el manómetro de glicerina el cual nos indicara la presión del fluido durante la experiencia. Adosada a la salida de la conexión de plomería, se ensambla con bridas una manguera cristal $\frac{3}{4}$ la misma reposa sobre una madera de pino. Esta manguera permite visualizar el comportamiento del fluido de acuerdo al caudal regulado por la llave esférica y la presión del aire regulada por el compresor de aire. En el extremo lateral

de la madera se registra una escala en cm la cual permite calcular la velocidad del fluido. Se determinan tres posiciones para la llave esférica:

- Posición 1: la llave esférica está abierta completamente (corresponde a 90°);
- Posición 2: la llave esférica está parcialmente abierta (corresponde a 60°);
- Posición 3: la llave esférica está casi cerrada (corresponde a 20°).

Una vez armado el dispositivo se llena el depósito con el fluido, se coloca en posición la filmadora –o celular– para capturar el momento en el que el fluido recorre la escala graduada. Se prepara el compresor, se conecta la manguera del mismo a la válvula del depósito para poder incrementar la presión. Se eleva la presión del depósito hasta que el manómetro indique 0,129 Bar. Se abre la llave esférica en la primera posición (90°) y se captura el momento en el que el fluido recorre la escala, para ello se utiliza el video que reproduce fotograma por fotograma y se determina el tiempo en el que el fluido recorre la longitud establecida, la cual ocurre en un intervalo de tiempo muy pequeño siendo $t_{90^\circ} = 0,09 \pm 0,04$ s. Se repite el procedimiento para las otras posiciones de la válvula esférica, obteniéndose $t_{60^\circ} = 0,12 \pm 0,01$ s, y $t_{20^\circ} = 0,18 \pm 0,01$ s. En consecuencia, de los valores obtenidos experimentalmente de densidad, viscosidad, velocidad de desplazamiento del fluido y sabiendo que el diámetro de la tubería es de $\frac{3}{4}$ pul = 1,875 cm, se procede al cálculo del número de Reynolds del fluido, usando la ec. (1), donde ρ densidad del fluido; D diámetro de la tubería, v velocidad del fluido, η viscosidad del fluido:

$$Re = \frac{\rho D v}{\eta} \tag{1}$$

Se obtuvieron los siguientes resultados:

- Posición 1: la válvula se encuentra totalmente abierta $Re = 3101,90 > 3000$, por lo tanto el fluido es de comportamiento turbulento;
- Posición 2: la válvula se encuentra parcialmente abierta $2000 < Re = 2556,22 < 3000$, por lo tanto el fluido es de comportamiento intermedio;
- Posición 3: la válvula se encuentra casi cerrada, $Re = 1697,86 < 2000$, es decir el fluido es de comportamiento laminar.

En las figuras 1 a 3 se aprecian algunas de las tareas experimentales.



FIGURA 1. Armado del dispositivo experimental con material de bajo costo.



FIGURA 2. Construcción del dispositivo experimental, ubicación del manómetro con válvula esférica y registro de la escala, medida en cm.



FIGURA 3. Secuencia de la realización de las experiencias para la verificación de los tipos de flujos.

Para el cálculo de la velocidad del fluido, el intervalo de tiempo era relativamente breve, por ello, se debió utilizar los recursos tecnológicos disponibles como soporte, se filmó la experiencia (usando la cámara de la *notebook* o del celular) para luego, con el editor de video poder reproducir la filmación fotograma por fotograma, logrando obtener de esta manera el valor de tiempo necesario para el cálculo de la velocidad del fluido, y posteriormente con este valor determinar el número de Reynolds.

El manómetro incorporado en el dispositivo experimental, sirvió para medir la presión del fluido siendo la unidad de medida el Bar. Considerando que la presión en el sistema circulatorio y en particular en la arteria aorta es de $1,3 \times 10^5 \text{ Dy/cm}^2$, tuvimos que realizar una conversión de unidades, a saber: $1,3 \times 10^5 \text{ Dy/cm}^2 = 1,3 \text{ N/m}^2 = 0,132 \text{ kg/m}^2 = 0,129 \text{ Bar}$.

Con el dispositivo experimental construido para las comprobaciones experimentales, cada grupo realizó las mediciones respectivas, para luego comparar los resultados obtenidos.

B.3. Determinación de la medida de presión arterial

Tuvo por objetivo analizar el comportamiento de los tipos de flujo según el número de Reynolds, para lo cual se utilizó un dispositivo de registro de presión arterial (esfigmomanómetro de Hg).

De acuerdo a la experiencia anterior, se determinaron los valores que rigen al número de Reynolds obtenidos con el dispositivo experimental construido, siendo vinculados a los ruidos Korotkoff que se manifiestan cuando se registra la presión arterial. Para ello, se tuvo en cuenta que la presión arterial media es la presión arterial sistólica (máxima) y diastólica (mínima) dentro del ciclo cardíaco, que dependen de dos factores físicos derivados de las características mecánicas del líquido, que son el volumen de sangre en el sistema arterial y de las características elásticas estáticas (distensibilidad) del sistema. Por tanto, cuando se registran las lecturas de presión arterial en el brazo, la presión sistólica se puede estimar palpando la arteria radial en la muñeca (método de la palpación). Cuando la presión en el manguito supera la sistólica, no se percibe pulso. Cuando la presión disminuye justo por debajo de la sistólica, se produce el flujo a borbotón de sangre por la arteria braquial por debajo del manguito durante el máximo de la sístole, y se percibe un débil pulso en la muñeca. Cuando la presión de inflado disminuye justo por debajo del valor sistólico 120 mm Hg, se produce un pequeño borbotón de sangre que escapa de la presión oclusora del manguito y se empiezan a escuchar ligeros sonidos de golpeteo, los denominados ruidos de Korotkoff en cada latido. La presión a la cual se detecta el primer ruido es la presión sistólica, y suele corresponder con gran exactitud con la que se mide de forma directa. Cuando se sigue reduciendo la presión de insuflación del manguito, más sangre se escapa en cada latido por debajo del manguito y el sonido se hace más sonoro. Cuando la presión de inflado se aproxima al valor diastólico, los tonos se amortiguan. En el momento en que la presión de inflado cae por debajo de los valores diastólicos 80 mm Hg, los ruidos desaparecen. La lectura de la presión en este momento se corresponde con la presión diastólica. El origen de los ruidos de Korotkoff se relaciona con los borbotones discontinuos de sangre que pasan por debajo del manguito y que generan vibraciones audibles por los impactos y turbulencias que generan. Cuando la presión de inflado es menor que la diastólica, el flujo en la arteria braquial se vuelve continuo y se dejan de auscultar sonidos (Guyton, 1984; Grünfeld, 1991; Ganong, 1992; Marin y otros, 2012).

Se procedió a tomar la presión arterial de un sujeto con las siguientes características: sexo masculino; 63 años de edad; 90 kg de peso y talla 1,84 m, el cual fue evaluado en el término de siete días respetando la misma hora de registro, contando para ello con la colaboración de un profesional médico. Se siguió el protocolo médico utilizando el esfigmomanómetro de Hg. Se hizo a sentar al sujeto con el brazo, a la altura del corazón, apoyado en la mesa, luego se colocó el manómetro a nivel de los ojos del examinador y de la aurícula derecha del examinado. Se ubicó la arteria braquial por palpación en el lado interno del pliegue del codo. Se envolvió el manguito alrededor del brazo, ajustado y firme. Se colocó el fonendoscopio sobre la arteria braquial y se aplicó una suave presión asegurando que el contacto sobre la piel sea en todo momento (una presión excesiva puede distorsionar los sonidos). Luego se infló el manguito en

forma rápida y continua, hasta el máximo de insuflación determinado por la presión palpatoria. Así, se determinaron los ruidos Korotkoff en cinco fases:

- Los dos primeros ruidos audibles que se escuchan al sonar la válvula de la pera de insuflación, desde el nivel de insuflación máxima;
- Se escucha un ruido murmullo durante la compresión del manguito;
- Los ruidos se hacen más nítidos y aumentan su intensidad;
- Un claro ensordecimiento del ruido;
- El último escuchado, después del cual todo ruido desaparece.

Con este procedimiento, se determinó la presión arterial registrada en el sujeto tal se muestra en la figura 4, correspondiendo a un prehipertenso (que se define como la presión arterial que es más alta de lo normal, pero no lo suficiente como para considerarse presión arterial alta) siendo la presión sistólica PA (120–139) mm Hg y la diastólica PA (80–89) mm Hg respectivamente, es decir el sujeto requiere de modificaciones hacia un estilo de vida saludables para prevenir enfermedades cardiovasculares. Por lo tanto, comparando este resultado de presión arterial con el obtenido en la experiencia de laboratorio 2, que referencia el valor del número de Reynolds (Re) para la posición 2 de la válvula, donde la medición de la presión arterial depende de la velocidad con la que fluye la sangre, la anchura de los vasos sanguíneos y de las particularidades de la sangre (como viscosidad y densidad). Es por ello, que el valor sistólico es la presión arterial máxima, es decir el vaso sanguíneo se abre parcialmente en la sístole, tiene un radio reducido y, además, un perfil diferente frente a los vasos contiguos. Con ello, entran en el vaso sanguíneo flujos turbulentos que se vuelven audibles con la ayuda del estetoscopio, si se continúa reduciendo la presión se oyen los sonidos sincrónicos del pulso. La presión sistólica dilata el vaso lentamente a su anchura original, y tras la finalización de la sístole, la presión disminuye brevemente y el vaso se cierra de nuevo; en ese momento los sonidos desaparecen, obteniéndose la presión arterial diastólica.

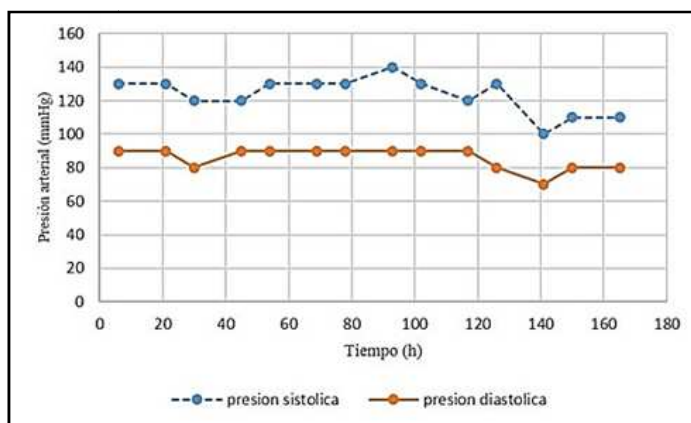


FIGURA 4: Registro de la presión arterial del sujeto (medida con un esfigmomanómetro de aire).

III. CONCLUSIÓN

De las experiencias realizadas, se destaca la importancia de trabajar con actividades que involucran temas que indaguen los alumnos de hoy en día por corresponder a su cotidianidad, los cuales requieren de estrategias didácticas novedosas que les permitan elaborar conocimientos de manera significativa, utilizando recursos tecnológicos y el trabajo experimental. La propuesta didáctica vinculó contenidos de las ciencias biológicas y físicas, logrando interdisciplinariedad, justificando conceptos teóricos que llevan a la interpretación mecánica del flujo sanguíneo en el sistema circulatorio; en cuanto a la experimentación el alumno logró la construcción del equipo experimental con la dirección y colaboración del docente, lo que le permitió registrar parámetros que intervienen en el sistema circulatorio, coincidentes con la realidad. En la última actividad, se verificaron los principios planteados en las actividades anteriores, mostrando una aplicación a la vida cotidiana.

Esta propuesta de modelización y experimentación, apunta a desarrollar capacidades individuales y de grupo, mediante la organización de tareas, tiempos, disponibilidad de recursos tecnológicos, para resolver el problema propuesto. Se evidenciaron discusiones generalizadas dentro del aula, que requerían la elaboración de argumentos propios con relación a las actividades planteadas.

REFERENCIAS

Colombo de Cudmani L., Salinas de Sandoval J. (1991). Modelo físico e realidade. Importância epistemológica de sua adequação quantitativa. Implicações para a aprendizagem. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 8(3), 193–204.

Cromer, A. (1996). *Física para las ciencias de la vida*. España: Reverté.

Cussó F., López C. y Villar R. (2004). *Física de los procesos biológicos*. España: Ariel.

Ganong, W. F. (1992). *Fisiología Médica* (13ra Edición). México: Manual Moderno S.A. de CV.

Giancoli, D. C. (2009). *Física para ciencias e ingeniería con física moderna*. México: Prentice–Hall Hispanoamericana.

Gil Pérez, D. (1982). *La investigación en el aula de Física y Química*. Madrid: Anaya.

Grünfeld, V. (1991). *El Caballo Esférico: Temas de Física en Biología y Medicina*. Argentina: Lugar Científico.

Guyton, A. C. (1983). *Tratado de Fisiología Médica* (5ta edición). Madrid: Interamericana.
<http://www.fundabiomed.fcs.uc.edu.ve/capitulo09.html> Sitio consultado en agosto 2016.

Iparraguirre L. M. (1997). Modelizando el aparato circulatorio para aprender física de la vida cotidiana. En *Memoria REF X*, 1b–03. Mar de Plata. Argentina.

López Crespo, J. (2013). *Módulo 2: Física*. México: Paraninfo.

Marin M. J., Fábregues G., Rodríguez P. D., Díaz M., Páez O., Alfie J., Caruso G., Pantalena P. S., Schiavi B. y González M. (2012) Registro Nacional de Hipertensión Arterial. Conocimiento, tratamiento y control de la hipertensión arterial. Estudio RENATA. *Revista Argentina de Cardiología*, 80(2), 121–129.

Montoreano, R. (2002). *Manual de Fisiología y Biofísica. Para estudiantes de medicina*.

Moreira M. A., Calvo Redondo A. (1993). Constructivismo: significados, concepciones erróneas y una propuesta. En *Memoria REF VIII*, 237–247. Rosario. Argentina.

Nieda, J. (1994). *Algunas minucias sobre los trabajos prácticos en secundaria*. España: Alambique.

Serway, F. (2001) *Física*. (5° Edición). México: Prentice–Hall.

Sitios web

Profesor en línea: Morfología y fisiología cardíaca. (2015).
<http://www.profesorenlinea.cl/Ciencias/CorazonMorfoFisiologia.html>. Sitio consultado en mayo 2016.

El sistema circulatorio – Documental de biología. (2011, nov. 8). [Video, usuario IIGuntherII].
<https://www.youtube.com/watch?v=Jbt3b8DvHzc> Sitio consultado en agosto 2016.