

# Obstáculos de aprendizaje en niños de 10-12 años sobre el tema sistema circulatorio humano: una propuesta teórica en base a evidencias

Learning obstacles in children aged 10-12 years  
on the subject of human circulatory system:  
a theoretical proposal based on evidence

Lydia Raquel Galagovsky<sup>1</sup> · Valeria Carolina Edelsztein<sup>2</sup>

**Resumen:** Este trabajo se centra en la investigación sobre posibles orígenes para los errores de aprendizaje detectados en estudiantes de 5to y 6to grado de escuela primaria (10-12 años), frente al tema sistema circulatorio humano. A partir de evidencias que provienen de las respuestas de los niños frente a un cuestionario, se presenta una propuesta de procesos cognitivos involucrados en el aprendizaje en función del marco teórico del Sistema de Procesamiento de la Información. Finalmente, se propone una categorización de Obstáculos Epistemológicos de Aprendizaje (OEA) que se derivan del análisis de casos de aprendizajes erróneos sobre el tema en cuestión. La importancia de detectar tempranamente dificultades de aprendizaje sería llegar a evitar que se afiancen los errores generados durante el procesamiento inicial de la información que se debe aprender.

Palabras clave: Enseñanza de la ciencia. Escuela primaria. Sistema circulatorio humano. Obstáculos epistemológicos de aprendizaje.

**Abstract:** This paper focuses on the investigation of possible origins of learning errors detected in fifth and sixth grade primary school students (10-12 years), in relation to the human circulatory system. Based on the evidence that comes from the analysis of the children's responses to a questionnaire, a theoretical proposal about cognitive processes involved in acquisition of new learning is presented. These cognitive processes are based on the framework of Information Processing Theory. A categorization of Epistemological Learning Obstacles (ELO) is also presented based on the analysis of cases of learning errors. Early detection of learning obstacles has an impact in avoiding the fixation of mistakes that could have appeared during initial stages of the learning process.

Keywords: Science education. Primary school. Human circulatory system. Epistemological learning obstacles.

---

<sup>1</sup> Universidad de Buenos Aires (UBA), Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Buenos Aires, Argentina. E-mail: <[lyrgala@qo.fcen.uba.ar](mailto:lyrgala@qo.fcen.uba.ar)>.

<sup>2</sup> UBA, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Buenos Aires, Argentina.

## Introducción

Los alumnos de escuela primaria tienen ideas intuitivas acerca de cómo es su cuerpo y sobre los sistemas que lo conforman por dentro, tanto por aprendizajes escolares como por situaciones cotidianas. Son variadas las estrategias de enseñanza sobre este tema (AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE, 2017; BRUCE, 2001; CHERIF et al., 2010; UNIVERSITY OF KANSAS, 2017). Sin embargo, distintas investigaciones muestran la existencia de dificultades para la comprensión del funcionamiento del cuerpo humano y de concepciones alternativas persistentes (CARVALHO; CLÉMENT, 2007; CARVALHO; SILVA; CLÉMENT, 2007; CARVALHO et al., 2004; CLÉMENT, 2003; GELLERT, 1962; MINTZES, 1984; REISS; TUNNICLIFFE, 2001; REISS; TUNNICLIFFE; ANDERSEN, 2002; TUNNICLIFFE; REISS, 1999).

En particular, respecto al sistema circulatorio, se encuentra en bibliografía tanto una perspectiva histórica (URIBE et al., 2010) como investigaciones sobre dificultades de aprendizajes. Por ejemplo, Gellert (1962) mostró que los niños piensan que el pulmón purifica la sangre; Amaudín y Mintzes (1985) y Mintzes (1984) señalaron que los alumnos creen que la sangre abandona los vasos y circula entre las células a pesar de que en sus dibujos se refleje un sistema circulatorio cerrado y Eulate González (1993) publicó que los niños creen que el pulmón es un tubo que lleva el aire al corazón.

La presente investigación pone en evidencia dificultades para el aprendizaje del *sistema circulatorio humano* en estudiantes de 5to y 6to grado de una escuela primaria de gestión privada de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Las respuestas erróneas de los niños pudieron ser categorizadas en Obstáculos Epistemológicos de Aprendizaje (OEA) a partir de la utilización de marcos teóricos sobre Sistema de Procesamiento de la Información (ERICSSON; SIMON, 1999) y de la consideración del discurso de ciencias naturales como un conjunto de lenguajes verbal y gráfico (BEKERMAN, 2007; GALAGOVSKY; BEKERMAN, 2009; GALAGOVSKY; DI GIACOMO; CASTELO, 2009).

## Marco teórico

El presente trabajo se basa en la propuesta teórica de que la existencia de problemas comunicacionales en el aula puede ser el origen de la construcción de aprendizajes erróneos por parte de los estudiantes novatos (GALAGOVSKY; BEKERMAN, 2009), y que, a su vez, éstos aprendizajes pueden racionalizarse como provenientes de un procesamiento de información idiosincrásico. Por lo tanto, esta investigación analiza errores de aprendizaje en términos de tres consideraciones:

1. El Sistema de Procesamiento de la Información (SPI) (JOHNSTONE, 1997; NORMAN, 1976) como marco desde el cual se pueden describir diferentes tipos de memorias e interpretar procesos cognitivos de guardado y recuperación de la información, según la propuesta de análisis de protocolos verbales de Ericcson y Simon (1999). Este marco propone desde la Psicología Cognitiva que:

- a) La información a ser aprendida es captada por los sentidos, filtrada por un almacén sensorial y sostenida en la Memoria de Corto Plazo (MCP) mientras la memoria de trabajo (MT) la analiza / selecciona / ordena y relaciona la información entrante con los contenidos almacenados en la Memoria de Largo Plazo (MLP).
- b) Simultáneamente la MT evoca / analiza / selecciona / ordena / compara y conecta contenidos de la memoria de largo plazo (MLP) con la información entrante.
- c) La MT selecciona la información que se guardará en la MLP, indizada mediante “señaladores” idiosincrásicos. Es decir, los elementos recientemente aprendidos no se guardarían en la MLP al azar, sino con algún relieve o jerarquía personal distintiva. Estos procesos son codificaciones idiosincrásicas no conscientes, es decir, cada sujeto tiene su impronta subjetiva. Esta operatoria permite reconocer dos Procesos Cognitivos (PC): PC1 de selección perceptiva idiosincrásica de aspectos parciales de lenguajes, y PC2 de guardado de dichos códigos sintácticos seleccionados, como señaladores en la MLP. Ambos procesos no conscientes se aplican independientemente sobre cada lenguaje presente en la información.
- d) Frente a una pregunta, la MT detecta en ella un “anzuelo” con el que busca y recupera información guardada en la MLP. Se generan, entonces, asociaciones “anzuelo-señalador” sostenidas en la MT hasta que el sujeto organice y ejecute la respuesta indicadora del aprendizaje. Esta operatoria permitiría reconocer otro proceso cognitivo subjetivo, PC3, que asigna correlaciones entre señaladores (códigos sintácticos provenientes de lenguajes), otorgándoles significaciones idiosincrásicas. Cada asignación sintáctico-semántica puede resultar correcta o incorrecta desde el punto de vista experto. Pueden generarse errores, incluso, cuando una asignación se generaliza, o se aplica a otros lenguajes donde no es pertinente. Estos procesos no son conscientes.

La Figura 1 resume el marco teórico del Sistema de Procesamiento de la Información utilizado en el presente trabajo, teniendo en cuenta la operatoria de procesos cognitivos involucrados en la selección, guardado y evocaciones idiosincrásicas.

2. La consideración de que el discurso de cada ciencia está constituido por un conjunto de lenguajes expertos, lo cual permite reconocer posibles obstáculos lingüísticos variados, dentro de cada ciencia específica (BEKERMANN, 2007; GALAGOVSKY; BERKERMANN, 2009; GALAGOVSKY; DI GIACOMO; CASTELO, 2009; GALAGOVSKY; GIUDICE, 2015; GARÓFALO, 2010; GARÓFALO; ALONSO; GALAGOVSKY, 2014). Es decir, la información que se presenta a los estudiantes está expresada en múltiples lenguajes y el SPI se aplica a cada uno, acrecentándose la posibilidad de cometer errores por generalización o transposición de códigos entre lenguajes.
3. Los errores de los estudiantes se constituyen en las evidencias sobre las cuales se pueden deducir procesos cognitivos involucrados en el aprendizaje. Y, a su vez, el funcionamiento de combinaciones de dichos procesos cognitivos daría cuenta de la generación de obstáculos epistemológicos de aprendizaje (OEA). Esto significa que los OEA pueden provenir de ideas previas, pero también de ideas que se generarían durante los procesos cognitivos involucrados durante el aprendizaje inicial.

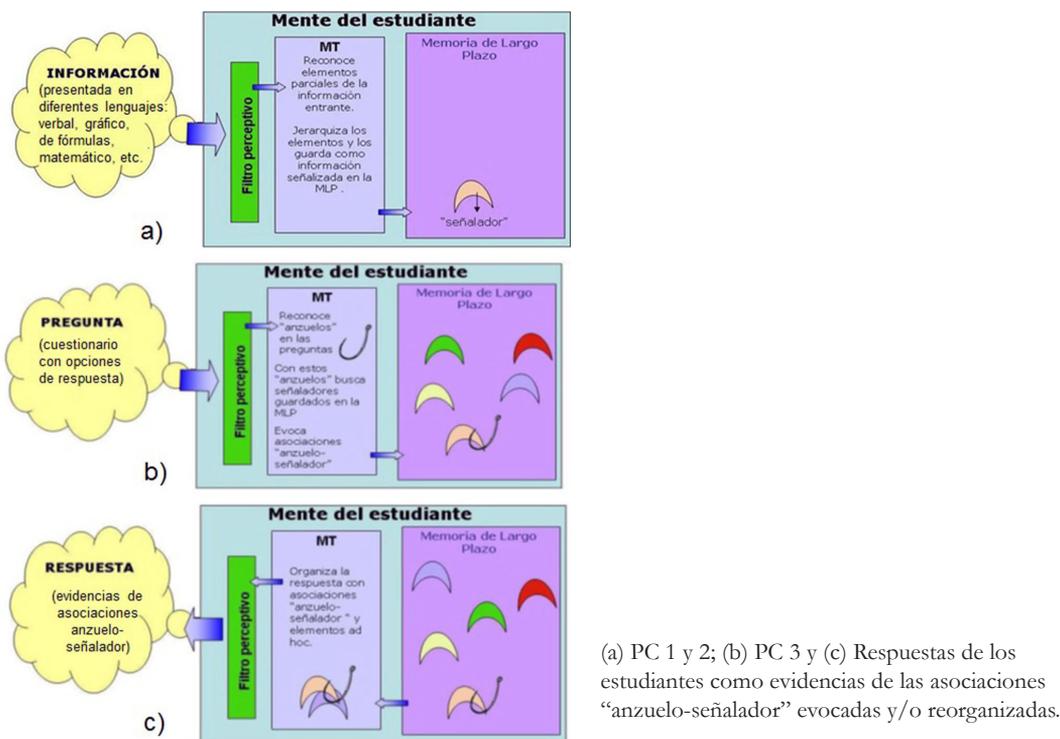
## Metodología

La investigación involucró un primer momento de observaciones de clases y un segundo momento de aplicación de un cuestionario construido *ad hoc*.

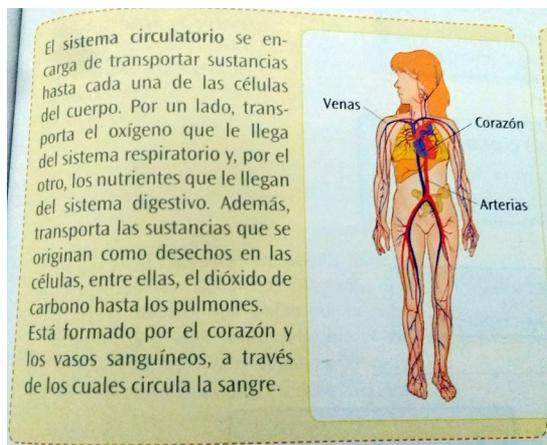
Las observaciones no participantes se realizaron en 5to grado durante todas las clases sobre el tema *cuerpo humano* (que incluía el sistema circulatorio). Fueron 3 clases (de 40 minutos), durante cuatro semanas. El grupo de niños era mixto, con 16 estudiantes de 10 y 11 años. La escuela primaria era pública, de gestión privada, de la Ciudad de Buenos Aires, con población de familias pertenecientes a un sustrato socio-económico medio.

Durante la primera semana, la docente exploró las ideas previas de los estudiantes pidiéndoles que – divididos en tres grupos – dibujaran y nombraran “todo lo que hay dentro del cuerpo humano”, utilizando unas siluetas preformadas en papel afiche. Durante la segunda semana la docente exploró diferentes preguntas (por ejemplo, si todos los seres humanos “tenemos lo mismo adentro del cuerpo”) y trabajó sobre la información del libro de texto para explicar los sistemas digestivo, excretor, respiratorio y circulatorio. En la Figura 2 se muestra la información que brindaba el libro de apoyo escolar sobre el tema *sistema circulatorio*.

**Figura 1.** Marco teórico del SPI con operatoria de procesos cognitivos (PC) involucrados en la selección, guardado y evocaciones idiosincrásicas



Fuente: modificada de Galagovsky y Berkerman (2009, p. 956).

**Figura 2.** Imagen y texto explicativo del libro escolar sobre el tema Sistema Circulatorio

Fuente: Brunner et al. (2010).

En la tercera semana la docente dividió a los alumnos en cuatro grupos y, a cada uno de ellos, les asignó un sistema para que profundizaran en su funcionamiento y luego lo expusieran frente a sus compañeros. En la cuarta semana cada grupo realizó su exposición.

En la última clase se aplicó a estos 16 estudiantes de 5to grado (numerados del 1 al 16) un cuestionario *ad hoc* con dos preguntas sobre las que debían marcar todas las opciones de respuestas que les parecieran correctas (ver columnas izquierdas de las Tablas 1 y 2). La construcción del cuestionario tuvo por objetivo presentar un conjunto de opciones de respuestas cuya elección constituyera un marco de evidencias sobre las cuales analizar procesos cognitivos operantes y, a partir de ellos, discriminar los obstáculos epistemológicos que no hubieran podido superarse durante el aprendizaje. El mismo cuestionario se aplicó a 10 alumnos voluntarios de 6to grado (numerados del 17 al 26), que sólo habían estudiado el tema *sistema circulatorio* el año anterior.

## Resultados

En las columnas izquierdas de las Tablas 1 y 2 se muestran, respectivamente, las preguntas 1 y 2 del cuestionario, y sus opciones de respuesta (a-p). Asimismo, se muestran en dichas tablas los porcentajes de elección para cada opción, discriminados para 5to grado (columna central) o 6to grado (columna derecha). La suma de los porcentajes supera el 100% porque los niños podían seleccionar más de una opción para cada pregunta.

Utilizamos porcentajes a fines exclusivamente comparativos ya que los valores no pretenden ser importantes en sí mismos ni generalizables a otras poblaciones sino que nos permiten utilizarlos como evidencias para proponer los distintos procesos cognitivos que atravesaría el niño novato para aprender —o no— el tema de *sistema circulatorio humano*. Por este motivo es importante discutir una categorización para las opciones de respuestas elegidas.

**Tabla 1.** Primera pregunta del instrumento de indagación aplicado sobre estudiantes. En la columna de la izquierda se presentan las posibles opciones de respuestas (a-p), en la columna central y derecha se indica el porcentaje de alumnos de 5to y 6to grado, respectivamente, que marcó cada opción

La sangre se representa mediante dos colores (rojo y azul) porque...	5 <sup>to</sup> Grado	6 <sup>to</sup> Grado
	%	%
a. En algún momento dentro del cuerpo se tiñe.	19	0
b. Cuando la sangre no tiene azúcar es azul.	6	20
c. Es roja porque comemos cosas rojas.	0	10
d. Lleva oxígeno, que es una sustancia azul.	19	10
e. Lleva dióxido de carbono, que es una sustancia azul.	25	20
f. Cuando selecciona los nutrientes es roja.	12	0
g. Cuando lleva oxígeno es de color rojo.	38	30
h. Cuando lleva oxígeno se la representa con un color rojo.	31	20
i. Cuando va por las venas es azul.	12	40
j. Es siempre roja pero se indica con azul la que va por las venas.	31	40
k. La que circula por abajo y por la derecha del cuerpo es azul.	19	0
l. La que circula por arriba y por la derecha del cuerpo es roja.	19	0
m. Los antiguos nobles tenían sangre azul y nos llegó una parte.	0	0
n. Cuando transporta nutrientes es azul.	12	10
o. Cuando pasa por capilares grandes es roja y por capilares finitos es azul.	19	10
p. La que circula por el interior del cuerpo es azul, la que circula por la parte más cercana a la piel es roja.	25	0

Fuente: elaboración de las autoras.

**Tabla 2.** Segunda pregunta del instrumento de indagación aplicado sobre estudiantes. En la columna de la izquierda se presentan las posibles opciones de respuestas (a-p), en la columna central y derecha se indica el porcentaje de alumnos de 5to y 6to grado, respectivamente, que marcó cada opción

El corazón es importante porque...	5 <sup>to</sup> Grado	6 <sup>to</sup> Grado
	%	%
a. Es un músculo que impulsa a la sangre.	31	50
b. Es un órgano que concentra a la sangre.	44	30
c. Contiene latidos emocionales.	44	20
d. Al latir se contrae e impulsa la sangre a todo el cuerpo al mismo tiempo.	38	80
e. Es una bomba de tiempo que puede explotar en cualquier momento.	6	0
f. Genera el intercambio gaseoso entre sangre oxigenada y sangre con dióxido de carbono.	12	10
g. Envía sangre al cerebro.	44	30
h. Evita que sangre contaminada llegue al cerebro.	31	30
i. Filtra la sangre.	62	60
j. Reúne a las arterias y a las venas.	25	30
k. Reúne a los capilares.	12	10
l. Tiene cavidades donde se junta toda la sangre del cuerpo antes de cada latido.	50	10
m. Para de funcionar cuando dormimos.	0	0
n. Es un órgano muscular que impulsa la sangre por los vasos sanguíneos.	69	30
o. Selecciona los nutrientes buenos para el organismo.	12	0
p. Produce el intercambio de sangre oxigenada con sangre con dióxido de carbono.	31	20

Fuente: elaboración de las autoras.

## Categorización de las opciones de respuestas para la pregunta: “La sangre se representa mediante dos colores (rojo y azul) porque...”

En la Tabla 3 se presenta el patrón completo de respuestas para la pregunta 1 de todos los alumnos de 5to y 6to grado.

### I. Opción correcta

La única opción correcta de la Tabla 1 es la *b* (*Cuando lleva oxígeno se la representa con un color rojo*). Es importante destacar que en condiciones normales, cuando la proteína hemoglobina contenida en los eritrocitos (glóbulos rojos) llega a los alvéolos pulmonares, se satura hasta un 98% con oxígeno. Esto quiere decir que el 98% de los grupos *hemo* de las hemoglobinas contenida en los glóbulos rojos ha enlazado transitoriamente a una molécula de oxígeno. Luego, por circulación sanguínea, esos glóbulos rojos llegan hasta las células del cuerpo – se acercan a través de capilares delgadísimos – y al entrar en un ambiente de bajo contenido – o presión parcial – de oxígeno, las moléculas de oxígeno se liberan del grupo *hemo*. Esta liberación no es total: se establece un equilibrio en el cual permanecen unidas todavía un 32%. Cada grupo *hemo* que ha perdido su molécula de oxígeno está disponible para enlazar transitoriamente una molécula de dióxido de carbono. Es decir, que la sangre carboxigenada contiene un 68% de dióxido de carbono y todavía un 32% de oxígeno, aproximadamente. Sin embargo, a pesar de que los porcentajes de saturación no son extremos, la convención para el código de colores de un gráfico de sistema circulatorio es *sangre oxigenada = rojo*, *sangre carboxigenada = azul*.

Esta opción *b* fue elegida por el 31% de los niños de 5to grado y por el 20% de los niños de 6to grado. Más allá de este bajo porcentaje, en la Tabla 3 se observa que sólo el niño nombrado “11” contestó correctamente, sin marcar simultáneamente otras opciones incorrectas.

### II. Asignación errónea: color debido a la presencia en sangre de diferentes tipos de moléculas

En la Tabla 1 se muestra que la opción errónea más elegida por los alumnos de 5to grado fue la *g* (*Cuando lleva oxígeno es de color rojo*), con un 38%. Esta afirmación supone que es el oxígeno quien da la cualidad de color rojo a la sangre. Sin embargo, el color de los eritrocitos está dado por la presencia de los grupos *hemo* en la proteína hemoglobina. Cada grupo *hemo* tiene en su centro un átomo de hierro sobre el que se enlazan transitoriamente – se coordinan – moléculas de gases como oxígeno, dióxido de carbono y monóxido de carbono. Es decir, la sangre es siempre roja por la presencia de hemoglobina con la salvedad de que este pigmento adopta diferentes tonalidades de rojo, según el tipo de molécula que hubiera coordinado. Ni glucosa ni otros nutrientes dan color a la sangre.

Esta opción *g* sería complementaria de la *e* (*Lleva dióxido de carbono, que es una sustancia azul*), en el sentido de otorgarle la cualidad de color azul a la presencia de dióxido de carbono; esta opción fue elegida por un 25% de los niños de 5to grado. En la Tabla 3 se muestra que los niños “6”, “12” y “14” (un 19%) marcaron ambas opciones simultáneamente. Incluso, podría sumarse a esta categoría de asignar color a moléculas presentes en la sangre al niño “16” que eligió simultáneamente las opciones erróneas *g* y *d* (*Lleva oxígeno, que es una sustancia azul*). Se advierte en la Tabla 1 una persistencia en la elección de estas opciones erróneas en los estudiantes de 6to grado: *g* con un 30%; *e* con un 20% y *d* con un 10%.

**Tabla 3.** Respuestas de todos los niños de 5to (azul) y 6to grado (naranja) frente a la pregunta: “**La sangre se representa mediante dos colores (rojo y azul) porque...**”. Los números superiores identifican a cada niño y la columna **Op** muestra las opciones posibles de respuesta (a-p)

	Alumno																										
Op	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
a				■				■								■											
b		■																								■	■
c																	■										
d		■			■											■								■			
e						■	■					■		■									■				■
f														■		■											■
g			■			■			■			■		■		■		■				■			■		
h					■						■	■		■		■			■						■		■
i			■				■												■		■	■			■		■
j	■	■								■			■		■				■	■	■				■	■	
k		■			■							■															
l		■			■							■															
m																											
n							■							■												■	
o													■	■	■												■
p							■							■	■	■											

Fuente: elaboración de las autoras.

### III. Asignación errónea: color debido al tipo de vaso sanguíneo que transporta la sangre

En la Tabla 1 se observa que otra opción errónea muy elegida en 5to grado fue la *j* (*Es siempre roja pero se indica con azul la que va por las venas*), con un 31%. Si bien es cierto que la sangre es siempre roja, esta opción es errónea porque las venas pulmonares se representan con color rojo ya que llevan sangre rica en oxígeno. La opción *i* (*Cuando va por las venas es azul*) (12%) es complementaria porque refuerza la idea de asignación de color exclusivamente por el tipo de vaso que transporta la sangre.

En la Tabla 1 también se advierte que la elección de estas opciones *i* y/o *j* fue muy alta en los niños de 6to grado: cada una de ellas fue elegida por un 40% de los estudiantes.

El análisis de las respuestas individuales muestra que los niños “3” y “7” de 5to grado y los niños “21” y “26” de 6to grado fueron los únicos que eligieron la opción *i* y no eligieron la opción *j*; esto indicaría que estos niños creen firmemente que la sangre “es” de un color. Este hecho puede ser confirmado por la elección simultánea del niño “3” por la opción *g* (*Cuando lleva oxígeno es de color rojo*); y de los niños “7” y “26” por la opción *e* (*Lleva dióxido de carbono, que es una sustancia azul*).

Respecto de quienes señalaron la opción *j*, se observa en la Tabla 3 que los niños “1” y “10” la eligieron como única opción, indicando que ellos establecieron un aprendizaje unívoco y erróneo: *arteria = color rojo; vena = color azul*.

IV. *Asignación errónea: color debido a la presencia o ausencia de nutrientes en la sangre*

Las opciones de respuesta relacionadas con estas asignaciones erróneas son (*b*) (*Cuando la sangre no tiene azúcar es azul*), (*f*) (*Cuando selecciona los nutrientes es roja*) y (*n*) (*Cuando transporta nutrientes es azul*), y fueron elegidas con 6%, 12% y 12%, respectivamente, por los niños de 5to grado, tal como se muestra en la Tabla 1. En la Tabla 3 se observa que para el total de estas elecciones (30%) el niño “2” eligió la opción (*b*); los niños “14” y “16” eligieron la opción (*f*) y los niños “7” y “14” eligieron la opción (*n*). Debido a elecciones simultáneas de varias opciones, se advierte que estos tres niños hacen asignaciones inconsistentes sobre el origen del color de la sangre.

En el caso de los alumnos de 6to grado, el 20% de los estudiantes eligió la opción (*b*); ninguno eligió la opción (*f*); y el 10% de los niños eligió la opción (*n*).

V. *Asignación errónea: color en función de la parte del cuerpo por la que circula la sangre*

En la Tabla 1 se reconocen las opciones *k*, *l*, *o*, *p* como aquellas que remiten a color debido a zona del cuerpo o tamaño de vaso sanguíneo; éstas fueron elegidas por los niños de 5to grado con porcentajes respectivos de 19%, 19%, 19% y 25%. En la Tabla 3 se observa que los niños “2”, “5” y “12” eligieron los pares de opciones (*k*), (*l*); mientras los niños “14” y “15” eligieron los pares (*o*), (*p*).

Se advierte en la Tabla 1 que esta categoría disminuye prácticamente a 0% en los estudiantes de 6to grado, con excepción de un estudiante que eligió la opción *o*.

VI. *Asignación errónea: inconsistencias semánticas frente a códigos gráficos de color*

La asignación de código de color rojo o azul para señalar el mayor o menor contenido de oxígeno en la sangre es arbitrario pero consensuado en literatura, y reproducido en todos los libros de textos e Internet.

En la Tabla 1 las opciones (*b*) (*Cuando lleva oxígeno se la representa con un color rojo*), (*j*) (*Es siempre roja pero se indica con azul la que va por las venas*) son las únicas que mencionaban explícitamente el carácter convencional de esos códigos gráficos, expresados mediante las palabras “*se representa*” y “*se indica*”, respectivamente (aunque la opción *b* es la única correcta de ambas). Sin embargo, pudo haber ocurrido que los niños no distinguieran semánticamente esas opciones de aquellas otras en las cuales se utiliza el verbo “*ser*” (como las opciones *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g*, *i*, *k*, *l*, *n*, *y*, *p*). Para un experto, es muy diferente decir que “algo es de un color” o que “algo se representa mediante un color”, pero esta discriminación semántica pudo no haber sido percibida por los niños novatos.

El análisis de las respuestas de cada niño de 5to grado en la Tabla 3 muestra que el niño “11” fue el único que eligió la opción correcta (*b*) y no eligió la (*g*) (*Cuando lleva oxígeno es de color rojo*), dando cuenta de que – posiblemente – discrimina la diferencia semántica entre los verbos “*se representa*” o “*es*”. Los niños “12” “14” y “16” también marcaron la opción (*b*), pero marcaron simultáneamente otras opciones inconsistentes.

Dos estudiantes de 6to grado eligieron la opción *g* como única respuesta, y un tercero marcó las opciones adicionales *b*, *i*, *j*, mostrando su inconsistencia al marcar también la opción *i* (*Cuando va por las venas es azul*).

### Categorización de las opciones de respuestas para la pregunta: “El corazón es importante porque...”

En la Tabla 4 se presenta el patrón completo de respuestas para la pregunta 2 de todos los alumnos de 5to y 6to grado.

**Tabla 4.** Respuestas de todos los niños de 5to (azul) y 6to grado (naranja) frente a la pregunta: “El corazón es importante porque...”. Los números superiores identifican a cada niño y la columna **Op** muestra las opciones posibles de respuesta (a-p)

	Alumno																										
Op	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
a	■			■				■	■							■		■	■	■					■	■	
b	■		■					■			■			■		■			■								■
c		■						■		■	■	■		■		■			■								■
d		■								■		■		■	■	■		■	■	■	■	■	■		■		■
e					■																						
f							■				■																■
g		■					■	■		■	■			■		■								■	■		■
h							■	■		■	■			■		■							■	■		■	■
i	■	■			■		■	■		■	■	■		■	■	■		■	■	■		■	■		■		■
j	■	■												■	■	■							■	■		■	
k													■			■											
l	■	■				■	■			■	■	■		■	■								■	■			
m																											
n	■		■				■	■	■		■	■	■	■	■	■				■				■	■		■
o										■	■	■		■	■												
p		■									■	■		■	■				■								■

Fuente: elaboración de las autoras.

#### A. Inconsistencias semánticas para la referencia sintáctica de “impulsar la sangre”

Las opciones correctas eran la (a) (*Es un músculo que impulsa la sangre*) y la (n) (*Es un órgano muscular que impulsa la sangre por los vasos sanguíneos*) que fueron elegidas con un 31% y 69%, respectivamente, siendo la opción (n) la mayoritariamente elegida entre todas las opciones posibles. En la Tabla 2 se muestra que estas opciones también fueron elegidas por los niños de 6to grado con un 50% y 30%, respectivamente.

Es interesante analizar que si bien en total estas opciones correctas sumarían un 100% de las respuestas en 5to grado y un 80% en 6to grado, se advierte en la Tabla 2 que un 38% de los niños de 5to grado y un 80% de los de 6to grado eligieron la opción (d) (*Al latir se contrae*

*e impulsa la sangre a todo el cuerpo al mismo tiempo*), lo que significaría que estos niños no tomaron conciencia de la capacidad volumétrica del corazón en relación a la cantidad de sangre circulante, y de las funciones de sus cavidades y válvulas.

La Tabla 4 muestra que en 5to grado solo el niño “4” respondió correctamente la opción (a); y el niño “9” marcó ambas (a), (n). El resto de quienes marcaron alguna de estas opciones eligieron simultáneamente otras, mostrando inconsistencias en sus aprendizajes.

La Tabla 4 también muestra que los cuatro niños de 5to grado nombrados como “2”, “5”, “6” y “10” no marcaron siquiera alguna de las correctas (a, n); lo mismo ocurrió con cinco niños de 6to grado (“17”, “21”, “22”, “23” y “26”).

#### B. *Asignación de sentido de preeminencia para el flujo de sangre hacia el cerebro*

La función que hace importante al corazón es hacer circular sangre por todas las células del cuerpo y no exclusivamente enviarla al cerebro. Por eso, si bien la opción g (*Envía sangre al cerebro*) es un enunciado verdadero, está incluida conceptualmente en las opciones correctas (a, n). La Tabla 2 muestra que la opción g fue elegida por el 44% de niños en 5to grado y por el 30% en 6to grado. El análisis de las respuestas individuales mostradas en la Tabla 4, indica que de los diez niños (siete de 5to grado y tres de 6to grado) que marcaron la opción g, los alumnos “2”, “10”, “23” y “26” no marcaron ni la opción (a), ni la (n); lo que significa que están construyendo un sentido de preeminencia del cerebro como destino principal frente a la función del corazón de impulsar sangre a todo el cuerpo. El resto de los niños marcaron opciones inconsistentes entre sí.

#### C. *Asignación errónea de funciones al corazón*

Solamente los niños nombrados como “4” y “9” contestaron correctamente (opciones a y/o n, ver Tabla 4); esto implica imprecisiones importantes en la adquisición de conceptos relativos a las funciones del corazón en la gran mayoría de los niños de 5to y 6to grado.

La asignación de funciones erróneas al corazón se observa en un altísimo porcentaje de las respuestas tanto en 5to como en 6to grado. Como se muestra en la Tabla 2, entre las opciones erróneas la (i) (*El corazón filtra la sangre*) fue la más elegida en 5to grado (62%), y fue la segunda opción más elegida entre los niños de 6to grado. Otras opciones muy elegidas por los niños de 5to grado fueron (f) (*Genera el intercambio gaseoso entre sangre oxigenada y sangre con dióxido de carbono*, 12%), (h) (*Evita que sangre contaminada llegue al cerebro*, 31%), (o) (*Selecciona los nutrientes buenos para el organismo*, 12%) y (p) (*Produce el intercambio de sangre oxigenada con sangre con dióxido de carbono*, 31%).

Incluso, pueden identificarse inconsistencias en las elecciones de los niños respecto a las funciones del corazón. Por ejemplo, se observa que no hay coherencia entre elecciones de opciones similares – aunque erróneas –, como por ejemplo la elección simultánea de (f) y (p), referidas ambas a una eventual función de corazón relacionada con el intercambio gaseoso. Ambas fueron marcadas solamente por los niños “11” y “26” (Tabla 4).

#### D. *Interpretación errónea del funcionamiento mecánico del corazón*

Las opciones (b) (*Es un órgano que concentra a la sangre*), (d) (*Al latir se contrae e impulsa la sangre a todo el cuerpo al mismo tiempo*) y (l) (*Tiene cavidades donde se junta toda la sangre del cuerpo antes de cada latido*) de la Tabla 2 hacían referencia al funcionamiento del corazón aunque con conceptos

deliberadamente erróneos. En 5to grado la opción (j) fue elegida por el 50% de los alumnos, la opción (b) por el 44% y la opción (d) por el 38%. De los niños de 5to grado, un 31% de los alumnos señalaron dos de estas opciones en simultáneo (“1”, “2”, “11”, “12”, “16”) y un 12% las tres opciones (“14” y “15”). Si bien con valores diferentes, se advierte en la Tabla 2 la persistencia en la elección de estas opciones en los estudiantes de 6to grado: es muy notorio que el 80% de estos niños hayan elegido la opción (d); el 30% la opción (b) y un 10% la opción (j). En la Tabla 4 se observa que los niños “18” y “26” han elegido simultáneamente las opciones (b, d); y el niño “23” ha elegido sólo la opción (j).

## Discusión de los resultados

De los resultados relevados en la Tabla 3 se observa que, de los 16 niños de 5to grado, el niño “11” ha demostrado ser el único en expresar una opción correcta (opción b de la Tabla 1) respecto del color de la sangre, y ninguno de los diez niños de 6to grado lo ha logrado.

De los resultados relevados en la Tabla 4 se observa que los niños “4” y “9” de 5to grado han respondido correctamente (opciones a y/o n de la Tabla 2) sobre la función del corazón pero ninguno de los diez niños de 6to lo ha conseguido.

Es posible recurrir al marco teórico del Sistema de Procesamiento de la Información (Figura 1) para encontrar dentro de la variedad de respuestas incorrectas algunas regularidades que permitan describir obstáculos epistemológicos de aprendizaje (OEA).

A continuación proponemos cuatro diferentes OEA que se derivan del análisis de siete diferentes “casos” que recuperan las categorizaciones de opciones de respuestas presentadas previamente en la sección de Resultados.

Los OEA de **preeminencia de asociaciones idiosincrásicas de aspectos sintácticos aislados** encuentran su referente empírico en los siguientes dos casos:

*Caso 1:* La típica ilustración de la Figura 2 muestra con la palabra *venas* – lenguaje verbal – a un vaso sanguíneo de color *azul* – lenguaje gráfico –, y con la palabra *arterias* a un vaso sanguíneo pintado de *color rojo*. Este tipo de figuras pueden inducir a errores en estudiantes novatos que guardaron en sus memorias sendas palabras (*vena* y *arteria*) como señaladores de lenguaje verbal; y sendos códigos de colores (*azul* y *rojo*) como señaladores de lenguaje gráfico. Durante la evocación se habrían establecido asociaciones entre dichos señaladores, originando una respuesta generalizadora errónea: “*rojo es arteria, azul es vena*”; sin tomar conciencia que la relación es con el contenido de oxígeno en la sangre que transporta dicho vaso. Los errores provenientes de estos procesos cognitivos se corresponden con la categoría *Asignación errónea de color debido al vaso sanguíneo que transporta la sangre*.

*Caso 2:* Los señaladores de códigos rojo y azul del lenguaje gráfico podrían haberse asociado durante la evocación a señaladores de otros códigos visuales que habrían guardado en la memoria el color en una determinada distribución espacial del cuerpo humano (abajo, arriba, a la derecha o a la izquierda). Nuevamente inducidos por dibujos como el de la Figura 2 los alumnos novatos establecerían esta asociación conducente a las respuestas erróneas que se pusieron en evidencia en la categoría *Asignación errónea de color en función de la parte del cuerpo por la que circula la sangre*.

Los OEA de **articulación sintáctico-semántica idiosincrásica** encuentran su referente empírico en los siguientes dos casos:

*Caso 3:* Los señaladores de códigos rojo y azul del lenguaje gráfico podrían haberse asociado durante la evocación a señaladores sintáctico-semánticos idiosincrásicos del lenguaje verbal. Por ejemplo, la significación de que la presencia de moléculas – de gases o nutrientes – da origen a los colores de la sangre es una construcción semántica que nunca fue expresada ni en el discurso docente ni en el texto de apoyo escolar; sin embargo, es una idea generada por muchos niños. Estas asociaciones darían cuenta de las respuestas incorrectas como las que se observan en las categorías *Asignación errónea: color debido a la presencia en sangre de diferentes tipos de moléculas* y *Asignación errónea de color debido a la presencia en sangre de diferentes tipos de moléculas, o debido a la presencia o ausencia de nutrientes*, respectivamente. Cabe analizar, sin embargo, que este tipo de asignación de significado pudo haber sido inducida también desde el texto escolar (Fig. 2), cuando expresa: “**Por un lado**, transporta el oxígeno [...] y, **por el otro**, los nutrientes [...]”, ya que esta explicación podría haber sido interpretada por los niños como dos lugares físicos diferentes, en lugar de entenderse como una enumeración.

*Caso 4:* La asignación de significaciones idénticas a los verbos “se indica” (opción *j* de la Tabla 1), “se representa con” (opción *h*) y “es” (opciones *b, c, d, e, f, g, i, k, l, n, y, p*) podría llevar a los niños a no discriminar el sentido diferente de las opciones de respuestas que eligieron. Estas asociaciones que dan igual significación a términos muy diferentes del lenguaje verbal generarían respuestas erróneas o inconsistentes como las que se observan en la categoría *Asignación errónea: inconsistencias semánticas frente a códigos gráficos de color*.

Los OEA de **generación de un modelo mental puente** encuentran su referente empírico en los siguientes dos casos:

*Caso 5:* Un refuerzo de asignaciones sintáctico-semánticas erróneas podría generar un modelo mental funcional que resultara resistente a posteriores instrucciones. Por ejemplo, en la Tabla 3 se muestra que de los seis niños de 5to grado que eligieron la opción *g* (*Cuando la sangre lleva oxígeno es de color rojo*), solo el “9” marcó esta opción como única; los niños “3”, “6” y “14” eligieron opciones que dan cuenta de estar construyendo un modelo mental donde la sangre cambia de color según el lugar del cuerpo o la sustancia que lleve. Estas ideas pueden haberse consolidado en la memoria como verdaderos modelos mentales. Los niños “12” y “16” respondieron de forma tan variada que aún están lejos de construir un modelo mental auto-consistente. Todas las categorías erróneas *I a VI* pueden dar origen a este tipo de modelos mentales erróneos.

*Caso 6:* Otro caso muy evidente de construcción de un modelo mental alternativo al científico es el que remite al funcionamiento del corazón como dispositivo que contiene e impulsa a la totalidad de la sangre en un solo impulso. Este modelo erróneo es “puente” porque ofrece respuestas que serán resistentes a ser modificadas mientras no se tome conciencia sobre la naturaleza de bomba aspirante impelente del corazón, y la necesidad de cámaras y válvulas con funcionamiento mecánico alternativo y sincronizado para realizar su función fisiológica. Todas las categorías erróneas *A a D* pueden dar origen a este tipo de modelos mentales erróneos.

Un modelo mental de tipo “puente” constituye un obstáculo epistemológico de aprendizaje difícil de superar, tal como ya se ha puesto en evidencia para estudiantes novatos del nivel universitario (GAROFALO, 2010; GARÓFALO; ALONSO; GALAGOVSKY, 2014).

Finalmente, proponemos un OEA que denominamos **falta de conciencia sobre aprendizajes auto-consistentes**.

*Caso 7:* Hay sujetos que han elegido cada opción de respuesta independientemente de las otras, sin reflexionar sobre la auto-exclusión lógica de las afirmaciones elegidas, lo cual evidencia la ausencia de reflexiones metacognitivas sobre la construcción de aprendizajes auto-consistentes. Este tipo de OEA puede encontrarse en muchas de las categorías de errores presentadas y, por lo tanto, cabría proponer que un análisis conjunto entre docente y estudiantes acerca de las respuestas de los niños al cuestionario, podría ser una actividad didáctica relevante para ayudar a la toma de conciencia sobre qué están construyendo los estudiantes como aprendizajes.

## Conclusiones

En este trabajo se presentan categorías de respuestas erróneas de niños de 10-12 años frente al aprendizaje del tema sistema circulatorio humano.

En función de la existencia de diferentes tipos de memoria y de procesos cognitivos descriptos en el marco teórico del Sistema de Procesamiento de la Información y de la propuesta de análisis de protocolos, dicha categorización de errores permitió proponer obstáculos epistemológicos de aprendizaje (OEA) originados en los momentos iniciales de aprendizaje. Dichos OEA se han denominado ***preeminencia idiosincrásica de aspectos sintácticos aislados; articulación sintáctico-semántica idiosincrásica, generación de un modelo mental puente, y falta de conciencia sobre aprendizajes auto-consistentes.***

Dado que los mecanismos del procesamiento de información son condición cognitiva imprescindible de todo aprendizaje, el desafío de la didáctica de las ciencias no sería el de evitar errores forzando a los niños a aprender de memoria afirmaciones correctas – que eventualmente no comprendan –, sino diseñar estrategias didácticas apropiadas y acompañar a los estudiantes novatos en sus procesos cognitivos idiosincrásicos iniciales. En este punto ha de jugar un papel central el generar conflicto cognitivo consciente sobre las propias construcciones mentales de los niños (GALAGOVSKY 2004a, 2004b), con sustento en sus capacidades metacognitivas. Se requerirá, sin embargo, más investigación para analizar la potencialidad didáctica de cuestionar a los estudiantes sobre sus propias expresiones y comprobar sus competencias para la detección y corrección de los OEA.

Surge como otra conclusión interesante de este trabajo el utilizar didácticamente el instrumento del cuestionario (preguntas 1 y 2 de las Tablas 1 y 2, con sus respectivas opciones de respuestas), así como considerar la importancia de incluir en los textos la existencia del pigmento hemoglobina (con sus cualidades de coordinar moléculas gaseosas), y la discusión sobre la capacidad volumétrica del corazón y la fisiología del movimiento de la sangre. Estas reflexiones llevan a cuestionarse si la omisión de información fundamental para la construcción de aprendizajes y modelos mentales correctos es una forma válida de reducir los contenidos a ser enseñados, o son un factor de riesgo, dado que podrían estar consolidando aprendizajes erróneos muy difíciles de remontar, pues serían aprendizajes no conscientes.

En resumen, el rol de los docentes sería el de asumir que la comunicación en el aula implica inevitablemente la mediación de complejos lenguajes expertos, y de reconocer el desafío didáctico que implica hacer simplificaciones conceptuales que pueden llevar a los novatos a procesar erróneamente la información recortada que les presentamos.

Tal como sostienen Arzola et al. (2011, p. 14):

la relevancia que adquiere la identificación de los modelos explicativos en una etapa inicial, se constituyen en una herramienta fundamental para el docente, ya que permite reconocer si existen obstáculos en el proceso de aprendizaje, y en base a éstos, generar nuevas estrategias que permitan planificar diversas actividades secuenciadas, con el objetivo de desarrollar en el estudiantado nuevos y diversos modos de pensar la vida, y de modificar, reconstruir y enriquecer si es preciso los modelos mentales sobre un fenómeno de la realidad que estos posean, orientando en ellos el poder concebir aprendizajes significativos conscientes de su propio proceso de aprendizaje.

En este sentido, el presente trabajo aporta ideas teóricas basadas en evidencias, que permiten deducir acciones didácticas específicas para mejorar la comunicación en el aula de ciencias naturales.

### Agradecimientos

Las autoras agradecen los financiamientos: Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, PICT (2014-2017) y Universidad de Buenos Aires, UBACyT (2014-2017).

### Referencias

- AMAUDIN, M.; MINTZES, J. Student alternative conceptions of the human circulatory system: a cross-age study. **Science Education**, Hoboken, v. 69, n. 5, p. 721-733, 1985.
- AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE. **Science netlinks**: systems of the human body. Disponible en: <<http://sciencenetlinks.com/lessons/systems-of-the-human-body/>>. Consultado el: 7 feb. 2017.
- ARZOLA, N. et al. Importancia de los modelos explicativos en el aprendizaje de biología. **Revista Ciencia Escolar**: enseñanza y modelización, Santiago, v. 1, n. 1, p. 7-16, 2011. Disponible en: <<http://modelamientoparabiologia.weebly.com/uploads/1/4/4/8/14480368/pdffff.pdf>>. Consultado el: 7 feb. 2017.
- BEKERMAN, D. G. **La utilización de la imagen en los procesos de enseñanza y aprendizaje de química orgánica**. 2007. 249 h. Tesis (doctoral) – Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, 2007.
- BRUCE, C. A. **Teacher's resource guide for the human body**. [London]: BBC, [2001]. Disponible en: <<https://www.imax.com.au/content/resources/Human%20Body%20Study%20Guide.pdf>>. Consultado el: 7 feb. 2017.
- BRUNNER, A. et al. La organización del cuerpo humano. In: BRUNNER, A. et al. **Ciencias naturales 5**: los conocedores. Buenos Aires: Eldevives, 2010. p. 62-74.

CARVALHO G. S.; CLÉMENT, P. Relationships between digestive, circulatory, and urinary systems in Portuguese primary textbooks. **Science Education International**, Hatfield, v. 18, n. 1, p. 15-24, 2007.

CARVALHO, G. S.; SILVA, R.; CLÉMENT, P. Historical analysis of Portuguese primary school textbooks (1920-2005) on the topic of digestion. **International Journal of Science Education**, London, v. 29, n. 2, p. 173-193, 2007.

CARVALHO G. S. et al. Portuguese primary school children's conceptions about digestion: identification of learning obstacles. **International Journal of Science Education**, London, v. 26, n. 9, p. 1111-1130, 2004.

CHERIF, A. H. et al. Effective understanding of the human body organs: a role-playing activity for deep learning. **The American Biology Teacher**, Reston, v. 72, n. 7, p. 447-450, 2010.

CLÉMENT, P. Situated conception and obstacles: the example of digestion / excretion. In: PSILLOS, D. et al. **Science education research in the knowledge-based society**. Dordrecht: Kluwer, 2003. p. 89-97.

ERICSSON, K. A.; SIMON, H. A. **Protocol analysis: verbal reports as data**. 3. ed. Cambridge: MIT Press, 1999.

EULATE GONZÁLEZ, L. Revisión bibliográfica sobre preconceptos en fisiología de la nutrición humana. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 11, n. 3, p. 345-348, 1993.

GALAGOVSKY, L. Del aprendizaje significativo al aprendizaje sustentable. Parte 1: el modelo teórico. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 22, n. 2, p. 230-240, 2004a.

GALAGOVSKY, L. Del aprendizaje significativo al aprendizaje sustentable. Parte 2: derivaciones comunicacionales y didácticas. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 22, n. 3, p. 349-364, 2004b.

GALAGOVSKY, L.; BEKERMAN, D. La química y sus lenguajes: un aporte para interpretar errores de los estudiantes. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, Vigo, v. 8, n. 3, p. 952-975, 2009.

GALAGOVSKY, L. DI GIACOMO, M. A.; CASTELO, V. Modelos vs. dibujos: el caso de la enseñanza de fuerzas intermoleculares. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, Vigo, v. 8, n. 1, p. 1-22, 2009.

GALAGOVSKY, L.; GIUDICE, J. Estequiometría y ley de conservación de la masa: una relación a analizar desde la perspectiva de los lenguajes químicos. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 21, n. 1, p. 85-99, 2015.

GARÓFALO, S. J. **Obstáculos epistémicos de aprendizaje del tema metabolismo de hidratos de carbono: un estudio transversal**. 2010. Tesis (doctoral) – Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, 2010.

GARÓFALO, S.; ALONSO, M.; GALAGOVSKY, L. Nueva propuesta teórica sobre obstáculos epistemológicos de aprendizaje: el caso del metabolismo de los carbohidratos **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 32, n. 3, p. 155-171, 2014.

GELLERT, E. Children's conceptions of the content and functions of the human body. **Genetic Psychology Monographs**, Provincetown, v. 65, p. 293-405, 1962.

JOHNSTONE, A. H. Chemistry teaching: science or alchemy? **Journal of Chemical Education**, Easton, v. 74, n. 3, p. 262-268, 1997.

MINTZES, J. Naive theories in biology: children's concepts of human body. **School Science and Mathematics**, Hoboken, v. 84, n. 7, p. 548-555, 1984.

NORMAN, D. A. **Memory and attention**: an introduction to human information processing. New York: John Wiley, 1976.

REISS, M. J.; TUNNICLIFFE, S. D. Student's understandings of human organs and organ systems. **Research in Science Education**, Berlin, v. 31, n. 3, p. 383-399, 2001.

REISS, M. J. et al. An international study of young peoples' drawings of what is inside themselves. **Journal of Biological Education**, Abingdon, v. 36, n. 2, 58-64, 2002.

TUNNICLIFFE, S. D.; REISS, M.J. Learning about skeletons and other organ systems of vertebrate animals. **Science Education International**, Hatfield, v. 10, n. 1, p. 29-33, 1999.

UNIVERSITY OF KANSAS. Applied English Center. **The incredible machine**: your body. Disponible en: <[http://www2.ku.edu/~topeka/THEMATIC\\_UNITS/The\\_Incredible\\_Machine.pdf](http://www2.ku.edu/~topeka/THEMATIC_UNITS/The_Incredible_Machine.pdf)>. Consultado el: 7 feb. 2017.

URIBE, M. et al. Aplicación del modelo de Stephen Toulmin a la evolución conceptual del sistema circulatorio: perspectivas didácticas. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 16, n. 1, p. 61-86, 2010.

---

Artigo recibido en 08/03/2017. Aceptado en 07/10/2017.

Contacto: Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Ciudad Universitaria, Pabellón 2, Buenos Aires, DF 1428, Argentina.