

Obstáculos epistemológicos para el aprendizaje de la estructura y el funcionamiento del Sistema Circulatorio Sanguíneo Humano (SCSH) en estudiantes de grado séptimo y décimo:
un constructo teórico desde la perspectiva sistémica

Johan Gustavo Arenas Jaramillo, Sandra Milena González Silva, Henry Ruiz Morales y
Javier Ernesto Vargas Medina

Trabajo de grado presentado para optar al título de Magíster en Educación con énfasis en
ciencias naturales

Tutores:

Nina Stella Clavijo Vargas

Robinson Roa Acosta

Pontificia Universidad Javeriana

Maestría en Educación

Bogotá, D.C. 2018

NOTA DE ADVERTENCIA

“La universidad no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en sus trabajos de tesis. Sólo velará porque no se publique nada contrario al dogma y a la moral católica y porque las tesis no contengan ataques personales contra persona alguna, antes bien se vean en ellas el anhelo de buscar la verdad y la justicia.”

Artículo 23, resolución No 13 del 6 de Julio de 1946,
por la cual se reglamenta lo concerniente a Tesis y Exámenes de Grado en la Pontificia
Universidad Javeriana.

AGRADECIMIENTOS

A Dios nuestras familias y tutores por su apoyo incondicional tutores

Sandra Milena González Silva

Dedicada a mis amadas: esposa Diana P. García, e hijas Valeria, Sofia, Vanesa por su apoyo, amor y comprensión los momentos buenos y/o difíciles. A mi muy querida hermana Beatriz por su apoyo, cariño y colaboración siempre presentes. Con mucho amor y cariño las llevo en mi corazón.

Henry Ruiz Morales

Quiero agradecer primeramente a Dios por su gracia y favor sobre mi vida, a la familia y en especial a mi esposa Tatiana por su paciencia y apoyo en cada momento, a los tutores la profesora Nina y el profesor Robinson que nos guiaron con su conocimiento y experiencia y finalmente a mis compañeros de investigación que en los momentos difíciles me respaldaron y aportaron a mi vida conocimiento en el área académica y social

Javier Ernesto Vargas Medina

Agradecemos a Dios por permitirnos iniciar y culminar este proceso, a nuestras familias por su apoyo, comprensión y confianza, a los estudiantes que nos permitieron adentrarnos en sus saberes y finalmente a nuestros tutores por su guía y apoyo durante todo el proceso.

Johan Gustavo Arenas Jaramillo

Tabla de contenido

Introducción	1
1.1. Planteamiento y delimitación del problema.....	2
1.2. Objetivos	4
1.2.1. Objetivo general.....	4
1.2.2. Objetivos específicos.....	4
1.3. Justificación.....	5
1.4. Antecedentes	6
Fundamentación Teórica	9
1.1. La problemática del aprendizaje de conceptos científicos	9
1.2. El concepto de obstáculo y sus implicaciones en la enseñanza y el aprendizaje	10
1.2.1. El concepto de Obstáculo	10
1.2.2. Las concepciones de los estudiantes	14
1.2.3. El origen de las concepciones	15
1.2.4. Principios epistemológicos subyacentes a las concepciones de los estudiantes	17
1.3. El SCSH desde sus componentes y funcionamiento a partir de diversas ramas de las ciencias 19	
1.3.1. Ubicación, estructura y funciones del corazón	22
1.3.2. Estructura y función de los vasos sanguíneos.....	24
1.3.3. Composición de la sangre.	24
1.3.4. El plasma sanguíneo.....	25
1.3.5. Componentes celulares de la sangre	26
1.4. La Teoría General de Sistemas	27
Metodología	28
1.5. Enfoque de investigación	28
1.6. Descripción de los sujetos de estudio y su contexto.	29
1.7. Diseño de investigación	29
1.7.1. Primera etapa: revisión bibliográfica	30
1.7.2. Segunda etapa: diseño de instrumentos	30
1.7.3. Tercera etapa: validación de los instrumentos.....	31
1.7.4. Cuarta etapa: aplicación de los instrumentos	34
1.7.5. Quinta etapa: interpretación y categorización de las respuestas	34
1.7.6. Sexta etapa: análisis de la información recopilada.....	35

1.7.7.	Séptima etapa: diseño de una propuesta didáctica y teórica sistémica de enseñanza del SCSH	35
1.7.8.	Octava etapa: conclusiones	35
	Análisis e interpretación de la información recolectada	35
1.8.	Componentes del SCSH según los estudiantes	36
1.9.	Conductos por donde circula la sangre según los estudiantes	38
1.10.	El color de la sangre según los estudiantes	40
1.11.	La composición de la sangre según los estudiantes	43
1.12.	La ubicación del corazón y los pulmones en el cuerpo de acuerdo con los estudiantes..	45
1.13.	La estructura del corazón de acuerdo con los dibujos de los estudiantes.	46
1.13.1.	Formas o siluetas del corazón humano	46
1.13.2.	Reconocimiento de conductos de salida o entrada de la sangre al corazón.....	47
1.13.3.	Las estructuras del corazón identificadas por los estudiantes	48
1.14.	Las funciones del SCSH según los estudiantes	49
1.15.	Las funciones de la sangre de acuerdo con los estudiantes	51
1.16.	Los sitios de producción de sangre en el organismo según los estudiantes.....	52
1.17.	Reconocimiento de la sangre como un fluido	54
1.18.	Mecanismos utilizados por el SCSH para el flujo de la sangre según los estudiantes	54
1.18.1.	Modelos explicativos de estudiantes de grado séptimo y décimo sobre el recorrido de la sangre en el cuerpo	56
1.19.	Síntesis de los principales hallazgos.....	63
1.20.	Discusión de los hallazgos	65
1.20.1.	Obstáculos epistemológicos asociados con la comprensión de la estructura y el funcionamiento del SCSH.....	65
1.21.	Propuesta didáctica y teórica para la enseñanza del SCSH desde la perspectiva sistémica	69
1.21.1.	Componente didáctico:.....	70
	Constructo teórico del SCSH desde una perspectiva sistémica.	75
1.22.	Influencia del hipersistema al suprasistema.....	76
1.23.	SCSH desde las partes que lo componen y las relaciones con otros sistemas dentro del gran suprasistema llamado cuerpo humano (CH)	78
1.23.1.	Ambiente del Sistema Circulatorio Sanguíneo Humano.....	78
1.23.2.	Complejos identificados.....	81
1.24.	La relación entre sus componentes, a fin de describir su medio interno y externo en término de flujos.....	89

1.24.1. Patrón de organización del sistema.....	89
1.24.2. Características emergentes del sistema	90
1.24.3. Corrientes de entrada y salida	91
1.24.4. Tipos de Retroinput.....	91
1.24.5. Retroalimentación.....	92
Conclusiones	93
Prospectivas de la investigación.....	94
Referencias	94
Anexos.....	99

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Abreviaturas.</i>	7
Tabla 2 <i>Diferencias entre aprendizaje repetitivo y aprendizaje significativo o de conceptos (Pozo y Gómez 2006)</i>	9
Tabla 3 <i>Obstáculos epistemológicos según Bachelard (2000).</i>	11
Tabla 4 <i>Características de los obstáculos González (2011).</i>	12
Tabla 5 <i>Obstáculos históricos sobre el SCSH.</i>	13
Tabla 6 <i>Características de las concepciones. Giordan y Vecchi, (1995).</i>	15
Tabla 7 <i>Diferencias entre las teorías implícitas y los esquemas formales. Pozo y Gómez (2006)</i>	19
Tabla 8 <i>Funciones del SCSH. Audesirk, et al., (2008).</i>	21
Tabla 9 <i>Función y características de los vasos sanguíneos. Hall y Guyton (2011).</i>	24
Tabla 10 <i>Componentes de la sangre. (Audesirk et al., 2008, p.658).</i>	24
Tabla 11 <i>Descripción de los aspectos tomados de la TGS para el constructo teórico.</i>	28
Tabla 12 <i>Identificación de categorías de análisis</i>	31
Tabla 13 <i>Preguntas del instrumento 1</i>	32
Tabla 14 <i>Preguntas del instrumento 2</i>	33
Tabla 15 <i>Ubicación del corazón y los pulmones por parte de los estudiantes.</i>	45
Tabla 16 <i>Formas o siluetas del corazón identificadas en los dibujos de los estudiantes.</i>	47
Tabla 17 <i>Dibujos del corazón</i>	48
Tabla 18 <i>Estructuras asociadas al corazón</i>	49
Tabla 19 <i>Criterios de clasificación para los modelos explicativos del recorrido de la sangre en el cuerpo</i>	56
Tabla 20 <i>Concepciones de los estudiantes de 7° y 10° asociadas al funcionamiento y estructura del SCSH</i>	63
Tabla 21 <i>Descripción de los hallazgos (Orígenes y posibles causas)</i>	64
Tabla 22 <i>Objetivos, preguntas orientadoras y actividades para el aprendizaje</i>	73
Tabla 23 <i>Resumen del transporte e intercambio de gases</i>	83
Tabla 24 <i>Funciones complementarias</i>	90
Tabla 25 <i>Corrientes de entrada y salida</i>	91
Tabla 26 <i>Retroalimentación positiva y negativa</i>	92

Tabla 1 *Abreviaturas.*

Abreviatura	Significado
TF	Teoría Fundamentada
SC	Sistema circulatorio
MEN	Ministerio de Educación Nacional
IED	Institución Educativa Distrital
CH	Cuerpo Humano
ADN	Ácido Desoxirribonucleico
BMR	Proteína Morfogenética del Hueso (Siglas en ingles)
VEGF	Factor de Crecimiento Vascular Endotelial. (Siglas en ingles)
SCSH	Sistema Circulatorio Sanguíneo Humano
SPSS	Programa estadístico
HB	Hemoglobina
SL	Sistema linfático
TGS	Teoría General de Sistemas

Introducción

Esta investigación surge de cuatro docentes del área de ciencias naturales que coinciden con otros colegas e investigadores en cómo superar la dificultad de los estudiantes para la apropiación de conceptos científicos, sobre todo cuando intentan dar una explicación fenomenológica en su vida cotidiana. Para Giordan y Vecchi (1995) existen obstáculos relacionados con la masificación de la enseñanza (cantidad de estudiantes en las aulas de clase), la falta de materiales didácticos, el tiempo dedicado a la preparación y reflexión del quehacer docente en cuanto a la asignación de horas semanales de clase, la formación de profesores que se torna insuficiente en lo disciplinar, lo relacionado con la didáctica, lo pedagógico; sin mencionar otros factores asociados con la cultura y la sociedad.

Otra dificultad en la comprensión de las ciencias por parte de los estudiantes se refiere a la enseñanza de los contenidos de forma aislada y fragmentada, por ejemplo, Cañal (2008) señala que el aprendizaje memorístico de los diferentes componentes del cuerpo poco promueve la comprensión del funcionamiento del mismo, debido a que no se establecen estructuras integradoras que expliquen a profundidad las funciones vitales. También influye la fragmentación del conocimiento, al mostrar las diferentes partes del organismo y los niveles de organización en los seres vivos complejos de una manera poco profunda, esto puede ocasionar que no se visualicen los seres como un todo, si no como un conjunto de procesos con pocas relaciones entre sí.

Finalmente, al hacer una revisión de las causas de estos obstáculos, nos encontramos con varios estudios, en didáctica de las ciencias, sobre los conocimientos previos, también denominados concepciones alternativas, ideas previas, estructura conceptual, errores conceptuales, ciencia de los alumnos, miniteorías (Pinto, Aliberas y Gómez, 1996), aspectos que se deben valorar al momento de la planeación de la clase, Giordan y Vecchi (1995) señalan como un reto para la enseñanza científica, tener en cuenta el saber del público a quien se orienta.

Por tanto, una alternativa en el aula podría ser tener en cuenta las concepciones de los estudiantes y sus obstáculos para proponer una enseñanza, donde estos sean el punto de partida, para asumir un nuevo enfoque de los conocimientos a través de una integración de disciplinas que aborden de forma más dinámica los fenómenos naturales, para este caso, se diseña un

constructo sobre el Sistema Circulatorio Sanguíneo Humano SCSH dirigido a compañeros docentes con el propósito que en futuras investigaciones sirva de base para la construcción de una unidad didáctica que facilite los procesos de enseñanza- aprendizaje.

1.1. Planteamiento y delimitación del problema

En cuanto a la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias naturales durante los años 60 se impulsaron las primeras reformas, las cuales buscaban superar el modelo tradicional de “enseñanza por transmisión de conocimientos” caracterizado por su poca eficacia en la promoción del aprendizaje debido a que en este enfoque predomina una visión de las ciencias como un conjunto de conocimientos acabados y descontextualizados y por otra parte no se tienen en cuenta las concepciones de los estudiantes, esta situación provoca aprendizajes frágiles y distorsionados al igual que retrocesos ya que en ocasiones los conocimientos adquiridos son borrados y sustituidos nuevamente por conocimientos de sentido común (Galagovsky & Adúriz-Bravo, 2001).

En lo que se refiere al conocimiento sobre el cuerpo humano tradicionalmente se presenta en los textos escolares o en internet en forma de secciones o apartados diferenciados de los sistemas del organismo, lo cual implica que se enseñe la anatomía y la fisiología como una suma de estructuras y funciones sin ninguna relación, esto conlleva a que los estudiantes desarrollen conocimientos poco significativos y muy fragmentados (Cubero, 1998; Núñez y Banet, 1996). Así mismo, Cañal (2008) afirma que la fragmentación del conocimiento no sólo se produce cuando se abordan separadamente las distintas partes del organismo, sino también se amplía al ámbito de los niveles de organización de los seres vivos complejos ya que no se muestra la relación entre el nivel microscópico-macroscópico y viceversa.

Distintos estudios han demostrado que los estudiantes presentan sus propias concepciones que se caracterizan por ser de sentido común, les permiten interpretar lo que sucede a su alrededor; se adquieren antes y durante los años de escuela, suelen ser resistentes al cambio, y no son fácilmente sustituidas por explicaciones científicas provocando en ocasiones la construcción de significados contrarios a los esperados (Alkhaldeh, 2007; Arnaudin y Mintzes, 1985; Ozgur, 2013.). De esta forma se pueden considerar como un factor que influye en el aprendizaje y pueden llegar a ser un obstáculo para la comprensión de los conceptos que se enseñan en ciencias. Sin embargo, estos obstáculos se pueden utilizar para la construcción de objetivos de aprendizaje.

En cuanto al concepto de obstáculo González (2011) afirma que son modos de pensar y no todo modo de pensamiento constituye un obstáculo. De tal forma que no son necesariamente negativos (limitantes) y pueden ser un punto de partida para lograr un acercamiento del saber de los estudiantes al saber científico. Es importante determinar los obstáculos que pueden generar dificultades y confusiones en la comprensión de conceptos como base para el diseño de propuestas para la enseñanza.

Con respecto al conocimiento sobre la estructura y el funcionamiento del SCSH, diversos autores manifiestan la persistencia de concepciones asociadas con la estructura y función de la sangre, el corazón, el patrón de la circulación y las relaciones entre circulación y respiración en estudiantes de diferentes niveles de escolaridad (Ahopelto, Mikkilä-Erdmann, Olkinuora, y Kääpä, 2011; Arnaudín y Mintzes, 1985; Catherall, 1981; López, Postigo y León, 2007; Sungur, Tekkaya, y Geban, 2001). Por otra parte, Yip (1998) encontró que los maestros también presentan concepciones en relación con el SCSH específicamente en lo que tiene que ver con el mecanismo de intercambio de sustancias, el papel de la formación y retirada del líquido tisular en los capilares y la relación entre la presión arterial y el diámetro del vaso.

Llama la atención que, aunque el correcto aprendizaje sobre el SCSH es básico en el área de las ciencias naturales porque permite entender el funcionamiento del cuerpo, así como la comprensión de otros conceptos como el de homeostasis y la relación entre diversos sistemas: circulatorio-respiratorio, circulatorio-linfático, circulatorio-digestivo (Alkhaldeh, 2007; Olmos y Gavidia, 2014; Ozgur, 2013) este tema se torna de difícil interpretación.

En lo concerniente con nuestra experiencia docente, se ha podido evidenciar que los estudiantes de grado séptimo y décimo de dos instituciones oficiales de la localidad de Bosa, a pesar de haber superado los distintos grados de escolaridad, presentan dificultades en la comprensión y apropiación de conceptos relacionados con el funcionamiento del SCSH. El origen de estas dificultades puede ser consecuencia de factores cognitivos que posiblemente tienen su origen en la prevalencia de un modelo tradicional de enseñanza donde no se toman en cuenta los saberes previos de los estudiantes, los errores conceptuales de los libros de texto y la forma en que conciben y explican, a partir de sus percepciones y creencias, el funcionamiento del SCSH.

Bajo la anterior premisa, la presente investigación tiene como propósito inferir los obstáculos epistemológicos asociados a las concepciones que presentan estudiantes de grados séptimo y décimo sobre el funcionamiento y la estructura del SCSH y a partir de este

conocimiento formular una propuesta didáctica y teórica para la enseñanza, fundamentada en la teoría general de sistemas (TGS), de manera que se podría pensar que si los estudiantes comprenden la estructura y el funcionamiento desde una perspectiva sistémica, podrían entender sus relaciones con otros sistemas y reconocer su papel en el funcionamiento del cuerpo, razón por la cual se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo diseñar un constructo teórico para la enseñanza del sistema circulatorio sanguíneo humano, que tenga en cuenta los obstáculos *que subyacen a las concepciones que presentan los estudiantes* de grados séptimo y décimo sobre su funcionamiento y estructura, desde una perspectiva sistémica?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Identificar los obstáculos epistemológicos asociados con la comprensión de la estructura y el funcionamiento del Sistema Circulatorio Sanguíneo Humano por parte de los estudiantes de séptimo y décimo en dos colegios oficiales, como insumo para el diseño de una propuesta didáctica y teórica desde una perspectiva sistémica.

1.2.2. Objetivos específicos

- Construir dos instrumentos para identificar las concepciones que poseen estudiantes de grados séptimo y décimo sobre la estructura y el funcionamiento del Sistema Circulatorio Sanguíneo Humano
- Identificar los obstáculos asociados a las concepciones que poseen estudiantes de grados séptimo y décimo sobre la estructura y el funcionamiento del Sistema Circulatorio Sanguíneo Humano.
- Categorizar los modelos explicativos de estudiantes de grado séptimo y décimo sobre el recorrido de la sangre en el cuerpo con el fin de determinar algunas concepciones asociadas a estos.
- Diseñar una propuesta didáctica y teórica de enseñanza fundamentada en las concepciones de los estudiantes sobre el Sistema Circulatorio Sanguíneo Humano incorporando los principios de la teoría general de sistemas.

1.3. Justificación

La enseñanza de la anatomía y fisiología humana presenta dificultades desde la antigüedad. En el constructo histórico del concepto sobre circulación sanguínea, las primeras aproximaciones a este fenómeno se basaban en descripciones de estructuras que rara vez eran relacionadas con su función porque estaban prohibidas las disecciones humanas y los métodos de enseñanza se centraban en lo memorístico (Beltrán, Castro y Peña, 2015). Pese a que después del proceso de la revolución industrial se permitieron las disecciones para el avance en el campo de la medicina, aún hoy en el siglo XXI se observa que el conocimiento sobre el cuerpo humano se presenta a través de los diferentes medios (libros, internet, etc) como una suma de partes especializadas carente de relación (Olmos y Gavidia, 2014).

Por otra parte, la mayoría de profesores y científicos muestran la historia de las ciencias como un suceso lineal de hechos, sin que se realice una reflexión y análisis de las formas como se llegó a la construcción del conocimiento científico, desconectándolo de los procesos de enseñanza y aprendizaje dificultando la comprensión (Uribe, Quintanilla, Izquierdo, Solsona, 2010).

Así mismo, en la actualidad el aprendizaje sobre el SCSH es un tema que se encuentra incluido en el plan curricular del área de ciencias naturales en las instituciones educativas del país, debido a que, permite establecer relaciones entre diversos sistemas y por ende es fundamental para comprender el funcionamiento del cuerpo. En este aspecto diversos estudios han revelado que los estudiantes de distintos niveles de escolaridad muestran dificultades en la comprensión del funcionamiento del SCSH, como se ha mencionado en el planteamiento del problema. Por otra parte, Ozgur (2013) menciona que a pesar de los años de escolaridad los estudiantes siguen presentando concepciones debido en parte a que no son conscientes de sus errores, por tal razón es fundamental que las concepciones sobre el SCSH, sean el punto de partida en el diseño de estrategias de enseñanza de las ciencias diferentes al modelo de enseñanza tradicional.

A partir de lo anterior, es necesario la generación de propuestas de enseñanza que busquen favorecer el aprendizaje significativo en donde se tenga en cuenta no solo lo que el maestro crea conveniente sino también las concepciones de los estudiantes, estas pueden llegar a constituir un obstáculo para la comprensión, pero a la vez un motor para el aprendizaje (Giordan y Vecchi, 1995). Lo que implica para los docentes reflexionar y repensar sobre las dificultades de los estudiantes en cuanto a la comprensión de los conceptos científicos, los

métodos usados para la enseñanza, la pertinencia de los contenidos curriculares, las formas de evaluar y de abordar dichos contenidos.

Desde la Teoría General de Sistemas (TGS) Bertalanffy, (1989) menciona que esta perspectiva facilita la integración del todo con sus partes y viceversa, logrando una dinámica más cercana al conocimiento científico, por tal motivo surge como una alternativa en la educación que permitiría dar solución a la problemática asociada con la fragmentada y aislada enseñanza de los procesos al interior del cuerpo, así mismo, establecer relaciones dinámicas entre el componente celular, ecosistémico y organísmico. Teniendo en cuenta lo anterior se formula una propuesta didáctica y teórica para la enseñanza del SCSH que integra los resultados de la investigación y la perspectiva sistémica que puede ser implementada en diversos contextos.

1.4. Antecedentes

La investigación desarrollada por Núñez y Banet (1996), busco indagar el nivel de comprensión sobre el papel del sistema circulatorio (SC) en la nutrición humana, para ello describieron los modelos conceptuales sobre nutrición que tienen estudiantes de básica primaria y bachillerato en España. Los resultados muestran un predominio de modelos conceptuales no relacionados o parcialmente relacionados caracterizados por no identificar adecuadamente el papel del SC con la digestión y la respiración, de esta forma se afirma que la enseñanza habitual no contribuye, de manera efectiva, a que los alumnos reestructuren sus concepciones iniciales sobre nutrición, respiración y circulación, desarrollando modelos relacionados que sean acordes con el conocimiento científico.

Por otra parte la investigación desarrollada por López *et al.*, (2007), buscó analizar hasta qué punto estudiantes de la ciudad de México con diferentes edades y grados de instrucción sobre la biología del SCSH (bachillerato sin y con instrucción, profesores de biología y de ciencias sociales de bachillerato que se encontraban cursando estudios de maestría), habían podido cambiar sus creencias intuitivas en representaciones científicas del funcionamiento del SCSH, para ello se basaron en los modelos que representaban sobre el SCSH y el patrón de la circulación de la sangre. Los datos de este estudio muestran que la instrucción de fisiología humana obligatoria no mejoró la adquisición de una representación científica del sistema circulatorio humano. El aporte de esta investigación al presente estudio radica en el planteamiento que hacen los autores sobre la necesidad de que los estudiantes adopten una

representación sistémica del SCSH que les permita entender las interacciones de sus componentes en distintos niveles del sistema (López *et al.*, 2007).

En cuanto a la investigación realizada por Olmos y Gavidia (2014) demostraron que existen visiones parciales y desconexas entre la función del SCSH y la del sistema linfático (SL), por tal razón, los investigadores afirman que los estudiantes no integran estos sistemas, y que tienen escasos conocimientos sobre su anatomía y fisiología, porque, desconocen algunos órganos linfáticos y no entienden la interrelación entre ambos sistemas. En general, no consideran al SL como un integrante del SC, ni la importancia que posee en el transporte de determinados nutrientes

La investigación realizada por Mosquera (2012) encontró que los modelos más frecuentes sobre la circulación sanguínea, en estudiantes de cuarto y quinto de primaria de un colegio rural en Colombia, eran el modelo teleológico, determinismo biológico, científico, el modelo precientífico, el vitalista y el de intercambio de gases. También plantea que los principales obstáculos que se presentaron para el aprendizaje del funcionamiento de la circulación sanguínea eran considerar la sangre como un líquido necesario para vivir cuya función es transportar oxígeno y gas carbónico, uso de un lenguaje cotidiano para referirse a los glóbulos rojos y dificultad en el manejo del lenguaje científico, desarticulación de la circulación con otros procesos metabólicos de los seres vivos como nutrición y respiración, considerar el aire como fuente de energía, referirse a la respiración únicamente como intercambio de gases desconociendo los procesos que ocurren a nivel celular, y dificultad para reconocer los componentes del SC y respiratorio. Por otro lado, para Mosquera (2012), la identificación de las ideas previas sirve de base para el diseño de propuestas innovadoras en la enseñanza de las ciencias naturales, debido a que, conociéndolas se pueden identificar modelos y obstáculos para el aprendizaje con el fin de planear diversas actividades que permitan un aprendizaje significativo.

El estudio desarrollado por Catherall (1981), buscó explorar a través de entrevistas a niños pertenecientes a escuelas públicas de Canadá, las creencias que tenían sobre el SCSH esto permitió encontrar ideas como que el movimiento de la sangre comienza y termina en el corazón en un solo circuito, el creer que las venas y las arterias desempeñan las mismas funciones y que el recorrido de la sangre solo se da a través de las venas, otro de los resultados de este estudio es que los niños de todas las edades se adhirieron a una serie de creencias que recuerdan las adoptadas por generaciones anteriores de científicos y filósofos naturales.

Uno de los estudios pioneros fue el realizado por Arnaudin y Mintzes (1985), quienes buscaron identificar las concepciones alternativas que los estudiantes de cuarto grado de primaria y de universidad en EEUU tenían sobre el SCSH y documentar la frecuencia de estas concepciones en cada nivel educativo, los hallazgos mostraron que las concepciones de los estudiantes son extremadamente difíciles de eliminar y que en algunos casos son más difíciles de modificar como aquellas asociadas a la función de la sangre ya que solo requieren eliminar la visión teleológica en comparación con las asociadas a los mecanismos de circulación de la sangre al interior del cuerpo debido a que la comprensión de estos procesos exige el reconocimiento de los capilares, los equilibrios osmóticos, la naturaleza del ambiente extracelular y las necesidades metabólicas de las células. En muchos casos, la explicación científicamente aceptable requiere que los estudiantes adopten sistemas de modelos contraintuitivos o sustancialmente nuevos. Otro aspecto que señalan los investigadores es que al abordar el SC en el salón de clases se dedica mucho tiempo a la estructura y función del corazón, las arterias y las venas, menospreciando aspectos como la asociación íntima entre los capilares y las células del cuerpo.

Por último, Ozgur, (2013) estudió las concepciones sobre el SCSH a través del uso de encuestas en diferentes niveles de escolaridad para estudiantes turcos residentes en la ciudad de Balikesir. Para ello realizó dos tipos de encuesta que fueron previamente validadas y ajustadas por expertos teniendo como referencia el rango de edad y temas comunes trabajados por la población encuestada en torno a la circulación sanguínea. La primera encuesta fue aplicada a 319 estudiantes de grado 5° y 7° (146 y 173 respectivamente), mientras que la segunda, fue aplicada a 400 estudiantes universitarios de 1 y 4 año de las carreras: de Biología (1 año= 30 y 4 año=27), ciencias y educación (1 año=81 y 4 año=62) y Departamento de enseñanza de escuela primaria (1 año=103 y 4 año=97). Aunque los resultados obtenidos sugieren una reducción en la cantidad de concepciones erróneas en torno al tema de circulación sanguínea al aumentar los años de escolaridad, muestran que estas nunca desaparecen en su totalidad y que incluso son continuamente replicadas por los profesionales pues encuentran en esta cierta funcionalidad, por lo que se resalta la importancia de considerar las concepciones al momento de planear las actividades de enseñanza en un programa de educación.

Fundamentación Teórica

En este apartado del documento, se describen las bases teóricas que guían la investigación; en primer lugar se da a conocer la problemática del aprendizaje de conceptos científicos, en segundo lugar se aborda el concepto de obstáculo y sus implicaciones en la enseñanza y el aprendizaje, en tercer lugar se profundiza en las concepciones de los estudiantes y sus formas de interpretar el mundo y finalmente se aborda el SCSH desde sus componentes y funcionamiento a partir de diversas ramas de las ciencias.

1.1.La problemática del aprendizaje de conceptos científicos

En relación con el aprendizaje de conceptos científicos Carrascosa (2005) y Pozo y Gómez (2006) afirman que diversos estudios han demostrado que, a pesar de la implementación de procesos renovadores en la enseñanza de las ciencias, los estudiantes continúan presentando dificultades en la comprensión de los conceptos, esto se evidencia en que no pueden aplicar los conocimientos que adquieren en la escuela para la resolución de problemas o tareas sencillas.

En lo concerniente a las causas que dificultan la comprensión de los conceptos científicos tanto Carrascosa (2005) como Pozo y Gómez (2006), señalan la predominancia del aprendizaje repetitivo por encima del comprensivo o significativo, el cual requiere la puesta en marcha de procesos cognitivos más exigentes que la simple repetición de datos (ver tabla 2) y la existencia de fuertes concepciones alternativas contrarias a las ideas científicas inclusive en los docentes de ciencias, que resultan extremadamente difíciles de modificar y sobreviven a largos años de instrucción científica.

Tabla 2 Diferencias entre aprendizaje repetitivo y aprendizaje significativo o de conceptos (Pozo y Gómez 2006)

	Aprendizaje repetitivo de hechos	Aprendizaje significativo de conceptos
Consiste en	Copia literal	Relación con conocimientos anteriores
Se aprende	Por repaso (Repetición)	Por comprensión (significativo)
Se adquiere	De una vez	Gradualmente
Se olvida	Rápidamente sin repaso	Más lenta y gradualmente

Pozo y Gómez (2006) afirman que una persona comprende cuando es capaz de dotar de significado a un material o información que se le presenta; en este sentido a pesar que el estudiante tiene sus propios modelos o representaciones de la realidad es necesario que conecte los conceptos abordados en clase con sus representaciones previas dicho de otra manera “que lo traduzca a sus propias palabras y a su propia realidad” (Pozo y Gómez, 2006, p.7). Sin embargo, esta comprensión no solo depende de las estrategias implementadas por el profesor

o de los materiales didácticos que utiliza en la clase, sino de los conocimientos previos que tienen los estudiantes y que constituyen el esquema cognitivo con el cual entran en contacto con el conocimiento científico.

Al respecto de lo anterior cuando un sujeto intenta comprender algo debe activar alguna idea o conocimiento previo que le pueda permitir organizar la situación y darle sentido, por tal razón se espera que los estudiantes puedan modificar estos conocimientos a partir de la interacción con los materiales de enseñanza, sin embargo, lo que ocurre es que no modifican sus ideas, sino que interpretan los nuevos conocimientos en términos de sus saberes. En conclusión, se podría afirmar que el principal problema del aprendizaje radica en que los estudiantes mantienen fuertes concepciones contrarias a los conceptos científicos las cuales resultan difíciles de modificar y sobreviven años de instrucción científica (Carrascosa, 2005; Pozo y Gómez, 2006).

En lo concerniente a los factores que determinan la dificultad para modificar estas concepciones pueden estar relacionados en primer lugar con los mecanismos que utilizan los estudiantes para interpretar y explicar de forma intuitiva el mundo que los rodea y que les permite desenvolverse con cierta facilidad y en segundo lugar con la influencia de las experiencias físicas, del lenguaje cotidiano y el de los medios de comunicación, los errores en los libros de texto y las concepciones de algunos docentes que también son erróneas (Carrascosa, 2005)

1.2.El concepto de obstáculo y sus implicaciones en la enseñanza y el aprendizaje

Desde la enseñanza se hace indispensable estudiar las concepciones de los estudiantes con el fin de determinar qué dificultades se pueden presentar en la comprensión de los procesos científicos. En este sentido Giordan y Vecchi (1995) enuncian que las concepciones tienen un estatus significativo que permite tomar decisiones pedagógicas, esto quiere decir que además de evidenciar errores también pueden constituir puntos de partida para la construcción del conocimiento científico, pues no parten de cero, sino que chocan con un saber usual, evidente y preexistente, lo que determina una serie de obstáculos para acceder al conocimiento científico.

1.2.1. El concepto de Obstáculo

Con respecto al origen del concepto de obstáculo en primer lugar se retoman los planteamientos de Bachelard, quien lo asocia con la epistemología de la ciencia y con aquellas

limitaciones en el pensamiento humano que no permiten la construcción del conocimiento científico, de acuerdo con este filósofo “el obstáculo epistemológico es lo que se sabe y que, como ya se sabe, genera una inercia que dificulta el proceso de construcción de un saber nuevo” (González, 2011, p.174).

Finalmente, la idea de Bachelard sobre obstáculo plasmada en su obra “*La formación del espíritu científico*”, se puede resumir describiéndolo como: una forma de pensar o un conjunto de ideas que corresponden con factores internos al sujeto, asimismo, algo negativo desde el punto de vista pedagógico e histórico en el avance de las ciencias (González, 2011). A continuación, se presenta la tipología de obstáculos epistemológicos propuesta por Bachelard:

Tabla 3 *Obstáculos epistemológicos según Bachelard (2000).*

Obstáculo Epistemológico	Definición
La experiencia básica	Corresponde a dar prioridad a la experiencia sobre la crítica. Se considera la experiencia básica un apoyo muy seguro dado que la crítica no ha actuado explícitamente
El conocimiento general	Nace a partir de generalizar leyes que pueden llegar a obstaculizar el pensamiento, por ejemplo, algunos enseñan que todos los cuerpos caen al centro de la tierra sin excepción, sin embargo, ¿Qué pasa con los vapores y demás gases?. Cuando el proceso de formalización es corto, es escaso el pensamiento experimental
Verbal (la falsa explicación lograda mediante una palabra).	En las ciencias una imagen y una palabra constituyen una explicación profunda y concreta. Las metáforas en las explicaciones de conceptos científicos son muy comunes, sin embargo, estas a pesar de estar fundamentadas en procesos lógico, no necesariamente expresan la verdad. De una u otra forma las metáforas agradan a la razón.
El conocimiento unitario y pragmático	Radica en la necesidad de llevar explicaciones a un ideal de perfección de los fenómenos naturales (conocimiento a partir de su utilidad con un fin específico), este ideal fundamental, guía y resume el pensamiento empírico, con el fin de atribuir un principio de unidad a los diferentes acontecimientos naturales (Toda manifestación es una variación de una única y misma naturaleza).
Sustancialista	Consiste en explicar fenómenos naturales a partir de las cualidades de una sustancia, por ejemplo explicar el calor como un fluido.
Animista	No tiene como propósito estudiar la vida como un dominio científico; pero si atribuye cualidades desde lo biológico a fenómenos físicos por ejemplo el vitalismo. No es un simple juego de analogías, sino la necesidad de pensar natural y biológicamente.
Conocimiento cuantitativo	Desde lo cuantitativo se pueden encontrar certidumbres que pueden llegar a ser prematuras, ya que, los saberes desde lo cuantitativo no escapan al principio de los saberes cualitativos. Siempre es necesario estudiar los fenómenos naturales desde los dos enfoques con rigurosidad.

González (2011) afirma que “los obstáculos son, en primer lugar, *modos de pensar*. No todo modo de pensamiento constituye un obstáculo, pero esta primera declaración permite definir el estatus ontológico del obstáculo” (p.180). De tal forma que, los obstáculos no son necesariamente negativos (limitantes) y pueden ser un punto de partida para lograr un acercamiento del saber de los estudiantes al conocimiento científico.

Un ejemplo de obstáculo son los teleológicos, estos son una forma de pensar relacionados con explicaciones de un fenómeno desde una perspectiva finalista. González (2011) afirma:

“los fines son considerados como agentes que determinan la naturaleza del fenómeno” (p.29). El autor en cuestión menciona que es un problema complejo por la validez de las explicaciones debido a que solamente apelan a elementos como fines, metas u objetivos y estas son opuestas a las científicas. Sin embargo, resalta que el uso de explicaciones teleológicas debe considerarse legítimas en biología, porque estas tienen un valor pedagógico y heurístico (forma de aumentar el conocimiento) positivo, pero podrían interferir con las explicaciones científicas adecuadas. Finalmente, este autor señala las siguientes características de los obstáculos:

Tabla 4 *Características de los obstáculos* González (2011).

Característica	Definición
Interioridad	El obstáculo no es (como su etimología sugiere) algo externo al sujeto que aprende, sino que es algo interno, constitutivo del propio acto de conocer.
Facilidad	No se trata de una dificultad sino de una facilidad que la mente se concede. Se refiere a una comodidad intelectual. Esta tendencia hacia lo fácil hace que el aprendizaje requiera una ruptura epistemológica, una “catarsis”, una verdadera conversión mental.
Positividad	No se trata del vacío de la ignorancia sino de una forma de conocimiento. Se trata, incluso, de un exceso de conocimientos disponibles que impide la construcción de nuevos conocimientos.
Ambigüedad	El obstáculo es, al mismo tiempo, una herramienta necesaria para el aprendizaje y una fuente potencial de errores. Por ejemplo, categorizar es útil y necesario, pero hacerlo mecánicamente se puede constituir en un obstáculo. Esto vale también para las analogías: si se intenta evitarlas se corre el riesgo de que se usen en forma acrítica por ser una necesidad cognitiva inevitable (Los obstáculos son funcionales, obedecen a un orden y una operatividad lógica)
Polimorfismo	Los obstáculos son transversales (pueden aparecer relacionados a diversos contenidos). Un mismo obstáculo puede así subyacer a varias representaciones locales. Por otro lado, los obstáculos son proteiformes, esto es, presentan distintas dimensiones. No se limitan a lo racional sino que también tienen una carga simbólica que se expresa en dimensiones afectivas, emocionales, míticas.
Recurrencia	Como consecuencia de lo dicho antes el obstáculo sólo puede identificarse una vez que ha sido superado. Pero, ¿se superan realmente o sólo se identifican? Esta identificación implica un proceso metacognitivo.

Para los llamados “obstáculos didácticos” Edelsztein y Galagovsky (2007) mencionan que, existen “Obstáculos Epistemológicos de Aprendizaje”, en referencia con las diferentes dificultades en la divulgación de los saberes científicos en ciencias naturales, entre estos problemas se encuentran los relacionados con la simbología del lenguaje visual en los libros de texto, un ejemplo de ello es la codificación de colores (azul y rojo) que se presenta en las ilustraciones para diferenciar los tipos de circulación sanguínea. El problema radica en que se pueden dar diferentes interpretaciones como referir el color rojo con las arterias y el azul con las venas. Otro obstáculo didáctico está relacionado con el lenguaje científico (el cual encierra estructuras conceptuales muy desarrolladas), de tal forma que, una simple palabra puede ser el producto de redes de saberes científicos, por ejemplo, desde la física el concepto de presión se define a partir de la fuerza y el área, al mismo tiempo que la fuerza relaciona la masa con la

aceleración. “considerar un caso en el que una sola imagen, hasta una sola palabra, constituye toda la explicación”.

La categoría de obstáculos históricos se define a partir de dificultades que se hayan dado a través de la historia de las ciencias, que a su vez presentan los estudiantes en sus saberes. En la tabla 5 se muestran algunos obstáculos históricos tenidos en cuenta en esta investigación.

Tabla 5 *Obstáculos históricos sobre el SCSH.*

Obstáculo Histórico	Descripción	Mencionado por
Pensamiento Aristotélico	Para Aristóteles (384-322 A. C) el corazón tenía estas funciones: producir y distribuir la sangre, ser la sede de dos principios innatos (calor y pneuma), suscitar los movimientos y servir de centro a las sensaciones.	Uribe, Quintanilla, Izquierdo y Solsona 2010
Circuito abierto	Antes de Harvey se pensaba que la sangre se producía continuamente a partir de los alimentos sin embargo este demostró que existe un circuito con un volumen sanguíneo constante (en donde la cantidad del fluido no cambia, pero si se renuevan las partículas y cuerpos que circulan dentro de él).	Escobar 2006
Pensamiento Praxágorico	Praxágoras (340 AC) distinguió las venas de las arterias, creyó que por las arterias fluía aire, pues suelen estar vacías en los cadáveres. Esta idea, aunque luego demostró ser falsa, aportó el nombre de estos conductos (arteria significa “conducto de aire” en griego).	Uribe <i>et al.</i> , 2010
La sangre no fluye y no se le atribuyen funciones específicas.	Durante siglos se dio por cierto que la sangre era un líquido estático sin atribuirle funciones específicas o vincularla al sistema respiratorio. La comunidad científica del siglo XVII comenzó a considerar la sangre como una especie de fluido mecánico que transportaba por todo el organismo partículas nutritivas derivadas de los alimentos y del aire.	Uribe <i>et al.</i> , 2010
Desconocimiento de los capilares.	Harvey es conocido por la Teoría de la Circulación de la Sangre, pero le faltó encontrar el eslabón perdido, esto es, cómo se “conectan” las arterias con las venas.	Uribe <i>et al.</i> , 2010
Color de la sangre	Richard Lower (1631-1691) utilizando un conducto de cristal que contenía sangre venosa y observar que aquella sangre de color púrpura oscuro cambiaba a un rojo brillante cuando se mezclaba con aire.	Uribe <i>et al.</i> , 2010
Estructura del corazón.	Galeno pensaba que el corazón era una única bomba (no una bomba, doble como se sabe que es en la actualidad).	Uribe <i>et al.</i> , 2010
Desconocimiento de características físicas del SCSH	Solo en el Renacimiento, Leonardo da Vinci (1452-1519) describe las partes del corazón; los remolinos de la sangre, la función de las válvulas y el movimiento de sístole y diástole.	Uribe <i>et al.</i> , 2010
Origen de la sangre y componentes	En la teoría humoral hay una continua producción de sangre (mientras exista alimento) que se gastará a permanencia en la nutrición del cuerpo y esta se produce en el hígado pensamiento Galénico. Quien logró entender mejor el papel de las plaquetas y reconocerlas como un elemento distinto en la sangre fue el italiano Giulio Bizzozero (1841-1901). Ya había reportado que la sangre se forma en la	Izaguirre 1997

El tamaño de las plaquetas y su observación.	<p>médula ósea (1868) y en 1882 publicó su monografía sobre las plaquetas.</p> <p>Los microscopios del siglo XVIII y principios del siglo XIX tenían el problema de la aberración cromática, que distorsionaba la imagen e impedía observar partículas más pequeñas. A partir de 1820 se resolvieron los obstáculos que impedían tener el máximo provecho del microscopio compuesto.</p>	Izaguirre y Micheli 2005
---	--	--------------------------

Conforme a los planteamientos de Bachelard (2000); González (2011); Edelsztein y Galagovsky (2007), el significado de obstáculo, se define como un conjunto de ideas propias del sujeto que pueden ser influenciadas por su percepción del mundo y por factores propios de la cultura y el contexto, que dificultan la construcción del conocimiento científico por ser contrarias con las teorías científicas, pero, a su vez son vehículos para la construcción de nuevos conocimientos cercanos al saber científico.

1.2.2. Las concepciones de los estudiantes

Si bien existe un consenso en la comunidad académica en reconocer que los estudiantes traen al aula una serie de conocimientos y representaciones del mundo antes de recibir una enseñanza formal, este campo ha sido problemático debido a la gran diversidad de términos utilizados para nombrar estos conocimientos (concepciones erróneas, preconcepciones, ciencia de los niños, marcos alternativos, concepciones alternativas, entre otros). Con respecto a lo anterior Cubero (1994) afirma que existe poca preocupación teórica por delimitar y definir el objeto de estudio sobre el conocimiento previo de los estudiantes, lo que repercute en una falta de claridad en la comunidad científica sobre las características de este tipo de conocimiento, ya que se asume que todas se refieren a lo mismo.

Para Cubero (1994) la elección de una terminología conlleva conceptualizaciones de fondo así como compromisos teóricos, por ejemplo cuando se asume que las ideas de los estudiantes son incorrectas frente a las científicas estas suelen denominarse concepciones erróneas, el énfasis del uso de esta terminología radica en sus connotaciones negativas ya que por lo que se piensa que estas deben ser eliminadas o corregidas también se subvalora la actividad del estudiante asumiendo que el conocimiento científico está por encima de otros tipos de conocimientos.

Otro planteamiento mencionado por Cubero (1994) es aquel que hace énfasis en que no solo el conocimiento científico es válido, desde esta visión las concepciones de los estudiantes también tienen validez, ya que, permiten anclar nuevos aprendizajes a través del

establecimiento de relaciones entre los conceptos cotidianos y científicos, de esta forma dejan de ser vistas como erróneas para ser llamadas concepciones o esquemas previos, marcos, ideas o concepciones alternativas; este enfoque se considera relevante para la presente investigación, debido a que, si bien algunas posturas anteriormente señaladas se centran en mostrar la existencia de concepciones como algo negativo para autores como Giordan y Vecchi (1995) no solamente deben ser vistas como obstáculos sino también como vehículos para el aprendizaje, razón por la que proponen una definición en donde se equipara el concepto de concepción con el de constructo.

Lo anterior implica reconocer las concepciones como un motor necesario para la construcción del saber. Desde el planteamiento de Giordan y Vecchi, (1995) esta visión permite entender que no corresponden solo con un producto sino con el proceso de una actividad de construcción mental de lo real, cuyo proceso de elaboración se da a partir de las informaciones que las personas reciben por medio de los sentidos, pero a su vez de las relaciones que establecen las personas con otros individuos o grupos, por último, se puede decir que las concepciones presentan una dualidad debido a que no solamente son señales que indican las dificultades con que puede tropezarse el estudiante sino que a su vez permiten avanzar en el aprendizaje

Tabla 6 *Características de las concepciones.* Giordan y Vecchi, (1995).

Característica	Definición	Ejemplo
Tiene una estructura subyacente	Las concepciones no son pues sólo un producto, sino una producción: que corresponden con un “proceso” que se desprende de una actividad elevadora y a su vez dependen de un sistema subyacente que constituye su marco de significación.	“No me gusta el cordero, sabe a la hierba que come”. Para quien lo dice es difícil concebir que la hierba pueda transformarse en carne. (Conceptos de reacción química y asimilación no construidos)
Es un modelo explicativo	Es organizado, sencillo, lógico, utilizado a menudo por analogía. Los niños poseen cierto número de modelos de este tipo con los que intentan interpretar su medio.	Algunos niños ven el tubo digestivo como un conjunto de tubos (y bolsas) del tipo de “cañerías de fontanero”. En efecto, los tubos están vacíos, los alimentos “caen”, “pueden taponarse”, los alimentos no pueden descender más que hacia abajo...
Tiene una génesis al tiempo individual y social	Es un proceso personal, por el cual un individuo estructura su saber a medida que integra los conocimientos. Este saber se elabora durante un tiempo de su vida.	Los hijos de los agricultores no serán, por lo general, “analfabetas” en los distintos campos del conocimiento abordados con ellos en la enseñanza agrícola.

1.2.3. El origen de las concepciones

Pozo y Gómez (2006) mencionan que existen distintas causas de tipo sensorial, cultural y escolar las cuales son fuente de diversas concepciones arraigadas en la mente de los estudiantes y dan lugar a una ciencia intuitiva que resulta difícil de modificar en el aula de clase. En cuanto al aspecto sensorial Carrascosa (2005) afirma que es a partir de las experiencias físicas

cotidianas en donde las personas interactúan a través de los sentidos con el medio usando un tipo de pensamiento común (intuitivo), donde se generan concepciones interiorizadas como evidencias incuestionables.

Por otra parte, Pozo y Gómez (2006) reafirman lo expuesto por Carrascosa en referencia al aspecto sensorial, para estos autores muchas concepciones se originan espontáneamente cuando los sujetos intentan “(...) *dar significado a las actividades cotidianas, y se basan esencialmente en el uso de reglas de inferencia causal aplicadas a datos recogidos –en el caso del mundo natural- mediante procesos sensoriales y perceptivos*” (Pozo y Gómez, 2006 p. 98). Estas reglas permiten simplificar o reducir la complejidad del mundo sensorial a unos pocos elementos, eliminando aspectos que pueden ser irrelevantes, lo cual funciona como un mecanismo adaptativo que les brinda a los sujetos soluciones fáciles e inmediatas sin un mayor esfuerzo cognitivo generando “falsas soluciones” a la interpretación de los hechos cotidianos, si bien este tipo de inferencia permite simplificar los fenómenos naturales llevan a interpretaciones con poco poder explicativo ya que solo se basan en la descripción de secuencias probables de acontecimientos, debido a esto las ideas que se forman a partir de este tipo de reglas (que son universales y de dominio general pero a su vez contrarias y erradas en comparación con el punto de vista científico) suelen ser parte del sistema cognitivo humano y guían la producción de inferencias causales (Pozo y Gómez, 2006).

Con respecto al origen cultural Carrascosa (2005) enfatiza en la influencia del lenguaje de la calle tanto de las personas con las que los estudiantes se relacionan normalmente o el utilizado por diferentes medios de comunicación (radio, televisión, cine, prensa, cómics, libros, etc.) y cuyos significados pueden ser diferentes del científico. Para Pozo y Gómez (2006) una fuente de concepciones está dada por la interacción con el entorno social y cultural de cuyas ideas se impregnan los estudiantes, de esta forma acceden a las creencias socialmente inducidas sobre distintos hechos y fenómenos, por consiguiente las concepciones culturales surgen a través de un proceso de esquematización (las teorías científicas se ven reducidas a esquemas simplificados), de naturalización (las concepciones dejan de ser percibidas como construcciones para verse como la realidad) y de interiorización o asimilación (cada individuo vuelve propios estos productos culturales), tanto lo planteado por Carrascosa (2005) como por Pozo y Gómez (2006) permite concluir que estas concepciones están asociadas a aspectos lingüísticos y culturales lo cual genera que se verbalicen con mayor facilidad.

Junto a las causas culturales y sensoriales, se encuentran aquellas de tipo escolar propias de la enseñanza en la escuela, que tienen que ver con la forma en que se presentan los saberes científicos ya sea por parte del maestro o por la información que contienen los libros de texto, poca diferenciación entre el saber científico y otras formas de saber (Pozo y Gómez 2006), a lo que Carrascosa (2005) agrega que en ocasiones los materiales empleados en la enseñanza contienen errores conceptuales y no tienen en cuenta las concepciones de los estudiantes en sus contenidos.

Las causas expuestas anteriormente conllevan a que se generen visiones deformadas o simplificadas y comprensiones erróneas, donde los conocimientos escolares se asimilan de forma analógica a otras fuentes (sensoriales y culturales) de conocimiento científico sobre el mundo.

Para concluir, diversos autores como Carrascosa (2005), Giordan y Vecchi (1995), Pozo y Gómez (2006) coinciden en afirmar que las concepciones de los estudiantes tienen un origen social e individual, cada individuo las construye a partir de la experiencia personal con su entorno y la interacción sociocultural (la relación con los padres, los pares, los medios de comunicación, la escuela, etc.). Además, Pozo y Gómez (2006) se refieren a estas concepciones como teorías implícitas que por un lado no son producto de fallos en el sistema cognitivo del estudiante si no de un aprendizaje informal o implícito que busca establecer regularidades en el mundo haciéndolo más previsible y controlable, por estos motivos no son algo accidental o coyuntural, sino que presentan una naturaleza estructural o sistemática.

1.2.4. Principios epistemológicos subyacentes a las concepciones de los estudiantes

Según Pozo y Gómez (2006) el conocimiento cotidiano se fundamenta en supuestos epistemológicos, ontológicos y conceptuales que lo hacen diferente a las teorías científicas, por tal razón pensamos que en estos mecanismos de construcción del conocimiento científico podrían encontrarse las dificultades que no permitirían a los estudiantes comprender el funcionamiento y estructura del SCSH.

Supuestos epistemológicos: cuando los sujetos generan representaciones específicas para predecir o explicar cualquier fenómeno cotidiano asumen una especie de realismo ingenuo al interpretar de forma intuitiva e implícita ciertos principios sobre la naturaleza de la realidad, de esta forma, los sujetos le asignan propiedades absolutas a objetos físicos basándose en las apreciaciones de tipo sensorial, asumiendo que el mundo es tal cual como se les muestra ante sus ojos y todo aquello que se escapa de este sentido carece de existencia, esto les impide

cuestionarse más allá de lo evidente a simple vista, generando que las personas adquieran teorías de dominio de forma implícita y acrítica de acuerdo a sus razonamientos; todo lo contrario ocurre con el conocimiento científico, en el cual se acude a modelos fundamentados no en propiedades absolutas sino en las relaciones entre distintos objetos que permiten dar sentido a la realidad a partir del establecimiento. Por Último Vosnadiu (oportunamente citado en Pozo y Gómez, 2006) menciona que estos principios epistemológicos hacen parte de una teoría global que es producto de ciertas predisposiciones del sistema cognitivo humano así como del aprendizaje que se da a partir de los distintos contextos culturales de la vida diaria.

Supuestos ontológicos: hacen alusión a una especie de incompatibilidad entre las teorías científicas y las teorías de los estudiantes, se presentan debido a que las personas clasifican todos los objetos del mundo en un número limitado de categorías ontológicas y a las cuales les otorgan unas características determinadas, conduciendo a que en el momento de interpretar el mundo los sujetos puedan asignar ciertos atributos a esos objetos que permiten predecir situaciones nuevas y propiedades a partir de su inclusión en categorías ya conocidas.

En este punto se retoman los planteamientos de Chi, Slotta y De Leeuw (1994) quienes afirman que en la mente humana existen tres categorías ontológicas fundamentales subdivididas en otras menores, correspondientes a materia, procesos y estados mentales, por ejemplo, si los individuos categorizan algún objeto dentro la materia le atribuyen características propias de esta como peso, volumen, densidad entre otros; mientras que, si los individuos identifican al objeto a manera de proceso implica reconocerlo como un hecho que ocurre en el tiempo. Finalmente considerar algo un estado mental consiste en atribuirle características propias de la mente como deseo o intencionalidad. Un ejemplo mencionado por Pozo y Gómez (2006) que ilustra esta forma de pensar es el relacionado con conceptos como energía, calor y fuerza ya que los estudiantes normalmente los conciben como entidades materiales a los que le atribuyen propiedades de la materia es decir tienden a sustancializarse o a materializarse cuando lo que explica la ciencia corresponde con procesos de interacción.

El énfasis de Chi *et al.*, (1994) es que la dificultad presentada por los estudiantes para comprender ciertos conceptos no solamente radica desde la categorización en una entidad ontológica errónea, sino en la dificultad para lograr interpretar desde la comprensión de la categoría ontológica interacción en términos de situaciones de equilibrio en las que no se puede identificar una sola causa, sino que interactúan varios sistemas simultáneamente en

contraposición al pensamiento cotidiano que identifica los procesos dentro de relaciones causales-lineales y unidireccionales.

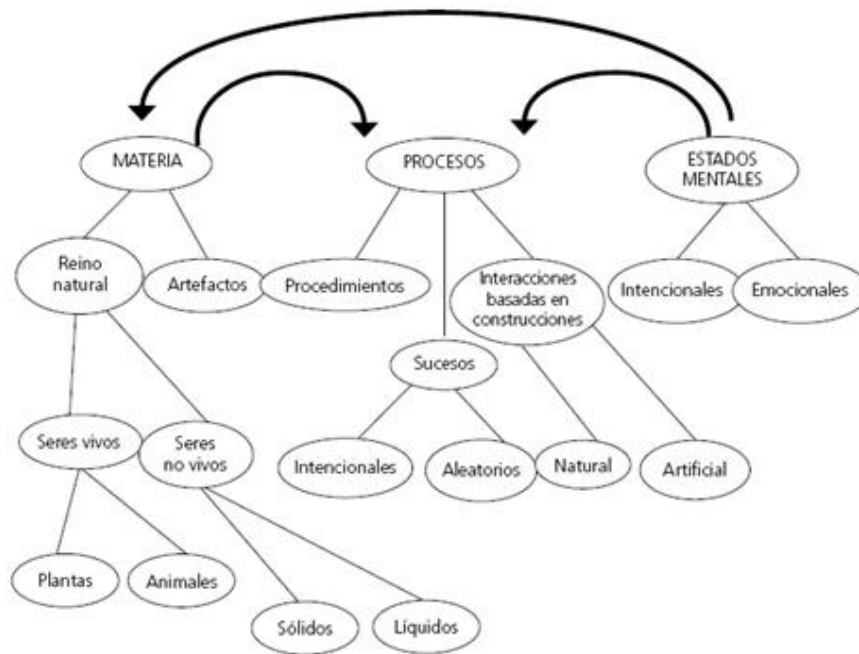


Figura 1. Categorías ontológicas propuestas por Chi *et al.*, (1994) tomado de Ibarra *et al.*, 2012

Supuestos conceptuales: Para Pozo y Gómez (2006) estos se asocian a la forma como se estructuran los conceptos, ya que, mientras en las teorías científicas se utilizan esquemas conceptuales propios a los operatorios formales propuestos por Inhelder y Piaget (oportunamente citados por Pozo y Gómez, 2006), las estructuras implícitas se basan en otras más simples, por este motivo la comprensión de las teorías científicas depende de una reestructuración en los esquemas conceptuales que tienen los estudiantes, lo cual se logra cuando interpretan la realidad utilizando un pensamiento complejo con características cercanas al pensamiento formal piagetiano.

Tabla 7 *Diferencias entre las teorías implícitas y los esquemas formales.* Pozo y Gómez (2006)

Restricciones estructurales (Teorías implícitas)	Esquemas formales o (Teorías científicas)
Causalidad lineal y simple en un solo sentido (agente → objeto)	Interacción de sistemas Causalidad compleja
No cuantificación o estrategias de cuantificación erróneas	Proporción, probabilidad, correlación
Transformación sin conservación	Conservaciones no observables, sistemas en equilibrio

1.3. El SCSH desde sus componentes y funcionamiento a partir de diversas ramas de las ciencias

En cuanto a la embriología el SCSH es el resultado de un conjunto de células, integrado y organizado a lo largo del desarrollo humano en tejidos, órganos y sistemas que se reestructuran

durante las diferentes etapas de la vida, marcando el desarrollo del organismo (Eynard, Valentich y Rovasio, 2008), sugiriendo que son sistemas dinámicos.

El SCSH inició su diferenciación entre los 18 y 19 días de la formación del cigoto, con un conjunto de células llamadas angioblastos en el mesodermo extraembrionario en donde se acumulaban y formaban islotes sanguíneos creando cavidades cubiertas por este grupo de células, quienes iniciaron un proceso de diferenciación integrando el endotelio vascular y los vasos sanguíneos primitivos (algunas de ellas migraron hacia la luz del embrión para dar origen a las células sanguíneas primitivas).

Los vasos sanguíneos primitivos (figura 2). en un comienzo se hallaban separados entre sí, pero al continuar su desarrollo se fueron fusionando para formar las redes vasculares que continuaron sus procesos de transformación y adaptación hasta construir aquello que nosotros conocemos como red vascular; por su parte, el corazón tuvo un origen similar durante la gastrulación en donde algunas células migraron por el nódulo de Hensen hacia los costados y luego hacia la región cefálica, pasando por ambos lados del conducto notocordal hasta llegar a la línea media de la región craneal, allí se fueron organizando en dos cordones cardiacos que más tarde se transformarían en los tubos cardiacos primitivos fusionándose en un único tubo formando un corazón tubular, quien en una etapa más avanzada se transformaría en una estructura única de cuatro cavidades conocida como corazón, que empezaría a latir entre la cuarta y quinta semana, conectándose a la red vascular primaria estableciendo una circulación fetoplacentaria primitiva en la que no existía la circulación pulmonar (Eynard *et al.*, 2008),

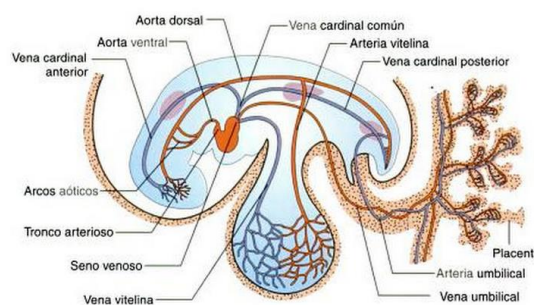


Figura 2 muestra el sistema vascular de un embrión humano a los 25 días de desarrollo. Las áreas rosadas indican los futuros sacos linfáticos. Note que la arteria umbilical lleva sangre pobre en oxígeno desde el embrión hasta la placenta, mientras que la vena umbilical conduce sangre rica en oxígeno desde la placenta hasta el embrión (Tomada de Eynard *et al.*, 2008. p.282)

“Al interior del cuerpo de cualquier vertebrado incluido el ser humano, los líquidos orgánicos están distribuidos en cuatro (4) compartimentos: **Plasma sanguíneo, linfa, líquido intersticial y líquido intracelular**, separados por límites semipermeables, constituidos por diversas membranas celulares” (Eynard *et al.*, 2008, p.287).

De estos fluidos orgánicos nos interesa el plasma sanguíneo quien mantiene un flujo unidireccional a través del SCSH y no abandona las paredes de venas, arterias, capilares e interior del corazón, por lo que, desde una mirada anatómica se le considera un sistema cerrado en cuanto a este aspecto, sin embargo, teniendo en cuenta que es uno de los medios de transporte importante en el cuerpo para el intercambio de sustancias, desde otras miradas, se toma como un sistema abierto.

Pasando de lo embriológico a lo fisiológico, una vez el feto termina su desarrollo y abandona el vientre materno, se activa un segundo circuito que remplazará la función de la placenta con los pulmones, cambiando de una circulación fetoplacentaria a una circulación doble en donde una vía conduce a la circulación sistémica y otra a la pulmonar.

Desde la parte anatómica del SCSH se presenta como una estructura acabada (que no sufrirá más cambios morfológicos) formada por corazón, vasos sanguíneos y sangre (Audesirk, Audesirk y Byers, 2008). Estas partes se organizan en un todo capaz de armonizar ciertas funciones en el cuerpo como son: el transporte, la distribución y la regulación de sustancias en el cuerpo para funcionamiento y protección (Tabla 8).

Tabla 8 *Funciones del SCSH*. Audesirk, et al., (2008).

Función	Descripción
Transporte	Recibe oxígeno de los pulmones para su conducción a los tejidos y allí lo intercambia por dióxido de carbono que será llevado hasta los pulmones para su eliminación; los productos de desecho y sustancias tóxicas producidos por los tejidos serán recibidos por los capilares y conducidos a través de la red venosa hasta los riñones donde gran parte de estas sustancias son filtradas y eliminadas por la orina en un proceso biológico conocido como excreción. Por otra parte, los nutrientes producidos gracias al sistema digestivo son conducidos a todas las células del cuerpo a través del SCSH por la vía arterial; al igual que las hormonas producidas por glándulas del Sistema Endocrino son transportadas a diferentes órganos y tejidos para cumplir una función reguladora activando o inhibiendo ciertos procesos en el cuerpo, finalmente a través del torrente sanguíneo circularán los glóbulos blancos producidos en la médula ósea y en el bazo (diferenciados en el SL) para generar la acción antígeno-anticuerpo y defender el cuerpo de agentes extraños.
Regulación	El flujo sanguíneo que circula de forma “cerrada” dentro de los vasos sanguíneos, permite mantener en el cuerpo un volumen constante que ayuda a regular la temperatura corporal. Las hormonas que viajan a través del plasma sanguíneo y los glóbulos blancos tienen una función reguladora en el cuerpo que no sería posible sin el transporte que se hace de estos en el SCSH Un mecanismo de regulación son las venas quienes funcionan como un reservorio en caso de una eventual pérdida excesiva de sangre.
Protección	Ante la pérdida de sangre por alguna eventualidad, este sistema cuenta con un mecanismo auto-reparador mediado por las plaquetas que ayudan en la coagulación sanguínea a fin de evitar su salida del cuerpo, manteniendo la identidad del sistema al igual que permite mecanismos de defensa para los cuerpos extraños que traten de afectar el cuerpo usando los glóbulos blancos y el transporte de anticuerpos

1.3.1. Ubicación, estructura y funciones del corazón

A nivel anatómico el corazón se ubica hacia la parte posterior del tórax a la altura del pecho, en medio de los pulmones y delante de ellos (Barrett, Barman, Boitano y Brooks, 2010); Hall y Guyton, 2011). Su posición en el cuerpo resulta estratégica debido a que se encuentran protegidos por el tórax; los pulmones cerca al corazón facilitan la circulación pulmonar disminuyendo el gasto cardíaco, lo que explica la reducción en tamaño de la aurícula y el ventrículo derecho a nivel anatómico, al igual que disminuye el recorrido del aire desde la nariz hasta los pulmones; y permiten, mantener una presión acorde para garantizar un flujo sanguíneo continuo (Figura 3).

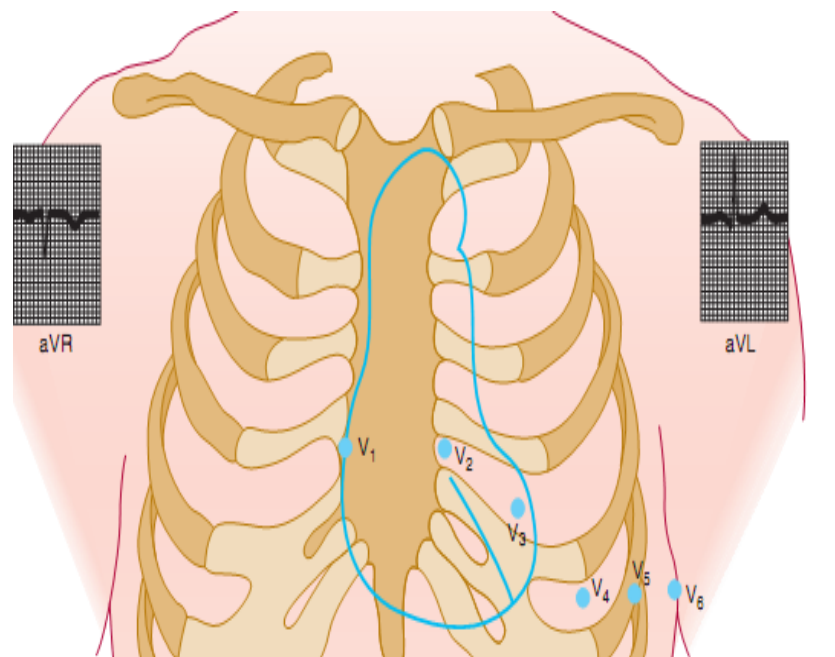


Figura 3. Ubicación del corazón. Fuente: Barret *et al* (2010). p.500

La función principal del corazón es bombear sangre hacia los pulmones y órganos periféricos a través de dos bombas individuales, cada una con dos cavidades (figura 4). Ambas aurículas (izquierda y derecha) reciben y retienen simultáneamente sangre rica y pobre en oxígeno a través de la vena pulmonar y las venas cavas (superior e inferior) respectivamente, luego la pasan a sus ventrículos gracias a la contracción de sus paredes para impulsarla al resto del cuerpo por una nueva contracción a través del ventrículo izquierdo por la vía sistémica (usando la aorta) o a la vía pulmonar por el ventrículo derecho usando la arteria pulmonar (Audesirk *et al.*, 2008).

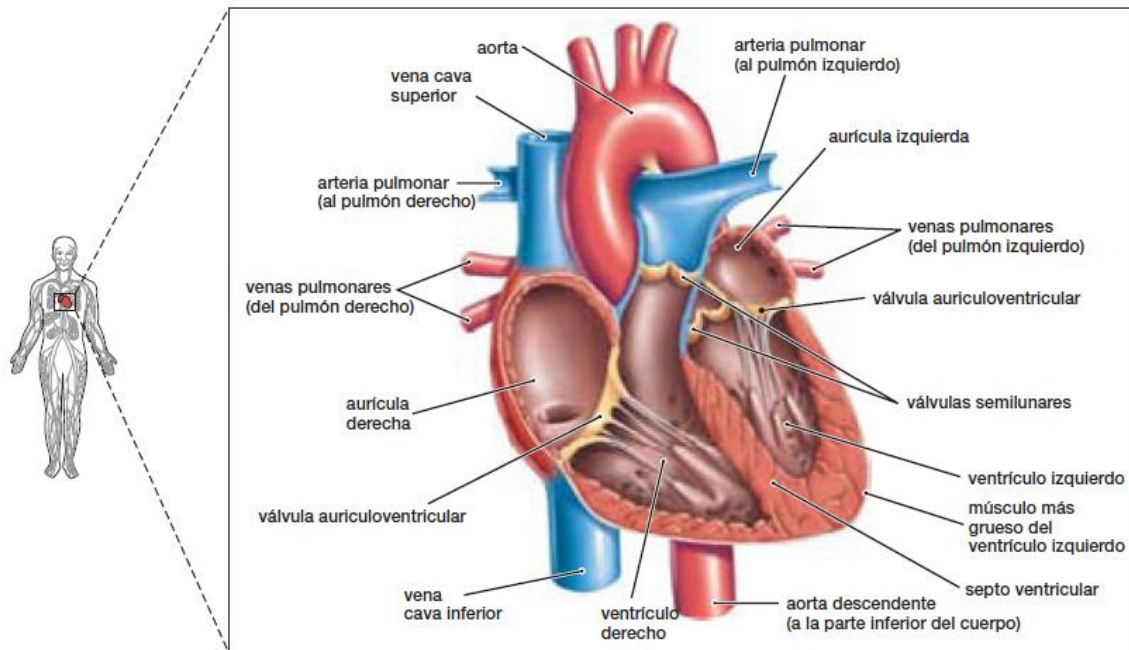


Figura 4 El corazón humano con sus válvulas y vasos: este corazón se dibujó como si estuviera en un cuerpo frente al lector, de manera que la derecha y la izquierda aparecen invertidas. Las paredes del ventrículo izquierdo están engrosadas porque deben bombear sangre a todo el cuerpo. Las válvulas semilunares separan la aorta del ventrículo izquierdo, y la arteria pulmonar del ventrículo derecho. Válvulas auriculoventriculares separan las aurículas de los ventrículos. Fuente: Audesirk *et al* (2008)

El corazón tiene mecanismos especiales que producen una sucesión continuada de contracciones cardíacas denominada ritmicidad, que transmite potenciales de acción (ondas de descarga eléctrica que viajan a través de las membranas del músculo cardíaco modificando su distribución de carga eléctrica) y determina su latido rítmico, formando un ciclo de dos (2) periodos: diástole o período de relajación y sístole o período de contracción, (Hall y Guyton, 2011).

La sangre bombeada desde el corazón, circula por un sistema “cerrado” de vasos sanguíneos a través de una vía de entrega conocida como red arterial y una vía de recolección conocida como red venosa, comunicadas entre sí a través de capilares que se equilibran con el líquido intersticial y permiten el paso de la red arterial a la venosa por efectos de presión y difusión

Otros procesos que contribuyen al flujo sanguíneo son la compresión de las venas por los músculos esqueléticos durante el ejercicio y la presión negativa en el tórax en el curso de la inspiración también empujan la sangre al frente. La resistencia al flujo depende en menor grado de la viscosidad sanguínea, pero sobre todo del diámetro de los vasos, en particular de las arteriolas, en el caso de los capilares es mucho mayor que las arterias y arteriolas. (Barret *et al.*, 2010).

1.3.2. Estructura y función de los vasos sanguíneos

Los vasos sanguíneos pertenecen al SCSH, su función es transportar la sangre hacia los pulmones y los órganos periféricos, consta de tres (3) tipos de vasos principales: arterias, venas y capilares (Tabla 9).

Tabla 9 *Función y características de los vasos sanguíneos.* Hall y Guyton (2011).

Vasos sanguíneos	Función	Características
Arterias	Transportan la sangre con una presión alta desde el corazón hacia los tejidos.	Paredes vasculares fuertes y unos flujos sanguíneos importantes con una velocidad alta.
Arteriolas	Actúan controlando los conductos a través de los cuales se libera la sangre en los capilares.	Paredes musculares fuertes que pueden cerrar o dilatar por completo alterando el flujo sanguíneo en cada lecho tisular en respuesta a sus necesidades.
Capilares	Intercambio de líquidos, nutrientes, electrolitos, hormonas y otras sustancias en la sangre y en el líquido intersticial.	Paredes muy finas y con <i>poros capilares</i> diminutos, que son permeables al agua y a otras moléculas pequeñas.
Vénulas	Recogen la sangre de los capilares y después se reúnen gradualmente formando venas de tamaño progresivamente mayor.	Poseen casi las mismas capas que las venas: la túnica externa o adventicia (tejido conectivo fibroso) y la íntima o endotelio. no posee la capa media (tejido muscular y elástico).
Venas	Funcionan como conductos para el transporte de sangre que vuelve desde las vénulas al corazón sirven como una reserva importante de sangre extra.	Como la presión del sistema venoso es muy baja, las paredes de las venas son finas. Aun así, tienen una fuerza muscular suficiente para contraerse o expandirse y, de esa forma, actuar como un reservorio controlable para la sangre extra, mucha o poca, dependiendo de las necesidades de la circulación. Poseen válvulas que impiden que la sangre se devuelva

1.3.3. Composición de la sangre.

La sangre está compuesta por el plasma y cuerpos celulares. El plasma líquido amarillento pálido con un 90% de agua y un 10% de sólidos, proteínas y sales, en especial cloruro sódico, también hay bicarbonato sódico, fosfatos, potasio y compuestos de los alimentos como glucosa, urea, aminoácidos, ácidos grasos, etc. (Le Vay, 2008, p.247).

Los cuerpos celulares que en ella se encuentran son: eritrocitos (glóbulos rojos), leucocitos (glóbulos blancos) y plaquetas que tienen diferentes funciones (Tabla 10).

Tabla 10 *Componentes de la sangre.* (Audesirk et al., 2008, p.658).

Componentes del plasma (55% de la sangre)	Funciones
Agua	Disuelve otros componentes, hace fluida la sangre.
Proteínas	
Albumina	Mantiene la osmolaridad
Protrombina	Da origen a la trombina, que promueve la coagulación.
Fibrinógeno	Da origen a la fibrina, que promueve la coagulación.
Globulina	Combate las infecciones, transporta sustancias; promueve la coagulación

Sales (Sodio, potasio, calcio, magnesio, bicarbonato, cloro)	Mantiene la osmolaridad y el PH; permite la actividad neuronal y la contracción muscular.
Componentes celulares (45% de la sangre)	
Glóbulos rojos (5,000,000 por mm³)	Transportan oxígeno y algo de dióxido de carbono.
Glóbulos blancos (5,000-10,000 por mm³)	Combaten infecciones y enfermedades.
Plaquetas (250,000 por mm³)	Importantes en la coagulación de la sangre.
Sustancias transportadas por la sangre	
Desechos metabólicos: dióxido de carbono, urea, amoníaco	
Oxígeno: permite la producción de energía utilizando la respiración celular	
Nutrientes: glucosa, aminoácidos, lípidos, vitaminas	
Hormonas: influyen en el crecimiento, el desarrollo y las actividades metabólicas.	

1.3.4. El plasma sanguíneo

Es el líquido orgánico que se distribuye a través de los compartimentos del SCSH capaz de permitir el flujo o movimiento de los componentes celulares y las sustancias transportadas, su volumen es equivalente al 55% del total de la sangre que es cercano al 8% del peso corporal (5.600 ml en un varón de 70 kg). Visto desde la física puede presentar comportamientos laminares o turbulentos, debidos al cambio del área de la sección transversal en los tubos sanguíneos y los cuerpos sólidos suspendidos en él, los cuales afectan la presión y la velocidad de la sangre.

Con respecto a la viscosidad de la sangre, está determinada por los cuerpos suspendidos en el plasma, permitiendo la clasificación de este en fluido newtoniano o no newtoniano. Los fluidos no newtonianos son aquellos que pueden presentar cambios en las condiciones del flujo y sus velocidades (Méndez, Pérez y Paniagua, 2010). Esta clasificación es reiterada por Ortiz, Araya y Vílchez (2013) cuando definen “La sangre es un fluido incompresible, viscoelástico y de comportamiento no newtoniano” (p.67). Sin embargo, se puede considerar la sangre como un fluido newtoniano cuando el diámetro del conducto sanguíneo es mayor que el tamaño de los glóbulos rojos.

Se ha demostrado que es posible modelar la sangre como un fluido homogéneo en los grandes vasos sanguíneos, en los cuales el diámetro es al menos dos órdenes de magnitud mayor que el tamaño de los glóbulos rojos. Los efectos no newtonianos de la sangre son despreciados por dificultar su estudio al no presentar un comportamiento homogéneo cuando el diámetro del vaso sanguíneo considerado es mucho mayor que el diámetro de las partículas sólidas en el fluido sanguíneo (Ortiz *et al.*, 2013, p. 67)

1.3.5. Componentes celulares de la sangre

Los **eritrocitos o hematíes** son las células sanguíneas más abundantes y pequeñas ($7.2\mu\text{m}$), constituyen alrededor del 44% del volumen sanguíneo, tienen forma bicóncava estable a condiciones normales, pudiendo cambiar su forma para pasar por los capilares de diámetro más pequeño conectando la vía venosa y la vía arterial sin alterar su integridad celular, gracias a una red de glicoproteínas transmembranales conocidas como glicoforinas, que entre otras cosas también ayudan a definir los grupos sanguíneos; durante el desarrollo fetal estas células son producidas en el bazo, pero a medida que este se desarrolla su producción es transferida a la médula ósea, en el proceso de maduración de los eritrocitos al interior de la médula, se pierden organelos celulares como: núcleo, complejo de Golgi, mitocondrias y centriolos (lo que hace que estas células se renueven alrededor de cada 120 días dentro del cuerpo) y se sintetiza o fabrica una proteína conocida como hemoglobina que llenará su citoplasma a través de un proceso conocido como eritropoyesis (Megías, Molis y Pombal, 2017).

La hemoglobina (HB) está compuesta por una proteína, la globina, unida a una agrupación química, (*hem*). A su vez, cada molécula de HB está conformada por cuatro (4) subunidades y cada subunidad consiste en un grupo hemo (que contiene un (1) átomo de hierro), responsable del color rojo, unido a una globina. La oxihemoglobina es un compuesto inestable de hemoglobina y oxígeno (obtenido de la vía pulmonar) que hace que la sangre tome un color rojo brillante y de esta forma se reparte a los tejidos a través de la vía arterial, dejando la HB reducida modificando su color, al llegar a los capilares. Las oxihemoglobinas que liberan el oxígeno se unen o asocian al dióxido de carbono (CO_2) liberado en los tejidos a través de los capilares para ser transportados hasta la parte derecha del corazón por la vía venosa y ser expulsados por los pulmones a través de la exhalación. El intercambio que hacen los eritrocitos de oxihemoglobina a carbaminohemoglobina (hemoglobina con CO_2) en los capilares, se da gracias a un proceso de difusión simple, mediado por la reducción en la pared de este tipo de vaso sanguíneo. (Le Vay, 2008).

Los **glóbulos blancos o leucocitos**, son células sanguíneas que se dividen a su vez en granulares y agranulares, tienen núcleo, son incoloros en la sangre fresca, presentan en su citoplasma granos de dos tipos; azurófilos o primarios, que son lisosomas y específicos o secundarios de contenido variado. Su principal función es la defensa del organismo frente a agresiones como los patógenos externos o alteraciones aberrantes internas, estas células tienen la propiedad de atravesar las paredes vasculares de venas, arterias y capilares para actuar de

manera inmediata en los tejidos dañados donde se convierten en macrófagos (Megías, *et al.*, 2017).

Las plaquetas son pequeñas porciones de citoplasma sin núcleo. Están presentes en los mamíferos, pero no en los vertebrados inferiores. Se forman mediante "desgajes" del citoplasma de unas células denominadas megacariocitos que se encuentran en la médula ósea. Su principal misión es cooperar en la aglutinación y coagulación sanguínea (Megías *et al.*, 2017).

1.4. La Teoría General de Sistemas

La TGS, fue planteada en 1950 por el biólogo austriaco Ludwig von Bertalanffy, como el estudio interdisciplinario de los sistemas en general. Su propósito principal es estudiar todos los principios aplicables a los sistemas en todos los niveles de cualquier campo de la investigación y su influencia se extendió en distintas disciplinas. (Tamayo, 1999). Los sistemas son considerados independientes y autónomos, la estructura de cada uno de los sistemas se mantiene y genera sus propias dinámicas internas, a partir de un código operacional o binario a través del cual se realiza un proceso de decantamiento de lo que aprehende cada sistema para sí y a la vez, de lo que desecha, lo que reduce la complejidad con el entorno, se autoreproduce y se autoobserva, produciendo su propia identidad, denominada autopoiesis (Basabe, 2005).

En relación con lo anterior la TGS tiene como objetivo descubrir las dinámicas, restricciones y condiciones de un sistema, así como los principios que puedan resultar de su análisis y que sean aplicables en el estudio de otros sistemas. De otro lado, se presenta como una forma sistemática y científica de aproximación y representación de la realidad, del mismo modo, sirve de orientación hacia una práctica estimulante para formas de trabajo interdisciplinar. Como paradigma científico, es una propuesta holística e integradora, en donde lo importante son las relaciones y los conjuntos que a partir de ellas emergen. La TGS como práctica ofrece un ambiente adecuado para la interrelación y comunicación fecunda entre especialistas y disciplinas.

Para Urteaga (2010) un sistema se entiende como una entidad con límites y con partes interrelacionadas e interdependientes cuya suma es mayor a la suma de sus partes, y donde el cambio de una parte del sistema afecta a todas las demás, por ende, el funcionamiento del sistema completo, por lo que se pueden generar patrones predecibles de comportamiento. En relación con esta definición se puede decir que el sistema a estudiar se encuentra inmerso dentro

de dos sistemas mayores conocidos como suprasistema e hipersistema respectivamente, así mismo, presenta una frontera que permite el intercambio de materia y energía. A continuación, se presentan los principales aspectos de la TGS que se tendrán en cuenta para el diseño de la propuesta de enseñanza.

Tabla 11 *Descripción de los aspectos tomados de la TGS para el constructo teórico.*

Componente/aspecto	Descripción
Hipersistema	Es aquel que rodea el suprasistema, condicionando su existencia, provee recursos y amenazas al suprasistema (ambiente)
Suprasistema	Un organismo, para el caso de la investigación el cuerpo humano.
Sistema	Conjunto de partes que funcionan como un todo, tienen un patrón de organización que definen su existencia, unas corrientes de entradas y salidas, se autorregula, autoorganiza, puede tener propiedades emergentes de acuerdo a sus dinámicas para el caso de la investigación la práctica pedagógica y el SSCH se asumen como un sistema.
Subsistema	Conjunto de elementos que unidos forman el sistema, para el presente estudio el corazón, los vasos sanguíneos y la sangre en el caso del SCSH y para la práctica pedagógica los saberes del docente, de los estudiantes y procesos de enseñanza, aprendizaje y evaluación.
Corrientes de entrada y salida	Es energía, materia e información que ingresa o sale del sistema a través de sus partes, para el SCSH son sustancias químicas, células, hormonas, desechos etc. y para la práctica pedagógica es información científica, políticas públicas conocimientos de otras áreas del saber.
Retroalimentación	El proceso por el cual el sistema se autorregula, manteniendo el equilibrio y la identidad del sistema.
Propiedades emergentes	Es una propiedad que surge a través de las interacciones o interrelaciones de los elementos del sistema.
Patrón de organización	Configuración de relaciones entre los componentes del sistema que determinan su identidad y sus características.

Metodología

Con el fin de evidenciar la ruta seguida para el desarrollo de la presente investigación a continuación se describe: el enfoque, la población de estudio, el diseño, la construcción y aplicación de instrumentos, el mecanismo de recolección, procesamiento e interpretación de los resultados y finalmente la forma en que se diseñó la propuesta didáctica y teórica sistémica para la enseñanza del SCSH.

1.5. Enfoque de investigación

Se empleó un enfoque cualitativo a través del método de teoría fundamentada (TF). El diseño de TF utiliza un procedimiento sistemático cualitativo para generar una teoría (Hernández, Fernández y Baptista. 2006). Así como lo afirman Strauss y Corbin (2002) “En este método, la recolección de datos, el análisis y la teoría que surgirá de ellos guardan estrecha relación entre sí” (p.21). Lo anterior sirvió de base, para identificar el nivel de conocimiento

que tienen los estudiantes sobre la estructura y el funcionamiento del SCSH, lo cual se realizó de forma directa a través de la aplicación de dos instrumentos tipo cuestionario, cuyo diseño se llevó a cabo por etapas. Para la interpretación de la información recolectada, se estableció un sistema de categorización y el análisis con ayuda del software, ATLAS. ti. 7.5.

1.6. Descripción de los sujetos de estudio y su contexto.

La muestra fue seleccionada debido a que en grado séptimo el tema sobre el funcionamiento y estructura del SCSH hace parte de plan de estudios de Ciencias Naturales y el aprendizaje de los sistemas del cuerpo se aborda en el ciclo de formación tres (3) al que pertenece, mientras que para grado décimo ya había sido estudiado en años anteriores razón por la que se busca determinar si el conocimiento de los estudiantes ha evolucionado en el transcurso de los años de escolaridad y si han logrado establecer relaciones con otros temas afines, particularmente en lo relacionado con los fluidos, temática propia de la asignatura de física.

Los sujetos de estudio de la presente investigación corresponden a 402 estudiantes pertenecientes al grado séptimo y décimo, cuyas edades oscilan entre 10 a 18 años, que se encuentran distribuidos en seis cursos por grado y que cursan sus estudios de bachillerato en las Instituciones Educativas Distritales (IED): Carlos Albán Holguín y Carlos Pizarro Leongómez, ubicadas en zona urbana de la localidad séptima (7) de Bosa. Las familias de los estudiantes pertenecen a los estratos socioeconómicos 1 y 2. El nivel académico de algunos padres es de primaria, la mayoría de bachillerato y unos pocos a nivel técnico tecnólogo o profesional. Los estudiantes presentan con frecuencia familias monoparentales con padres separados y madres cabeza de familia.

1.7. Diseño de investigación

En el diseño, se plantearon unas categorías que se entretajan en una relación dinámica, que se retroalimentan en el transcurso del proceso de cada una de las etapas, así mismo, parte de la experiencia personal para plantear una pregunta de investigación y unos propósitos que buscan identificar las concepciones y obstáculos de los estudiantes, consta de un contexto conceptual basado en una revisión bibliográfica, desde la cual nos brindan unos parámetros para el diseño de dos instrumentos tipo cuestionario pregunta abierta, a los cuales se les dio validez mediante la revisión de expertos y la aplicación de una prueba piloto para obtener unos instrumentos finales que fueron aplicados a la muestra seleccionada. Finalmente se

interpretaron, categorizaron y analizaron los resultados para determinar unos hallazgos y plantear una propuesta didáctica y teórica sistemática.

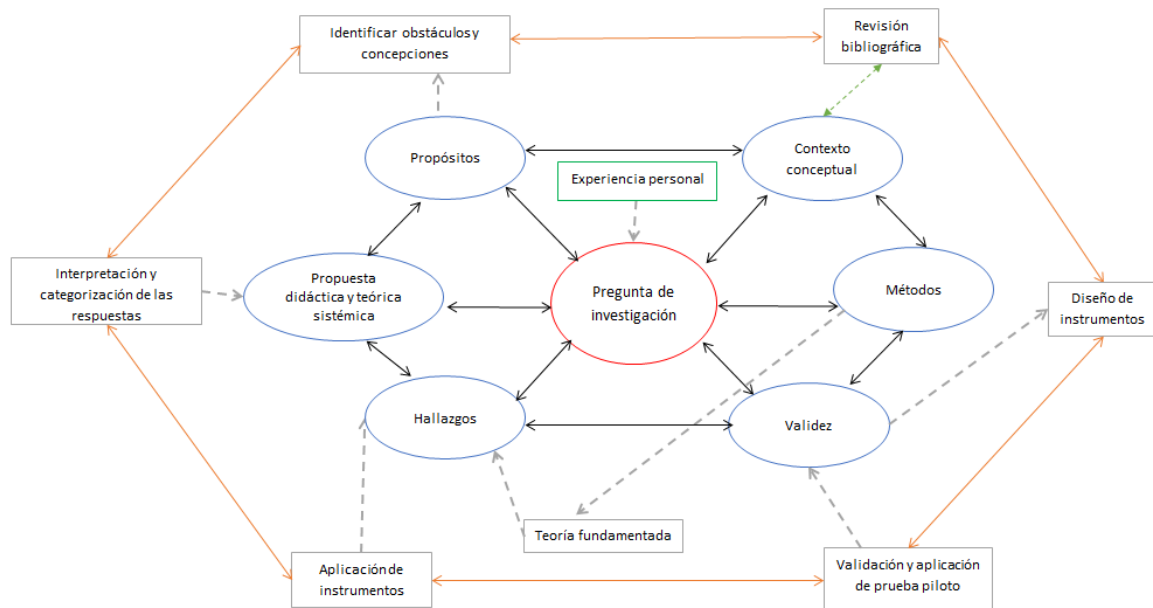


Figura 5 Relaciones dinámicas entre componentes de la investigación (Los rectángulos contienen los factores que modificaban o afectaban la investigación). Fuente: Adecuación de esta investigación a partir de Maxwell (1996)

En el desarrollo de la investigación se plantearon las siguientes etapas: revisión bibliográfica, diseño de instrumentos, validación y aplicación de prueba piloto, aplicación final de los instrumentos, interpretación y categorización de las respuestas, análisis de los resultados, diseño de un constructo sistémico del SCSH y conclusiones.

1.7.1. Primera etapa: revisión bibliográfica

Para la revisión bibliográfica se buscaron documentos relacionados con investigaciones que abordaran el estudio de concepciones de los estudiantes sobre el funcionamiento y estructura del SCSH para ello se consultaron bases de datos como: Google Académico, Proquest, EBSCO, las palabras claves empleadas fueron: sistema circulatorio sanguíneo, sangre, corazón, concepciones alternativas, ideas previas, teoría general de sistemas, obstáculos y en inglés misconceptions and circulatory system.

1.7.2. Segunda etapa: diseño de instrumentos

Los dos instrumentos empleados en esta investigación fueron diseñados conforme a parámetros descritos en algunos documentos encontrados en la revisión bibliográfica como los propuestos en “Los orígenes del Saber” (Giordan y Vecchi, 1995) quienes refieren que en una investigación cuyo propósito es determinar concepciones se deben utilizar varios instrumentos, los cuales pueden contener preguntas abiertas, cerradas o de selección múltiple; estos cuestionarios podrían incluir dibujos y ser aplicados a una fracción de estudiantes o todo un

grupo. Para esta investigación los instrumentos que se emplearon fueron dos cuestionarios de pregunta abierta, cuyo proceso de elaboración se describe a continuación:

- Revisión de la literatura: Estado del arte relacionado con el estudio de las concepciones de los estudiantes asociados al funcionamiento y estructura del SCSH.
- Diseño de dos cuestionarios, algunas de las preguntas fueron elaboradas por el grupo de investigadores, otras adaptadas o retomadas de la bibliografía consultada sobre concepciones acerca del SCSH en estudiantes y docentes de distintos niveles educativos.

1.7.3. Tercera etapa: validación de los instrumentos.

Para la identificación de categorías de análisis se tomaron algunas preguntas encontradas en investigaciones como las de López, *et al.* (2007); Mosquera (2012), Nuñez y Banet (1996); Olmos y Gavidia (2014); Ozgur (2013), Yip (2010), entre otros y se aplicaron de manera informal a estudiantes de grado séptimo y décimo diferentes a la muestra de estudio, también a compañeros docentes de áreas afines y de otras, amigos y familiares. Las preguntas que se muestran a continuación fueron las seleccionadas para el desarrollo de la prueba piloto:

Tabla 12 *Identificación de categorías de análisis*

Componente	Categoría de análisis	Preguntas/ actividades propuestas	Fuente
Estructura del SCSH	Partes del corazón: Estructuras del corazón que identifican los estudiantes	En la silueta del corazón humano representa las partes que lo conforman.	Basada en Catherall (1981).
	Lugares en donde los estudiantes ubican el corazón con respecto a los pulmones y al cuerpo.	En la silueta humana pega el lugar donde crees se ubican los pulmones y el corazón	Idea del grupo a partir de lo encontrado en López, <i>et al.</i> (2007).
	Conductos que los estudiantes reconocen como vías para la circulación sanguínea	¿Por qué conductos circula la sangre?	Elaborada por el grupo a partir de la bibliografía consultada.
	Componentes que asocian los estudiantes a la estructura de la sangre.	¿De qué está hecha la sangre?	Elaborada por el grupo a partir de la bibliografía consultada
	Los Componentes que asocian los estudiantes al SCSH	¿Cómo está formado el SCSH?	Tomada de Olmos y Gavidia (2014)
Función del SCSH	Modelos de circulación sanguínea que expresan los estudiantes	Dibuja una silueta humana, en ella ubica el corazón y luego realiza el recorrido que haría una gota de sangre que sale del corazón y pasa por el dedo del pie. Describe el recorrido	Pregunta adaptada de la realizada por Catherall (1981), por Chi (1994) y López, <i>et al.</i> (2007)
	Funciones que le otorgan los estudiantes a la sangre	¿Para qué sirve la sangre?	Mosquera (2012)

Creencias de los estudiantes sobre los lugares de producción sanguínea.	¿Dónde se produce o fabrica la sangre?	Mosquera (2012)
Concepciones que tienen los estudiantes en torno a las funciones del SCSH.	¿Para qué me sirve el SCSH?	Elaborada por el grupo a partir de la bibliografía consultada
Reconocimiento de la sangre como un fluido	¿Qué entiendes por fluido?	Elaborada por el grupo a partir de la bibliografía consultada

Las preguntas anteriores fueron sometidas a una validación por expertos con formación en ciencias, quienes les realizaron ajustes, luego se llevó a cabo un pilotaje con estudiantes de grado séptimo y once de los colegios: Villas del Progreso y Cedid San Pablo respectivamente, los cuales fueron seleccionados por presentar características similares en edad y grado de escolaridad respecto a la muestra principal del estudio, el desarrollo del pilotaje permitió identificar si los estudiantes presentaban dificultades con las preguntas, detectar si habían enunciados confusos o faltaba claridad en la instrucción con el fin de realizar los ajustes pertinentes.

1.7.3.1. Ajustes a los instrumentos.


A partir de la información obtenida durante el pilotaje se realizaron los ajustes respectivos a los dos instrumentos, se afinó la metodología que se implementaría para la recolección de datos y por último se consolidaron los instrumentos finales teniendo en cuenta la intencionalidad en cada pregunta y la respuesta esperada, tal como está descrito en las tablas 13 y 14.

Tabla 13 Preguntas del instrumento 1

PREGUNTA	Intención	Repuestas esperadas
Señala todos los componentes que creas hacen parte del sistema circulatorio Sanguíneo humano	Identificar a nivel de estructura: ¿Cuáles son los componentes que identifican los estudiantes como parte del SC?	Corazón, Venas, Arterias Capilares, Sangre
En la silueta humana ubica el corazón y los pulmones	Identificar si los estudiantes establecen una relación entre corazón y pulmones. Conocer si los estudiantes conocen la ubicación de estos órganos en su cuerpo.	Que pegarán corazón y pulmones juntos (corazón delante de pulmones) Que ubicaran estos órganos en la región correcta
En el recuadro dibuja un corazón humano y señala las partes que lo componen	Identificar como representan el corazón los estudiantes, específicamente en lo relacionado a: Nivel de representación Forma del corazón Estructuras internas y externas que relacionan con el corazón	Que los estudiantes identifiquen las principales vías de salida y retorno de la sangre del corazón, algunas estructuras como aurículas y ventrículos, venas y arterias

¿De qué color es la sangre y porque tiene ese color?	Se pretende determinar las concepciones que tienen los estudiantes acerca del color de la sangre, y que explicación pueden dar acerca del porqué tiene ese color.	El color de la sangre es rojo, debido a que los glóbulos rojos presentan un pigmento rojo llamado hemoglobina
¿Porque conductos circula la sangre?	Identificar que conductos por donde circula la sangre asocian al SC Conocer si los estudiantes entienden que es un conducto y cuáles son los vasos sanguíneos	Venas Arterias Capilares
¿Para qué sirve el SCSH?	Evidenciar que funciones asocian los estudiantes a la estructura del SCSH	Defensa del cuerpo Transportar de: nutrientes, desechos, gases. Regulación hormonal y de temperatura

Tabla 14 Preguntas del instrumento 2

Pregunta	Intención	Repuestas esperadas
 En la siguiente silueta humana hay una gota de sangre en el corazón. Por favor traza TODO el camino que debería seguir la gota a través del SCSH desde que sale del corazón, pasando por el pie, usa flechas para ello (→ → →). Describe el recorrido que acabaste de pintar	Identificar el modelo de circulación sanguínea que tienen los estudiantes por medio de la representación de la trayectoria de la sangre a través del sistema circulatorio sanguíneo en el cuerpo humano y la correspondencia de estos modelos con el modelo científico de circulación.	Representación de un modelo de doble circulación (sistémica y pulmonar) con recorrido correcto de la sangre entre el corazón, los pulmones y el pie
¿De qué está hecha la sangre?	Conocer las creencias de los estudiantes acerca de la composición de la sangre.	La sangre está compuesta de plasma, glóbulos rojos, blancos y plaquetas. El plasma está compuesto por agua, minerales, sales, también hay sustancias de transporte como hormonas, nutrientes oxígeno y dióxido de carbono
¿Dónde se produce la sangre?	Conocer las ideas de los estudiantes sobre donde se produce la sangre.	Los componentes celulares de la sangre se producen en la médula ósea, y los componentes plasmáticos proteicos, hormonales y acuosos provienen de otros sistemas como el endocrino y el digestivo
¿Qué fluidos producimos, tenemos e intercambiamos como seres humanos?	Identificar las sustancias que los estudiantes relacionan con fluidos. Conocer si los estudiantes relacionan la sangre con los fluidos.	Los estudiantes reconocen que es un fluido y los fluidos que produce el cuerpo. Los estudiantes incluyen la sangre dentro del grupo de fluidos del cuerpo
¿Para qué sirve la sangre? (Tomada de Mosquera, 2012)	Conocer las concepciones de los estudiantes sobre la función de la sangre.	La sangre sirve para transportar: oxígeno, dióxido de carbono, nutrientes y distribuye hormonas.
¿Cómo hace la sangre para fluir a través del SCSH?	Identificar qué funciones relacionan los estudiantes con el corazón y los tubos sanguíneos.	Los estudiantes identifican la función del corazón como una máquina que contribuye a la circulación de la sangre

1.7.4. Cuarta etapa: aplicación de los instrumentos

Los instrumentos finales fueron aplicados por separado, en las clases regulares de Biología a los 6 cursos de séptimo (con un total de 197 estudiantes) del colegio Carlos Albán Holguín y a los 6 cursos de décimo (con un total de 205 estudiantes) en la asignatura de física del colegio Carlos Pizarro Leongómez.

1.7.5. Quinta etapa: interpretación y categorización de las respuestas

1.7.5.1. Sistematización de los resultados

Los resultados fueron transcritos en su totalidad y organizados en una matriz de análisis en Excel en donde a cada estudiante que participó se le asignó un código de identificación y fueron consignadas las respuestas dadas con respecto a cada uno de los ítems de los dos instrumentos (anexo 14).

1.7.5.2. Categorización de las respuestas.

Los datos obtenidos fueron tabulados y codificados en Excel en su totalidad, posterior a ello se procedió a hacer un análisis por pregunta simultáneo para los dos grados (séptimo y décimo), utilizando ATLAS. ti. para organizar la información en tablas y gráficos que dan cuenta del número y el porcentaje de estudiantes que emitieron respuestas que coinciden o se ubican dentro de cada categoría esto con el fin de poder realizar inferencias, establecer diferencias entre los grados y determinar tendencias en las respuestas de los estudiantes.

Para los diagramas (dibujos del corazón y modelos de circulación sanguínea) la clasificación se hizo de forma manual. En lo concerniente al análisis de la pregunta asociada con la elaboración de un modelo explicativo sobre el recorrido de la sangre en el cuerpo fue necesario el análisis individual de cada uno, luego fueron clasificados de acuerdo a unos criterios donde se analizó la salida y retorno de la sangre al corazón, el número de circuitos circulatorios y el patrón de circulación sanguínea, por último, se compararon los modelos con el modelo científico de circulación de la sangre.

1.7.5.3. Interpretación de las respuestas.

Teniendo en cuenta que se empleó un enfoque cualitativo a través del método de la TF, esta propone como metodología dos estrategias para la interpretación y análisis de la información: el método de comparación constante en el cual el investigador recoge, codifica y analiza los datos en forma simultánea, para generar teoría y el muestreo teórico se realiza para describir categorías y sus propiedades y sugerir las interrelaciones dentro de una teoría (Vasilachis et al., 2006). Se utilizaron referentes de tipo teórico para interpretar los resultados los cuales fueron analizados a partir de las tendencias o frecuencias de las repuestas y las dificultades observadas en los estudiantes para explicar fenómenos asociados al funcionamiento y estructura del SCSH.

1.7.6. Sexta etapa: análisis de la información recopilada

El análisis de la información se realizó teniendo en cuenta los porcentajes de estudiantes para cada una de las categorías establecidas durante la interpretación de los mismos y se compararon con los referentes teóricos. Finalmente se establecieron inferencias sobre los resultados obtenidos para cada pregunta, las cuales sirvieron de fundamento para el diseño de una propuesta didáctica y teórica sistémica para la enseñanza del SCSH.

1.7.7. Séptima etapa: diseño de una propuesta didáctica y teórica sistémica de enseñanza del SCSH

Una vez realizado el análisis de los datos obtenidos, se establecieron las concepciones de los estudiantes y los obstáculos epistemológicos subyacentes los cuales sirvieron de insumo para el planteamiento de la propuesta que integra los resultados obtenidos y la información consultada para el desarrollo de esta investigación.

1.7.8. Octava etapa: conclusiones

En esta fase fueron contrastados los resultados obtenidos del análisis de los instrumentos aplicados a la muestra de estudiantes, los objetivos planteados para la investigación, con la finalidad de verificarlos y validarlos. Para finalmente determinar las conclusiones de la investigación y plantear unas prospectivas para investigaciones futuras en este mismo campo.

Análisis e interpretación de la información recolectada

A continuación se presentan los resultados en relación con los conocimientos que sostienen los estudiantes de grado séptimo y décimo acerca de la estructura (anatomía) y el funcionamiento (fisiología) del SCSH; posteriormente se describen los modelos explicativos

en donde representaron el recorrido de la sangre al interior del cuerpo, así como, el análisis de su nivel de similitud con el modelo científico de la circulación sanguínea, luego se identifican los principales obstáculos que subyacen a las concepciones de los estudiantes sobre el funcionamiento del SCSH, finalmente se presenta un constructo teórico diseñado desde una perspectiva sistémica el cual constituye una propuesta para la enseñanza de este tema en la escuela.

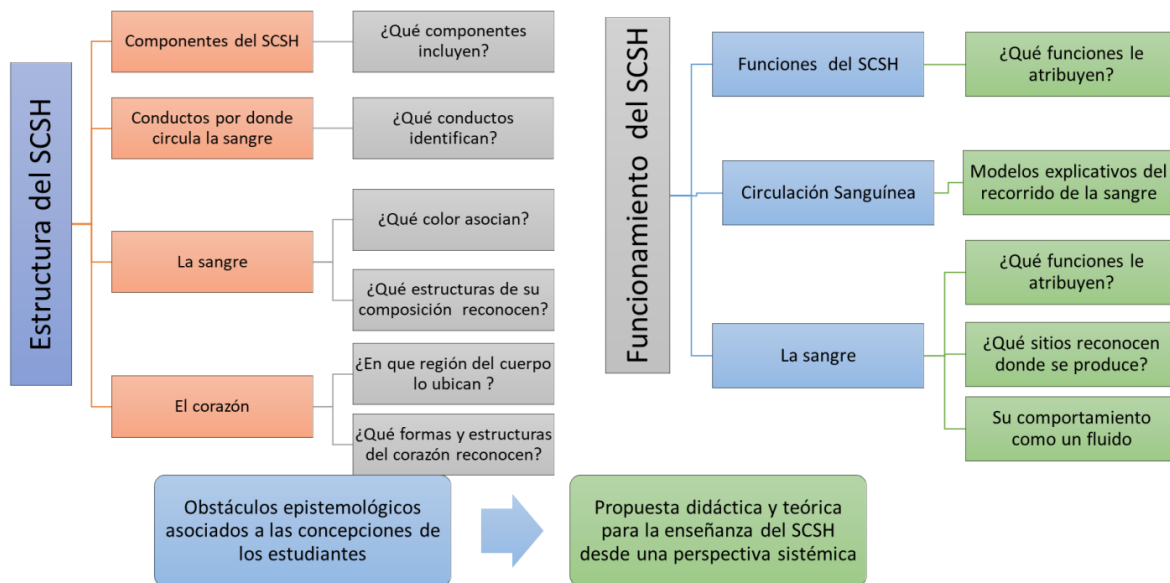


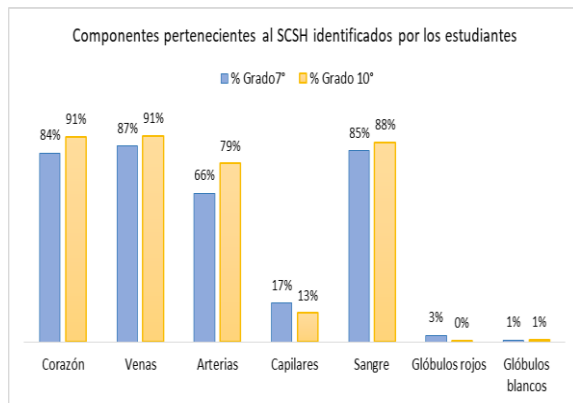
Figura 6. Categorías de análisis de la información recopilada

1.8. Componentes del SCSH según los estudiantes

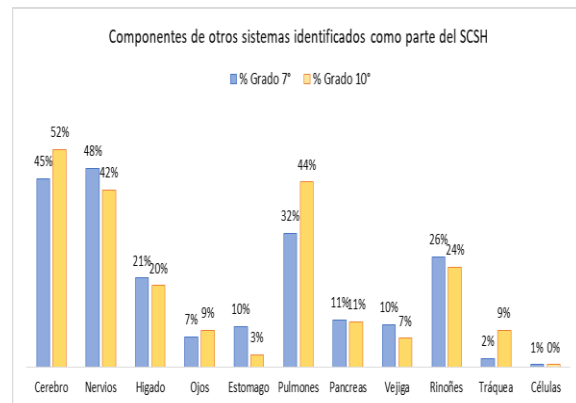
Con el fin de indagar si los estudiantes de séptimo y décimo reconocían los componentes del SCSH, se les pidió que “señalaran los que creían hacían parte de este sistema”, en el listado de respuestas se incluyeron algunos que no pertenecían al SCSH. Los resultados (Gráfica 1) muestran que el (84%) de séptimo y el (91%) de décimo identifican el corazón, el (87%) y (91%) las venas, el (85%) y (88%) la sangre, en menor proporción aparecen las arterias (66% y 79%), sin embargo, en cuanto a los capilares solamente el (17%) de séptimo y el (13%) de décimo los señalaron, lo cual evidencia un bajo reconocimiento de estas estructuras asociadas con el intercambio de sustancias al interior del organismo.

En cuanto a la inclusión de componentes pertenecientes a otros sistemas, se encontró que para grado séptimo en primer lugar el (48%) identificó los nervios, en segundo lugar, el cerebro (45%), en tercer lugar, los pulmones (32%) y en cuarto lugar los riñones (26%), para décimo

el primer lugar, lo ocupó el cerebro (52%), en segundo lugar, pulmones (44%), seguido de nervios (42%) y en cuarto lugar los riñones (24%) ver Gráfica 2.



Gráfica 1 Componentes pertenecientes al SCSH que fueron identificados por estudiantes de grado séptimo y décimo



Gráfica 2 Componentes de otros sistemas que fueron incluidos por los estudiantes de séptimo y décimo como parte del SCSH.

Los resultados muestran que un alto porcentaje de estudiantes de séptimo y décimo incluyen los nervios y el cerebro como componentes del SCSH, si bien estas estructuras pertenecen a sistemas como el nervioso y el respiratorio cuyas funciones están estrechamente relacionadas con las del SCSH, su inclusión es un error conceptual que al presentarse en ambos grados evidencia un desconocimiento o una confusión en cuanto a las funciones de estos componentes. Una de las posibles explicaciones de este error puede estar asociada con el material didáctico usado en la enseñanza, los esquemas observados en algunos libros o aquellos disponibles en la web, donde incluyen órganos como el cerebro sin alguna aclaración al respecto, en este sentido Ozgur (2013) y Carrascosa (2005) mencionan que una fuente de concepciones alternativas son los libros de texto utilizados para la enseñanza y los medios de comunicación, ya que, en ocasiones presentan errores conceptuales.

Con respecto a lo anterior una dificultad es que las interpretaciones dadas por los estudiantes a las figuras presentadas en los libros, contradicen el conocimiento científico lo cual conlleva a que en ocasiones se refuercen algunas concepciones contrarias a las científicas, esto podría llegar a ser un obstáculo de origen cultural o didáctico asociado con la simbología del lenguaje visual (utilizado en los libros de texto o en internet) y a la forma en que se divulga el saber científico (Edelsztein y Galagovsky, 2017; Pozo y Gómez 2006).

El análisis de algunos dibujos sobre la representación del recorrido de la sangre en donde se incluía el cerebro, evidencia algunas concepciones como el creer que la sangre sale del cerebro; asimismo, cuando se comparan las representaciones de los estudiantes con esquemas de los libros de texto usados en la enseñanza, se observan ciertas similitudes puesto que también

incluyen órganos distintos al SCSH, esto nos permite inferir que los esquemas de los textos escolares pueden conducir a interpretaciones contrarias a las explicaciones científicas (Figura 7)

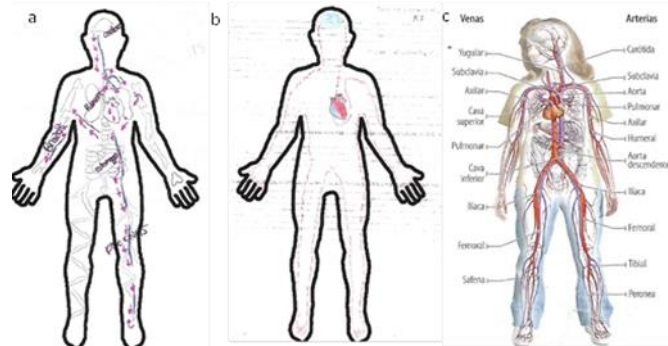


Figura 7. Representación del recorrido de la sangre en el cuerpo por parte de un estudiante de grado séptimo a) y de grado décimo (b) y de libro de texto (c) en todos se incluye el cerebro Fuente: Elaboración en esta investigación

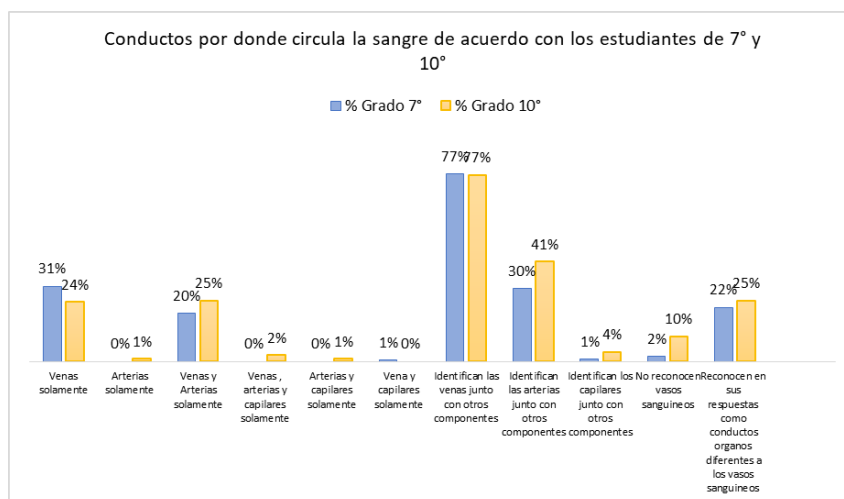
En cuanto, al análisis de algunas respuestas se evidencia que los estudiantes atribuyen funciones propias del corazón al cerebro como la de impulsar la sangre, desconociendo que anatómicamente no está diseñado para ello, estos errores se pueden corroborar en algunas descripciones dadas por los estudiantes al representar el recorrido de la sangre por el cuerpo humano:

CP-1004-28 “la sangre sale del corazón hacia el cerebro el cual hace llegar la sangre a las extremidades como es los brazos manos piernas pies, etc.”.

CAH-701-25 “la sangre sale del corazón pasa al cerebro, el cerebro da la orden de circular por las venas de los brazos, de los brazos pasa a las piernas, pasa de pierna a pierna, brazo a brazo, corazón, los intestinos, etc.”.

1.9. Conductos por donde circula la sangre según los estudiantes

Para establecer si los estudiantes identifican los conductos por donde circula la sangre, se les preguntó *¿Por qué (cuáles) conductos crees que circula la sangre dentro del SCSH?* Las respuestas dadas mostraron que tanto séptimo como décimo asocian en primera instancia las venas; en el caso de las arterias, fueron reconocidas solo junto con otros componentes como conductos por donde circula la sangre con un porcentaje del (31%) para séptimo y (43%) para décimo (Gráfica 3).



Gráfica 3 Reconocimiento de los vasos sanguíneos por parte de los estudiantes de grado séptimo y décimo.

Estos resultados confirman que el reconocimiento de los capilares y de las arterias particularmente fue bajo en comparación con las venas. Una situación similar fue reportada por Olmos y Gavidia (2014), quienes afirman que al solicitar a estudiantes de distintos niveles educativos (bachillerato y universidad) en España que enumeraran los componentes del SC; encontraron que las respuestas más habituales eran “venas, arterias y corazón” y que en menor proporción se incluían los capilares sanguíneos y linfáticos. Para esta investigación algunas de las respuestas que coinciden con lo reportado por los autores antes mencionados son:

CP-1002-27 “*pues hasta donde yo entiendo los únicos conductos por los cuales recorre la sangre son por todo tipo de venas*”

CAH-702-20 “*por las venas, porque si no tuviéramos las venas, la sangre estaría siempre en el corazón*”

Las anteriores respuestas permiten inferir que los estudiantes desconocen que además de las venas, existen otros conductos por donde puede circular la sangre como las arterias y los capilares, sin embargo, otro hallazgo tiene que ver con confusiones en cuanto a la función que desempeñan arterias y venas, hecho que se evidencia en algunas respuestas:

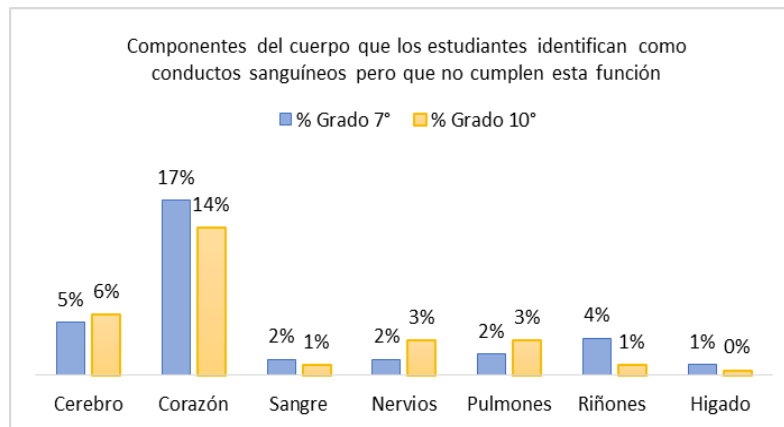
CP-1005-04 “*la arteria es la que transporta o circula el oxígeno y las venas circulan los óvulos sanguíneos*”

CP-1005-05 “*por las arterias y venas ... por las arterias circula el oxígeno y por las venas sangre a todo el cuerpo*”

CAH702-21 “*pues yo creo que la sangre circula por las venas y las arterias, que la función de las dos es llevar sangre a todas las partes del cuerpo*”

De igual manera existe una relación con lo reportado por Catherall (1981) quien al preguntar a los estudiantes de escuelas primaria y secundaria en Canadá sobre la función de las venas evidenció que estos presentaban confusiones para distinguir entre ellas, la mayoría pensaban que la sangre fluía hacia y desde el corazón solo a través de las venas. Por otra parte también

se evidencia que algunos estudiantes asocian la función de las arterias solo al transporte de oxígeno mientras que las venas al transporte de sangre, estas ideas mantienen cierto parecido con las de Praxágoras (340 AC), quien a pesar de diferenciar venas de arterias, afirmó que las arterias eran solo tubos por donde fluía el aire o pneuma (espíritu vital) tomado desde los pulmones; lo anterior llevó a concebirlas solo como tubos que conducían el aire (Uribe *et al.*, 2010).

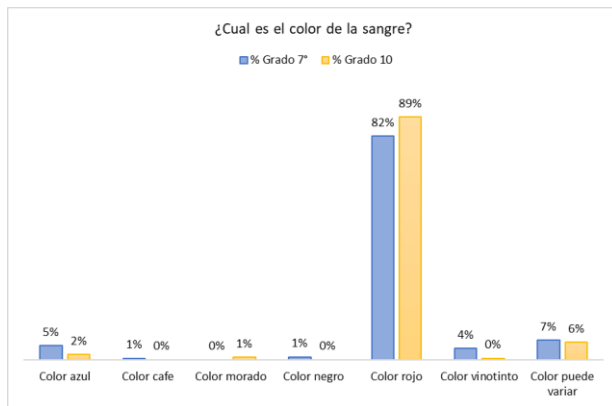


Gráfica 4 Componentes identificados como conductos sanguíneos que no cumplen con esa función.

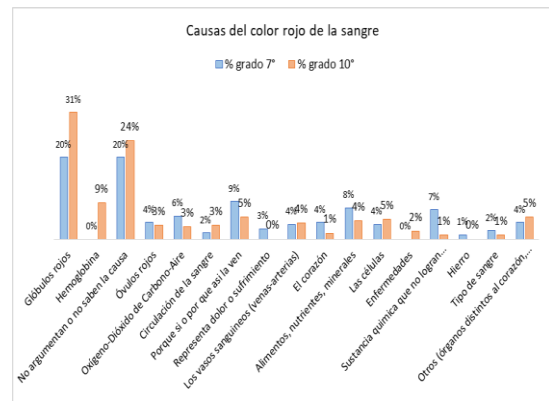
La gráfica 4 muestra algunas estructuras diferentes a los vasos sanguíneos asociadas por los estudiantes con la función de transportar la sangre, como corazón, cerebro, nervios y pulmones, de esta forma nuevamente se evidencia el desconocimiento de las funciones de estos componentes por parte de los estudiantes, lo que podría asociarse al predominio de un pensamiento causal y lineal por encima de un pensamiento formal y sistémico (Pozo y Gómez, 2006), es decir, se les dificulta establecer relaciones entre los distintos sistemas lo cual puede favorecer el reconocimiento de las interrelaciones que establecen los distintos órganos en el funcionamiento del cuerpo.

1.10. El color de la sangre según los estudiantes

Para identificar las concepciones respecto al color de la sangre se les preguntó *¿De qué colores y por qué tiene ese color?*, el (82%) de séptimo y el (89%) de décimo afirmaron que era rojo, mientras que, en proporciones bajas relacionaron otros colores como azul, vino tinto, negro, verde y café. Algunas de las respuestas estuvieron asociadas a que la sangre podía cambiar de color (7%) y (6%) respectivamente (Gráfica 5)



Gráfica 5 Colores de la sangre según los estudiantes de grado séptimo y décimo.



Gráfica 6 Causas de los colores de la sangre según los estudiantes de grado séptimo y décimo

Por otra parte, al profundizar en las razones dadas por los estudiantes sobre el *¿porqué del color de la sangre?*, se encontró que el (31%) de décimo mencionó que se debía a los glóbulos rojos, mientras que, el (24%) no dio explicación alguna, (9%) asoció el color rojo con la hemoglobina. Para los estudiantes de séptimo el comportamiento de las respuestas fue diferente, (20%) no argumentó las razones del color de la sangre, solamente (20%) asocio el color rojo a los glóbulos rojos y finalmente ninguno nombró la hemoglobina como la sustancia causante de este color (Gráfica 6).

Las repuestas de los estudiantes en cuanto al color de la sangre muestran que la mayoría reconocen el color rojo, sin embargo, algunos sostienen concepciones, como que, *la sangre puede cambiar de color* dependiendo de aspectos como: su ubicación dentro o fuera de las venas, el tipo de alimentos que ingieren las personas, el contacto con el oxígeno, el grupo sanguíneo o la presencia de enfermedades, entre otras. A continuación, se presentan algunos ejemplos de este tipo de respuestas:

CAH-701-23: “azul y cuando sale de donde la tenemos coge oxígeno y se vuelve roja”

CAH-704-30: “yo creo que la sangre es de color verde porque así se ve por dentro y al hacer contacto con el oxígeno se torna roja por los glóbulos rojos”

CP-1001-16: “es de color rojo, en el cuerpo cambia a azul porque las venas y arterias hace que se vean así”.

CAH-703-11: “la sangre es roja porque por el tipo de sangre y hay también varias por ejemplo también existe la sangre azul”.

Las anteriores afirmaciones permiten inferir la existencia de concepciones de origen sensorial (Pozo y Gómez, 2006) puesto que, los estudiantes para argumentar su idea sobre el cambio se fundamentan en una interpretación simplista y causal en donde el color de la sangre está determinado solo por el aspecto de la misma, por esta razón se presentan explicaciones como *“yo creo que la sangre es de color verde porque así se ve por dentro”*, sin embargo, cuando el modelo cambia o la percepción del mismo objeto se hace diferente es decir la sangre ya no se ve verde sino roja, los argumentos del cambio se justifican desde reglas de inferencia causal asociadas solamente al registro visual *“creo que es azul y al salir del cuerpo se torna roja por el oxígeno creo”*.

El análisis de las respuestas muestra algunas características propias del pensamiento y de los esquemas conceptuales simples con que los estudiantes interpretan el mundo, de acuerdo con Pozo y Gómez (2006) la utilización de estas reglas simplistas se debe a que en la vida cotidiana actúan como una forma adaptativa, permitiendo una interpretación simple de la realidad en donde se reduce la complejidad del mundo sensorial a unos pocos factores, lo cual se hace evidente cuando los estudiantes afirman que la sangre tiene un color característico (ya sea rojo, azul o verde) debido a que de esta forma la ven (causalidad lineal), estas ideas no permiten que el estudiante comprenda que existe una relación entre la luz que ilumina el objeto y el ojo que lo percibe (causalidad compleja), sino que le atribuyen el color rojo o azul como una propiedad absoluta (la sangre es azul o roja porque así la ven), este mecanismo de comprensión de la realidad por parte de los estudiantes (pensamiento intuitivo) difiere del pensamiento formal que se fundamenta en un análisis sistemático y riguroso de los fenómenos.

La problemática sobre el pensamiento causal-lineal ya había sido referenciada por Vosniadou (como se citó en Pozo y Gómez, 2006) quien menciona que existen unos supuestos subyacentes a las teorías de los estudiantes en las cuales se tiende a asumir que el mundo es tal como lo vemos y lo que no vemos no existe, o al menos resulta difícil de concebir, estos supuestos caracterizan el pensamiento ingenuo del estudiante y son producto de ciertas predisposiciones innatas al sistema cognitivo humano o la utilización de esas reglas de inferencia mencionadas por Pozo y Gómez (2006) de carácter universal, tal vez esto explica por qué estas ideas del color azul de la sangre que mantienen hoy en día los estudiantes ya se han presentado en otros contextos, un ejemplo de ello es el surgimiento de expresiones como *“príncipe azul”* o *“personas de sangre azul”* utilizadas en España en épocas antiguas para referirse a gente que pertenecía a la nobleza o a una categoría social elevada (García, 2014).

1.11. La composición de la sangre según los estudiantes

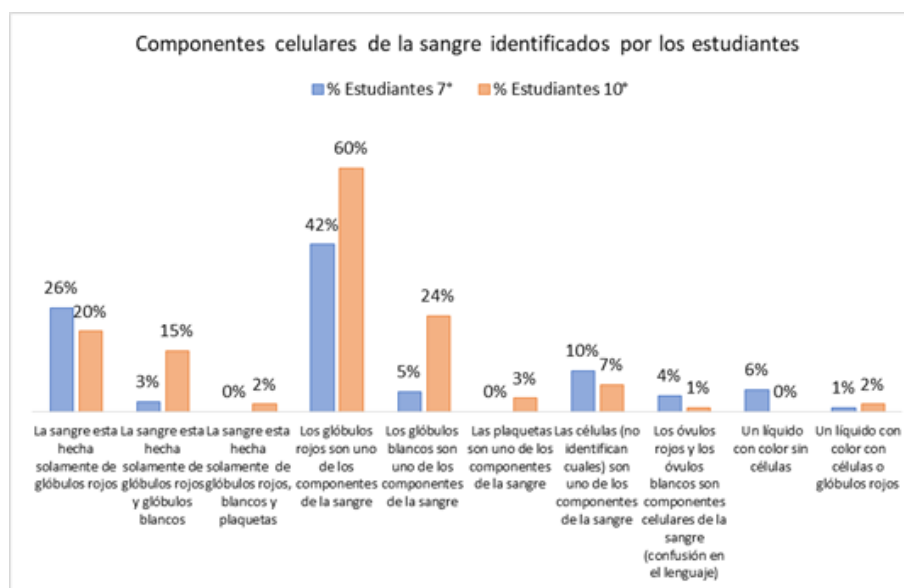
Con respecto a la composición de la sangre al preguntarles “de qué estaba hecha” se encontró que, en cuanto a sus estructuras celulares el (60%) de décimo y el (42%) de séptimo reconocen como uno de sus componentes los glóbulos rojos, mientras que el (24%) de décimo y el (6 %) de séptimo los glóbulos blancos, en contraste en el caso de las plaquetas solamente el (3%) de grado décimo las incluyó, mientras que ningún estudiante de séptimo las nombró (Gráfica 7). La anterior situación evidencia un desconocimiento generalizado de las plaquetas. Algunas de las respuestas dadas por los estudiantes en donde solo mencionan algunos componentes celulares de la sangre fueron las siguientes:

CAH-701-22 “yo creo que está hecha de glóbulos rojos”

CAH-702-6 “para mí la sangre está hecha de los glóbulos rojos

CP-1001-10 “de óvulos rojos “...”color rojo, porque está conformada por óvulos rojos.

CP-1002-03 “la sangre está compuesta por glóbulos blancos y rojos”.



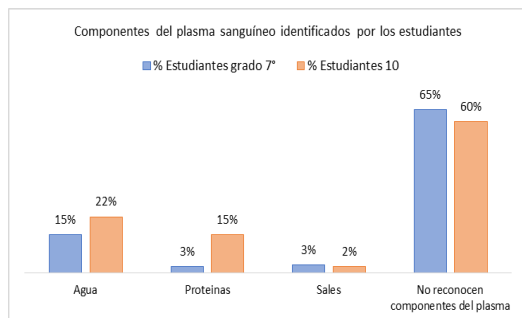
Gráfica 7 Componentes celulares de la sangre según los estudiantes de grado séptimo y décimo.

De acuerdo con la tendencia en las respuestas con respecto al reconocimiento de los componentes celulares sanguíneos, en ambos grados predomina la identificación de los glóbulos rojos por encima de los blancos y las plaquetas, esto podría sugerir que los estudiantes le otorgan mayor importancia a los glóbulos rojos a pesar de que las tres estructuras celulares cumplen procesos fundamentales para el organismo como el transporte de oxígeno, la defensa y la coagulación de la sangre.

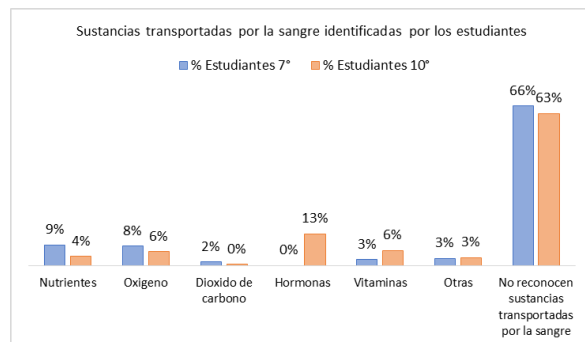
El desconocimiento de las plaquetas también fue un obstáculo histórico al que se enfrentaron los investigadores en el pasado, Izaguirre y Micheli (2005) enunciaron que el problema de la composición de la sangre solo pudo ser resuelto cuando aparecieron nuevas herramientas científicas de observación, experimentación y medición como el microscopio, los aparatos de cuantificación, los colorantes y los reactivos químicos, esta situación permite inferir que la difícil observación de estas estructuras por parte de los estudiantes podría dificultar la comprensión de su existencia y función.

Por otra parte, en cuanto a la identificación de las sustancias químicas que conforman el plasma sanguíneo (parte líquida de la sangre), se esperaba encontrar respuestas como agua, proteínas y sales minerales, sin embargo, se evidencia que solamente el (22%) de décimo y el (15 %) de séptimo relacionan específicamente el agua como componente de la sangre y que no es significativo el reconocimiento de otras sustancias como proteínas y sales (Gráfica 8).

En lo concerniente, al análisis de los componentes que se pueden considerar como sustancias de transporte del SCSH (nutrientes, oxígeno, dióxido de carbono y hormonas); se observa que (66%) de séptimo y (63%) de décimo no hicieron alusión a estas sustancias, en algunos casos, mencionaron otras como: alimentos, ADN, átomos, moléculas, partículas, vasos sanguíneos, tinta, orina y otros líquidos (Gráfica 9).



Gráfica 8 Componentes del plasma sanguíneo según los estudiantes de grado séptimo y décimo



Gráfica 9 Sustancias transportadas por la sangre según los estudiantes de grado séptimo y décimo.

Los estudiantes de ambos grados mostraron un bajo reconocimiento de los componentes químicos que forman el plasma sanguíneo y las sustancias que se transportan en este líquido en comparación con el reconocimiento de los componentes celulares específicamente los glóbulos rojos. Este resultado coincide con lo planteado por Arnaudin y Mintzes (1985) quienes reportan que en estudiantes de secundaria existe una tendencia a presentar concepciones asociadas con que la sangre está constituida solamente por células suspendidas en un líquido rojo o solamente por glóbulos rojos que carecen de líquido intercelular.

Teniendo en cuenta lo reportado anteriormente y a partir del análisis de los resultados obtenidos podemos inferir que los estudiantes de séptimo y décimo carecen de una comprensión del plasma sanguíneo en su totalidad como un líquido en el cual se encuentran algunas células suspendidas y sustancias químicas importantes para el funcionamiento del organismo. Esta dificultad está asociada con la dificultad en la identificación de estructuras microscópicas (celulares y moleculares) que cumplen funciones fundamentales para el cuerpo, se podría decir, que la comprensión de lo microscópico constituye un obstáculo constante en la historia de la ciencia y la enseñanza, que solo ha podido solucionarse en la medida que los avances científicos y tecnológicos han permitido la invención de instrumentos y técnicas que favorecen su observación (Izaguirre y Micheli, 2005).

1.12. La ubicación del corazón y los pulmones en el cuerpo de acuerdo con los estudiantes

Para observar cómo ubicaban los pulmones y el corazón dentro del cuerpo se les pidió que incluyeran estos órganos dentro de una silueta humana y explicaran las razones del porqué de su ubicación, los esquemas obtenidos fueron clasificados teniendo en cuenta la posición del corazón con respecto a los pulmones de la siguiente manera (Figura 8a, b y c).

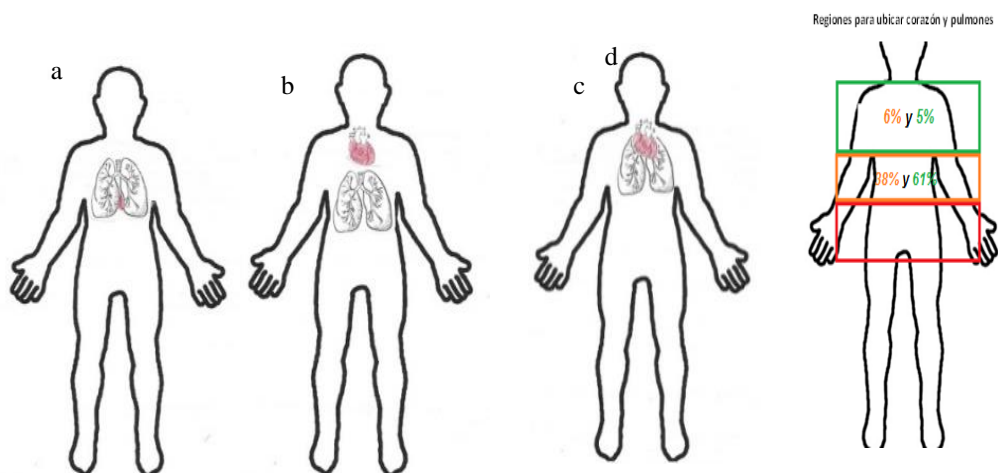


Figura 8 Ubicación del corazón y los pulmones por parte de los estudiantes de grado séptimo y décimo. (a) corazón detrás de los pulmones, (b) corazón separado de los pulmones y (c) corazón delante de los pulmones, (d) frecuencia de las regiones del tórax en donde los estudiantes de grado séptimo (color naranja) y grado décimo (color verde) ubicaron los pulmones y el corazón

En cuanto a la ubicación del corazón con respecto a los pulmones se obtuvieron los siguientes resultados: (Tabla15)

Tabla 15 Ubicación del corazón y los pulmones por parte de los estudiantes.

Ubicación	Décimo		Séptimo	
	No. de estudiantes	%	No. de estudiantes	%

Corazón delante de pulmones	94	46	73	37
Corazón atrás de pulmones	24	12	36	18
Corazón y pulmones separados	74	38	65	33
No sabe/ No responde	13	6	23	12

Con el fin de tener un patrón de referencia que permitiera inferir que tan acertada era la ubicación de los pulmones y el corazón con respecto a su posición en el cuerpo se utilizó un esquema que se dividió en tres regiones (figura 8d), sus respuestas fueron categorizadas en acertadas o incorrectas dependiendo de la zona en donde eran ubicados estos órganos. Este análisis mostró que solo el (5%) de séptimo y el (6%) de décimo ubican correctamente los pulmones y el corazón, lo que sugiere, un desconocimiento en la ubicación de estos órganos dentro del cuerpo, así como que no establecen relaciones entre el patrón de organización y la función.

Algunas explicaciones sobre él por qué la ubicación de los pulmones y el corazón en distintas regiones del tórax se relacionaron con respuestas como: *“porque yo los siento ahí”*, *“porque he visto que van ahí en fotos”*, *“porque las costillas los protegen”*, *“porque cuando respiro se infla el pecho”*, *“porque cuando pongo la mano me late ahí”*, este tipo de respuestas coinciden con lo afirmado por Carrascosa (2005) y Pozo y Gómez (2006) en cuanto al origen sensorial de algunas concepciones cuya fuente son las experiencias físicas cotidianas en donde las personas interactúan a través de los sentidos con el medio usando un tipo de pensamiento común (intuitivo), estas concepciones son interiorizadas como evidencias incuestionables.

1.13. La estructura del corazón de acuerdo con los dibujos de los estudiantes.

Con el fin de indagar sobre el reconocimiento de la estructura del corazón se les pidió que dibujaran *“cómo creían que estaba formado su corazón”* y que *“ubicaran las partes que lo conformaban”*. Estas representaciones fueron analizadas a partir de los siguientes criterios: formas o siluetas del corazón utilizadas para representarlo, ausencia o presencia en el dibujo de conductos de salida o entrada de la sangre y estructuras mencionadas como partes constituyentes del corazón.

1.13.1. Formas o siluetas del corazón humano

En cuanto a la forma del corazón se encontró que los estudiantes utilizan distintas figuras para representarlo dándole en ocasiones aspecto redondo, amorfo, rectangular, piramidal, ovalado, cilíndrico, en forma de corazón de San Valentín o en forma de riñón (Figura 9).

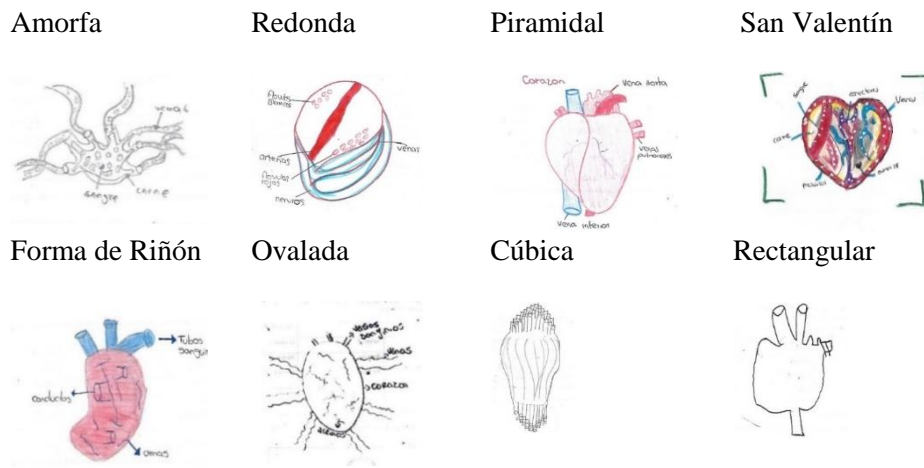


Figura 9. Formas o siluetas del corazón según los estudiantes de grado séptimo y décimo.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en cuanto a la clasificación de los dibujos del corazón de acuerdo a su forma (Tabla 16).

Tabla 16 *Formas o siluetas del corazón identificadas en los dibujos de los estudiantes.*

Formas asociadas al corazón	No. Estudiantes 7°	%	No. Estudiantes de 10°	%
Amorfo	15	8	37	18
Redonda	21	11	18	9
Rectangular	8	4	15	7
Piramidal	59	30	61	30
Corazón de San Valentín	17	9	16	8
Forma de riñón	14	7	7	3
Ovalada	41	21	34	17
Cilíndrica	1	1	0	0
NS/NR	21	11	17	8
Total	197	100	205	100

De acuerdo, con los resultados obtenidos el (22%) de séptimo representó una forma piramidal parecida a la forma real del corazón, mientras que, en el caso de décimo el (18%) dibujó una forma amorfa, la forma ovalada fue dibujada por el (17%) de décimo y el (21%) de séptimo. Llama la atención que algunos estudiantes dibujan el corazón con la imagen típica asociada a los emoticones usados en las redes sociales o corazón de san Valentín, tanto en grado séptimo (9%) como en décimo (7%). Estos resultados sugieren un desconocimiento generalizado en ambos grados de la forma del corazón humano.

1.13.2. Reconocimiento de conductos de salida o entrada de la sangre al corazón

En los dibujos realizados por los estudiantes, algunos no grafican conductos de entrada y salida, otros lo hacen y varía la cantidad de conductos dibujados (Figura 10).



Figura 10. Dibujos del corazón humano de estudiantes de grado séptimo y décimo. (a) Sin conductos y (b) con conductos de entrada y salida de la sangre.

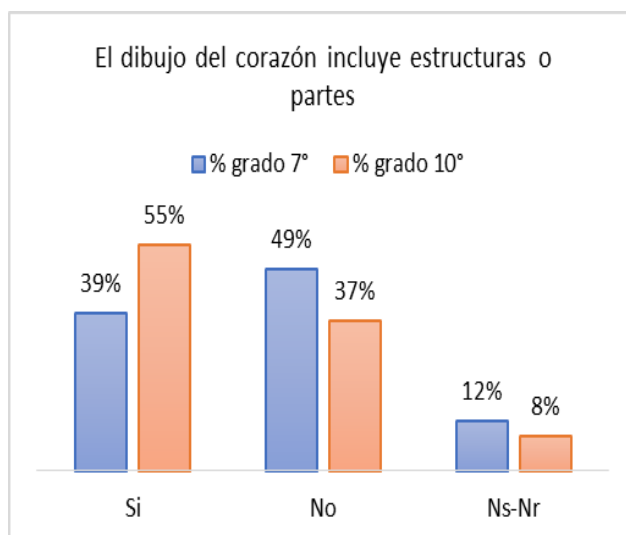
A continuación, se muestran los resultados obtenidos a partir del análisis anterior (Tabla 17)

Tabla 17 Dibujos del corazón

Tipo de dibujos del corazón	No. estudiantes 7°	%	No. estudiantes de 10°	%
Dibujos del corazón con conductos de entrada o salida de la sangre	162	82	182	89
Dibujos del corazón sin conductos de entrada o salida de la sangre	14	7	6	3

1.13.3. Las estructuras del corazón identificadas por los estudiantes

Los resultados en cuanto al reconocimiento de estructuras del corazón muestran que para séptimo (49%) no las incluyen mientras que para décimo el (55%) de dibujos si incluían alguna estructura (Gráfica 10).



Gráfica 10. Reconocimiento de estructuras de la anatomía del corazón humano. Dibujo del corazón realizado por un estudiante de séptimo

En relación con las estructuras identificadas como parte del corazón en los dibujos de los estudiantes, se encontró que las más reconocidas fueron las venas (31%) séptimo y (45%)

décimo, en segundo lugar, las arterias (16%) y (45%) respectivamente, en tercer lugar, los tubos sanguíneos (13%) y (10%) y finalmente las válvulas cardiacas con el (1%) y (13%) (Tabla 18).

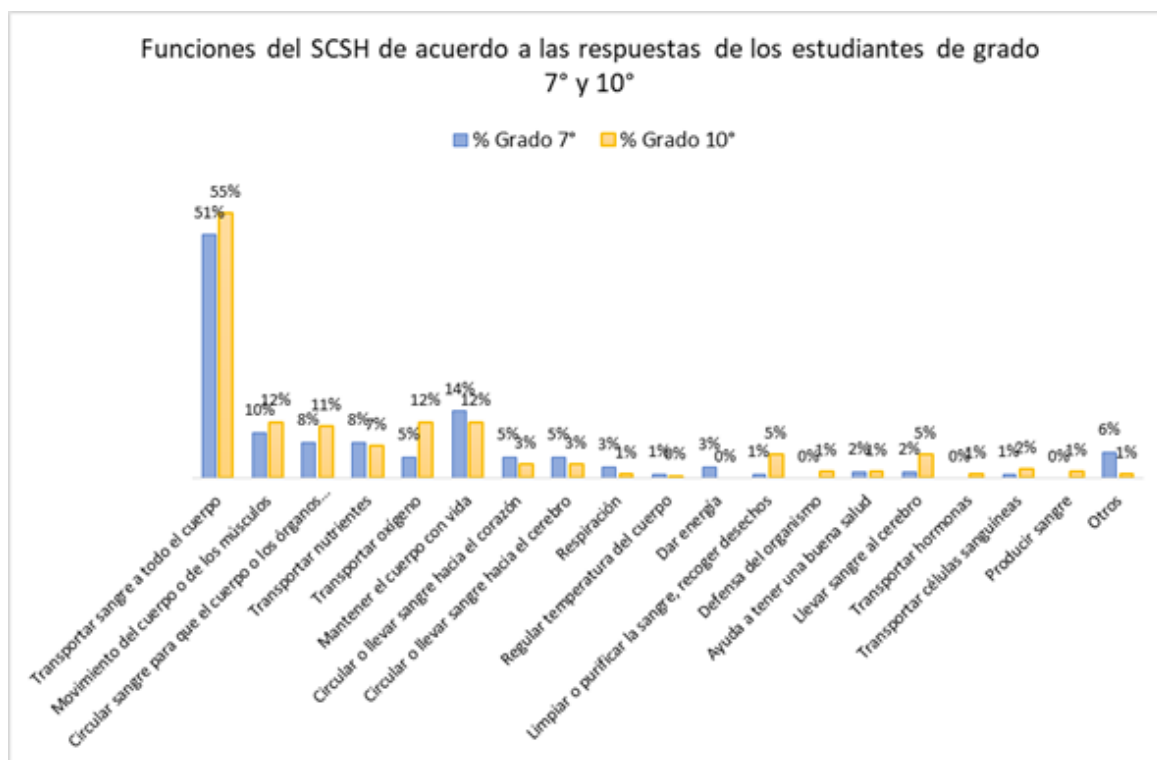
Tabla 18 *Estructuras asociadas al corazón*

Estructuras asociadas al corazón	Estudiantes de séptimo	% Grado séptimo	Estudiantes de décimo	% Grado décimo
Venas	62	31	92	45
Arterias	32	16	56	27
Sangre	8	4	13	6
Válvulas	2	1	27	13
Tubos sanguíneos	25	13	20	10
Otros	14	7	1	0

Los resultados del análisis de los dibujos del corazón muestran dos hallazgos relevantes, en primer lugar un desconocimiento de las estructuras externas del corazón y confusiones a la hora de nombrarlas, debido a que, la mayoría de estudiantes no diferencian venas y arterias que salen del corazón, en segundo lugar que puede haber un desconocimiento de las estructuras internas, pocos identificaron las válvulas cardiacas y cavidades del corazón como aurículas y ventrículos, esto evidencia un nivel de conocimiento mínimo sobre la anatomía del corazón por parte de los estudiantes. Sin embargo estos resultados no pueden considerarse como absolutos, puesto que, de acuerdo con los planteamientos de Bahar, Ozel, Prokop y Usak (2008) los dibujos que realizan los niños si bien pueden traer ventajas para el análisis también pueden tener limitaciones relacionadas con la capacidad que tiene cada estudiante para dibujar, lo cual conlleva a que en ocasiones dejen rasgos por fuera que no pueden representar esto hace necesario complementar los resultados con entrevistas con el fin de tener resultados más confiables.

1.14. Las funciones del SCSH según los estudiantes

Con el fin de identificar las funciones que los estudiantes atribuyen al SCSH, se les preguntó *¿para qué sirve el SCSH?*, sus respuestas mostraron que en primer lugar (51%) en séptimo y (55%) décimo asociaron la función de circulación de la sangre; en segundo lugar el (14%) y (12%), dieron respuestas relacionadas con mantener la vida del organismo, (10%) y (12%) movimiento del cuerpo debido a la irrigación de la sangre y finalmente (8%) y (11%) sostuvieron la idea que permite el correcto funcionamiento del cuerpo (Gráfica 11).



Gráfica 11 Funciones del SCSH según los estudiantes de grado séptimo y décimo. Fuente: Elaboración de esta investigación.

Con respecto a las concepciones relacionadas al funcionamiento del SCSH se encontraron: *cumplir la función de llevar la sangre a todo el cuerpo, dar vida, permitir el funcionamiento del organismo y el movimiento*, estas concuerdan con un tipo de pensamiento teleológico el cual explica los fenómenos desde una perspectiva finalista. Para González (2011) “los fines son considerados como agentes que determinan la naturaleza del fenómeno” (p.29). Este pensamiento es opuesto al científico debido a que, deja de lado las explicaciones causales complejas; sin embargo, el autor en cuestión señala que las explicaciones de tipo teleológico tienen un valor heurístico y pedagógico muy importante. Por otro lado, Mosquera (2012), afirma que en este modelo de circulación sanguínea se considera que la sangre lleva la vida y el corazón es el motor que la impulsa para que pueda circular hasta los tejidos, por consiguiente, la sangre es considerada como un líquido necesario para poder funcionar y sobrevivir, algunas respuestas asociadas al modelo teleológico fueron:

CAH-701-3 *“el SCSH sirve para transportar la sangre de un lado al otro porque la sangre solo se mantuviera en el corazón, solo mantendrá el corazón vivo, pero se transporta para mantener viva la carne humana”*

CAH-701-27 *“sirve para transportar la sangre a las partes del cuerpo si no, no se podría mover”*

CP-1001-33 “sirve para que la sangre circule muy bien y eso hace que nosotros tengamos vida porque el corazón tiene sangre y bombea y eso hace que la sangre vaya por todo el cuerpo”.

Las anteriores afirmaciones muestran una escasa comprensión del modelo científico sobre el funcionamiento del SCSH, ya que, en ambos grados es bajo el reconocimiento de funciones como transporte de oxígeno y dióxido de carbono, distribución de nutrientes a las células, recolección de sustancias de desecho y tóxicas para su posterior eliminación, distribución de hormonas, regulación de la temperatura del cuerpo, coagulación de la sangre y defensa del organismo, teniendo en cuenta lo anterior se puede inferir que predominan en los estudiantes visiones teleológicas, reduccionistas y simplistas por encima de la comprensión de un modelo científico a pesar que en el caso de décimo ya se había abordado su estudio en años anteriores.

1.15. Las funciones de la sangre de acuerdo con los estudiantes

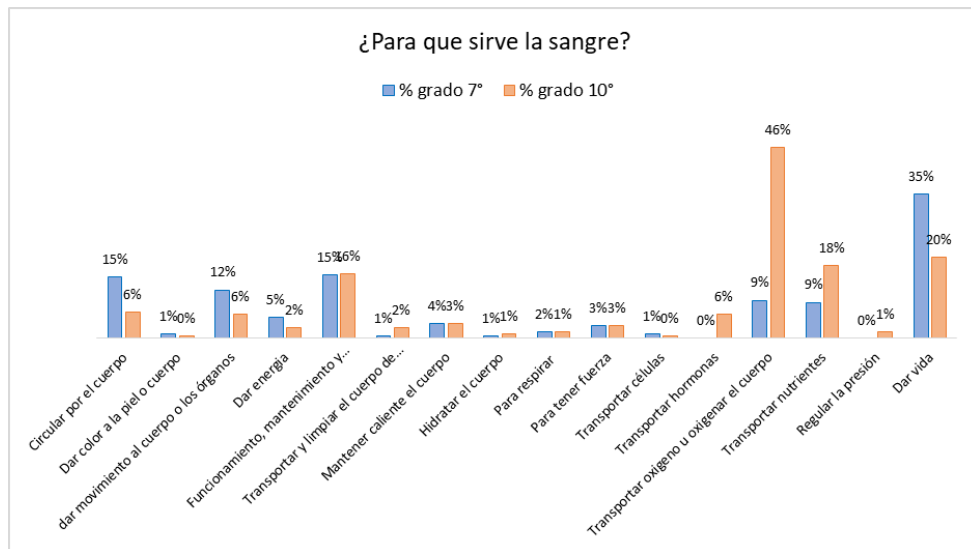
Otro de los aspectos indagados fueron sus concepciones sobre la función de la sangre en el organismo, para ello se les preguntó *¿para qué sirve la sangre?*, las respuestas muestran que el (35%) de séptimo afirmó que era dar vida o mantener vivo el cuerpo. Es bajo el reconocimiento en séptimo de funciones como transporte de oxígeno y nutrientes (9%), regulación de la temperatura (4%), mientras que en décimo, a pesar de que, existe un mayor reconocimiento del transporte de oxígeno (46%), es bajo el conocimiento sobre el transporte de nutrientes (18%), o regulación de la temperatura (8%) (Gráfica 12). Algunas de las respuestas encontradas que dan cuenta de las tendencias mostradas en los resultados anteriores fueron:

CP-1002-27 “yo creo que la sangre sirve mantener en funcionamiento el sistema y para que el ser humano pueda vivir”.

CP-1005-11 “si no tuviéramos sangre no tendríamos vida porque una de las cosas que nos da vida es la sangre”.

CAH-701-18 “la sangre sirve para poder vivir y que el cuerpo se mantenga estable y fuerte”

CAH-702-30 “yo creo que la sangre sirve para poder sobrevivir, porque si la sangre no circula hacia el cuerpo y el corazón no podríamos respirar, ni se podría vivir”

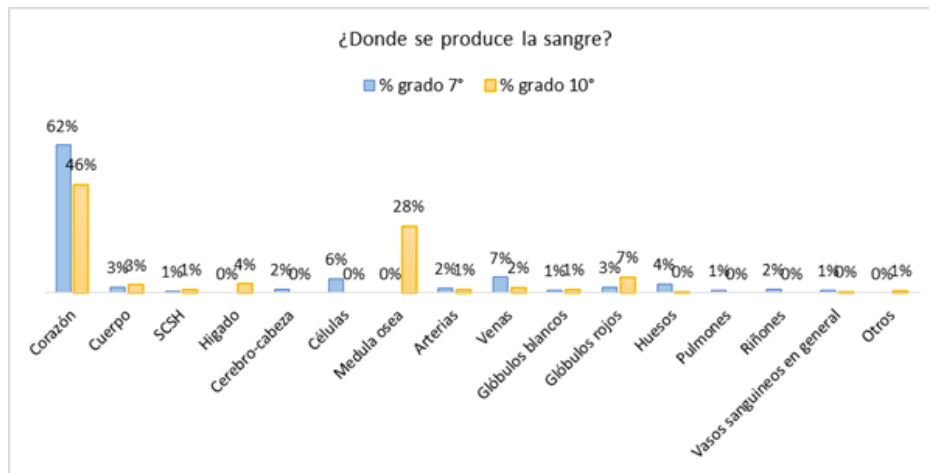


Gráfica 12 Funciones de la sangre según los estudiantes

Los resultados anteriores muestran que en el caso de séptimo existe un alto porcentaje de concepciones asociadas con un tipo de pensamiento vitalista en donde se asocia la función de la sangre con dar vida, mantener el cuerpo funcionando, para décimo aunque hay mayor reconocimiento sobre el transporte de oxígeno, persisten ideas vitalistas como las encontradas en séptimo aunque en menor proporción, estos resultados son parecidos a los obtenidos por Arnaudín y Mintzes (1985) en EEUU quienes mencionan que las explicaciones vitalistas son comunes en estudiantes de secundaria pero que muestran una disminución de su frecuencia en niveles educativos más avanzados. Mosquera (2012) también reporta ideas acordes con un pensamiento teleológico sobre la función de la sangre en estudiantes de cuarto y quinto de primaria en donde se considera la sangre como un líquido necesario para poder funcionar y sobrevivir.

1.16. Los sitios de producción de sangre en el organismo según los estudiantes

En cuanto a los sitios de producción de la sangre la mayoría de estudiantes de séptimo (62%) y décimo (46%) identifican el corazón, y solamente en decimo se relaciona la médula ósea (28%). La anterior situación evidencia un desconocimiento generalizado en ambos niveles sobre el principal sitio de hematopoyesis (centro de producción de células sanguíneas) del cuerpo como lo es la médula ósea y una prevalencia por ideas parecidas a las de Aristóteles quien en la antigüedad también sostenía la concepción de que el corazón producía la sangre.



Gráfica 13 Sitios de producción de la sangre para los estudiantes de grado séptimo y décimo.

Algunas concepciones encontradas en los estudiantes estuvieron relacionadas con que la *sangre se forma de los alimentos* lo cual llama la atención por coincidir con un obstáculo epistemológico asociado a una concepción que se mantuvo durante mucho tiempo en la historia de la humanidad típica del pensamiento Galénico, para quien la sangre provenía de los alimentos y se producía en el hígado, después pasaba al corazón y de allí a las venas (Izaguirre y Micheli, 2005), esta idea fue encontrada en algunas de las respuestas de los estudiantes cuando se les cuestionó sobre donde se producía la sangre:

CP-1002-10 “*la sangre se produce de los nutrientes de los alimentos y del hígado, crean glóbulos que junto con otros compuestos y forman la sangre!*”

CP-1001-20 “*se produce de nuestra comida, ella misma se bombea y se reproduce a medida que crecemos.*”

CAH702-9 “*la sangre se produce por los alimentos que comemos, lo que no sirve se desecha, lo que sirve se procesa para la sangre*”

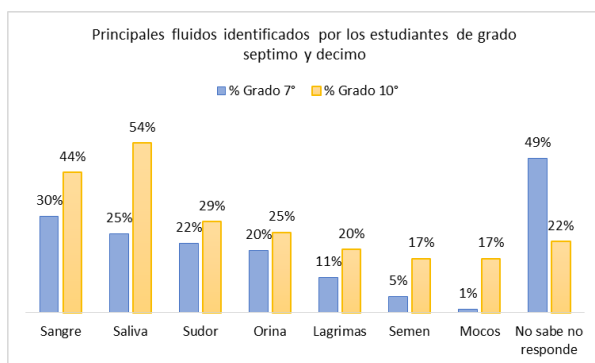
Es curioso que los estudiantes formen y sostengan concepciones que con los avances del conocimiento científico a lo largo de los años han podido ser derrumbadas como las ideas aristotélicas y galénicas, sin embargo, Gómez-Leal (1994) afirma al respecto que “Dicen los sabios que la aparición de conocimientos idénticos entre gente separadas en el tiempo y en el espacio se debe al desarrollo espontáneo de ciertas ideas elementales comunes al hombre primitivo en todas partes del mundo” (p.161).

Esta idea de Gómez-Leal (1994), coincide con lo planteado en análisis anteriores y que también ha sido propuesto por Pozo y Gómez (2006) quienes mencionan que la aparición de concepciones espontáneas en los seres humanos responden a un tipo de pensamiento causal-lineal y a reglas simplificadoras existentes en el sistema cognitivo humano en donde los

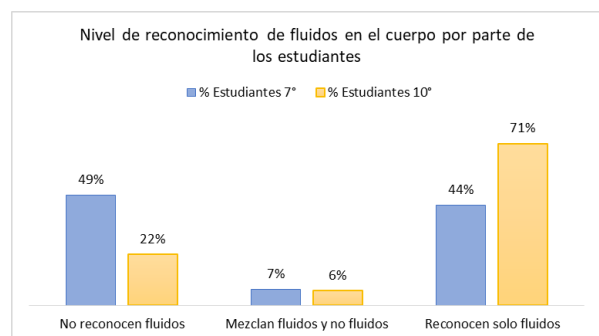
individuos cuando intentan dar significado a los hechos que ocurren en la naturaleza, se basan esencialmente en el uso de inferencias causales y simples a lo que observan, minimizando los aspectos y variables que escapan de sus sentidos, esta situación dificulta la comprensión de procesos que si pueden ser explicados por los modelos científicos.

1.17. Reconocimiento de la sangre como un fluido

Por otro lado, con el fin de reconocer desde la perspectiva física si los estudiantes identificaban la sangre dentro de los fluidos que se producen en el cuerpo se les cuestiono lo siguiente: *¿Qué fluidos producimos, tenemos o intercambiamos como seres humanos?* Las respuestas fueron agrupadas de acuerdo a los siguientes criterios: sustancias que pueden ser clasificadas como fluidos y sustancias que no lo son. En cuanto a las sustancias que los estudiantes identificaron como fluidos y que pertenecen a esta categoría se encontró que la saliva y la sangre fueron las respuestas más comunes, sin embargo, en el caso particular de la sangre se observa que existe un bajo reconocimiento de la misma como un fluido por parte de los estudiantes de séptimo fundamentado en que solamente el (30%) la mencionó, mientras que en décimo el (44%) sí la incluyó en este grupo. Debido lo anterior se puede concluir que es importante desarrollar conjuntamente los conceptos de fluido y de sangre.



Gráfica 14 Fluidos identificados por los estudiantes de séptimo y décimo

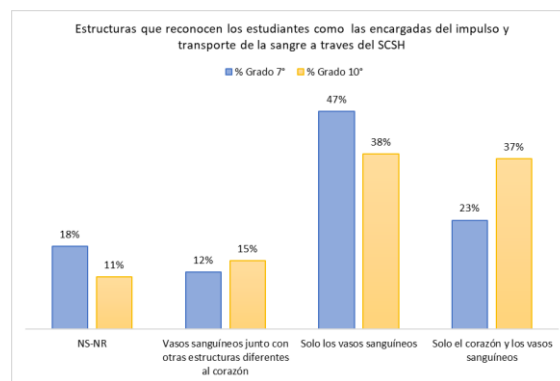


Gráfica 15 Nivel de reconocimiento de fluidos en el cuerpo por parte de los estudiantes

1.18. Mecanismos utilizados por el SCSH para el flujo de la sangre según los estudiantes

Para evidenciar si los estudiantes identificaban algunas variables necesarias para que se produzca el flujo de la sangre a través de los vasos sanguíneos cómo el papel del corazón en el bombeo de la sangre a través de las arterias, las diferencias de presión en los vasos sanguíneos y la influencia de la elasticidad de las paredes de estos en el movimiento de la sangre, se les preguntó *¿cómo creían que hacia la sangre para fluir a través del SCSH?*

Las respuestas se agruparon en cuatro categorías la primera corresponde con aquellas en que los estudiantes manifestaron no conocer la respuesta o no respondieron, en un segundo grupo se organizaron aquellas en donde se mezclaban conductos sanguíneos con otras estructuras como células, hormonas, glóbulos rojos o en donde se afirmaba que el movimiento del cuerpo es el que hace que la sangre fluya, en un tercer grupo las que se mencionaba que el movimiento de la sangre solo se debía a los conductos sanguíneos (venas y arterias en su mayoría) y que la sangre fluía a través de estos; y en el último grupo se clasificaron aquellas respuestas en donde mencionaban el corazón como el encargado de bombear la sangre.



Gráfica 16 Estructuras encargadas del impulso de la sangre según los estudiantes.

Los resultados obtenidos en cuanto a las estructuras encargadas del impulsar la sangre muestran que solo el (23%) de estudiantes de séptimo y el (37%) de grado décimo lograron asociar esta función al corazón lo cual sugiere un bajo reconocimiento del papel del este órgano en el bombeo de la sangre. Adicionalmente, el (47%) de grado séptimo y el (38%) de grado décimo mencionó los vasos sanguíneos como encargados del transporte de la sangre, lo anterior nos muestra que existe un tipo de reconocimiento en relación con que la sangre fluye a través de vasos sanguíneos, pero que, sin embargo, se hace necesario profundizar en los factores que permiten describir el fluir de la sangre, teniendo en cuenta qué:

La sangre fluye sobre todo a causa del movimiento anterógrado que le imparte el bombeo cardiaco, aunque en el caso de la circulación sistémica, la recuperación diastólica de las paredes arteriales, la compresión de las venas por los músculos esqueléticos durante el ejercicio y la presión negativa en el tórax en el curso de la inspiración también empujan la sangre al frente. (Barrett *et al.*, 2010, p.521).

Teniendo en cuenta lo anterior se puede inferir que los estudiantes presentan obstáculos teleológicos, debido a que, sus explicaciones son funcionalistas; dejando de un lado procesos de diferencia de presión y reservorio de sangre presentados en los vasos sanguíneos. Sin

embargo, algunos mencionan el bombeo de sangre por parte del corazón, pero no indican que es una bomba bicameral que trabaja rítmicamente con el propósito de mantener la doble circulación, haciendo referencia a un obstáculo histórico que solo fue superado hasta el renacimiento cuando Leonardo da Vinci (1452-1519) describe las partes del corazón, los remolinos de la sangre, la función de las válvulas y el movimiento de sístole y diástole (Uribe *et al.*, 2010).

1.18.1. Modelos explicativos de estudiantes de grado séptimo y décimo sobre el recorrido de la sangre en el cuerpo

Con el fin de identificar el tipo de modelos que utilizaban los estudiantes de séptimo y décimo para explicar el recorrido de la sangre en el cuerpo se les pidió que representaran en una silueta humana que contenía una figura del corazón, el camino que debía seguir una gota de sangre a través del SCSH desde que salía del corazón, pasando por el pie, y que para representar el recorrido utilizaran flechas (→ → →). Las representaciones gráficas (modelos explicativos) de los estudiantes sobre el recorrido de la sangre a través del SCSH se analizaron a partir de la observación detallada y la identificación de los siguientes criterios de clasificación (Tabla 19)

Tabla 19 *Criterios de clasificación para los modelos explicativos del recorrido de la sangre en el cuerpo*

Criterios	Definición del criterio	Posibles respuestas
Salida de la sangre desde el corazón	¿La representación del modelo contempla la salida de la sangre desde el corazón?	Si /No
Retorno de la sangre al corazón	¿El modelo contempla el retorno de la sangre al corazón?	Si/ No
Número de circuitos	¿Cuántos circuitos circulatorios se evidencia en el modelo? (Un circuito se considera completo desde que represente a la vez la salida y el retorno de la sangre al corazón)	0 circuitos Circulación simple (1 circuito) Circulación doble (2 circuitos) Circulación múltiple (3 o más circuitos)
Partes del cuerpo por donde circula la sangre	¿Cuáles son las partes del cuerpo por donde circula la sangre en el modelo?	Cabeza, tronco, brazos y piernas
Numero de direcciones que toma la sangre cuando sale del corazón	¿Cuántas direcciones toma la sangre en el momento exacto que sale del corazón?	Una dirección (1) Dos direcciones (2) Múltiples direcciones (3 o más)
Patrón circulatorio	¿Qué tipo de patrón circulatorio predomina en la representación del modelo?	Radial Periférico Radial y Periférico

La aplicación de los criterios de clasificación permitió la identificación de treinta y siete (37) modelos explicativos de la circulación sanguínea los cuales fueron organizados en cinco (5) grupos (A, B, C, D y E), a continuación, se presenta las características generales de cada grupo (para una descripción más detallada de cada modelo ver anexos 3, 4, 5, 6 y 7).

Grupo A: Modelos explicativos en donde la sangre no sale del corazón

En este tipo de modelos los estudiantes que los representan no incluyen la salida de la sangre desde el corazón, y solamente en algunos casos representan su retorno

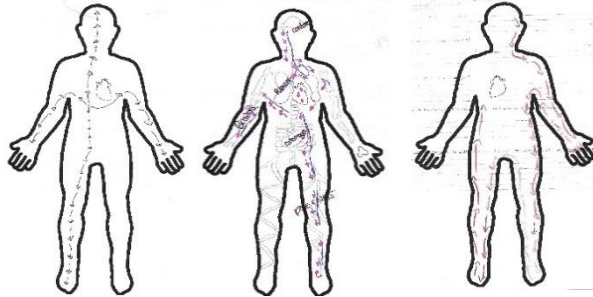


Figura 11 Modelos explicativos de circulación de la sangre sin salida de la misma desde el corazón Grupo A

Grupo B: Modelos explicativos en donde la sangre sale desde el corazón, pero no retorna a este.

En este grupo fueron clasificados aquellos modelos que se caracterizan por que los estudiantes a pesar de que representan la salida de la sangre desde el corazón no incluyen el retorno de la misma, razón por la cual no se considera que exista un circuito circulatorio completo.

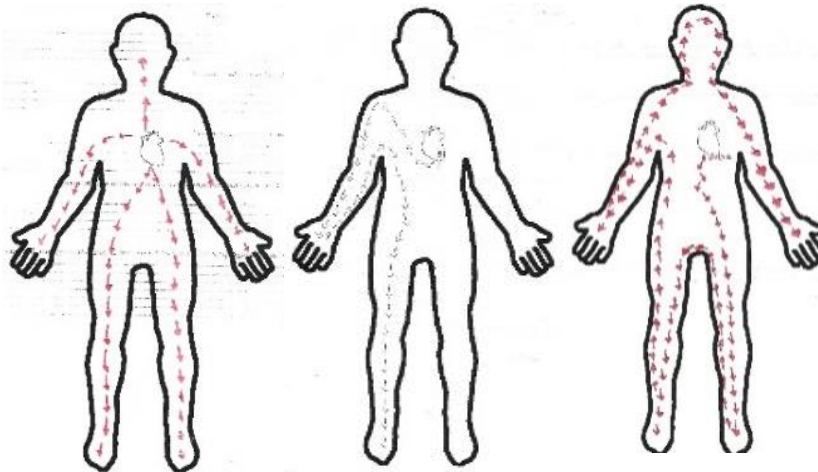


Figura 12 Modelos explicativos de circulación de la sangre con salida de la misma desde el corazón, pero sin retorno de la misma Grupo B

Grupo C: Modelos explicativos de circulación simple o sistémica con retorno de la sangre al corazón (un solo circuito)

Los modelos explicativos que hacen parte de este grupo evidencian que los estudiantes ya reconocen el retorno de la sangre al corazón el cual se da durante un solo circuito circulatorio, es decir, la sangre sale del corazón irriga los órganos y retorna de nuevo una sola vez.

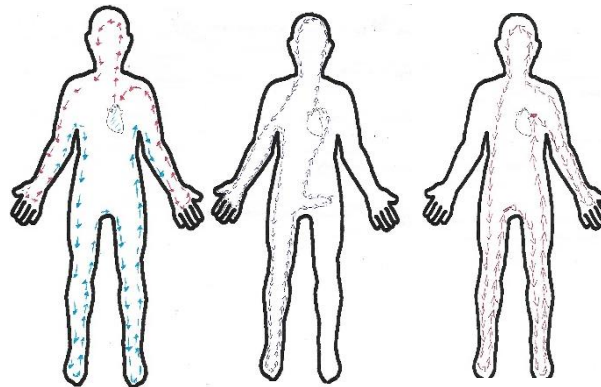


Figura 13. Modelos explicativos de circulación de la sangre con salida y retorno de la misma durante un solo circuito Grupo C

Grupo D: Modelos explicativos de circulación doble con retorno de la sangre al corazón (dos circuitos)

En este tipo de modelos explicativos se evidencian dos circuitos circulatorios completos razón por la cual la sangre presenta dos recorridos los cuales salen del corazón y posteriormente regresan a este.

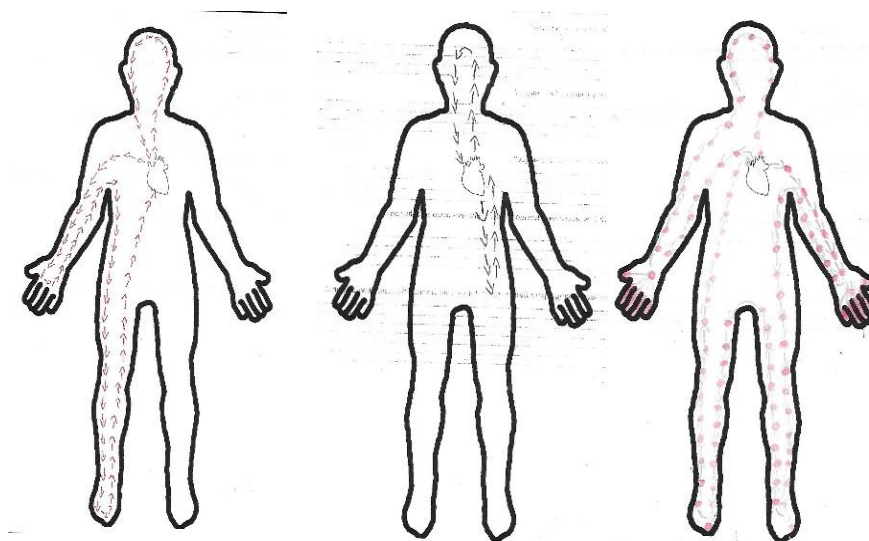


Figura 14. Modelos explicativos de circulación de la sangre con salida desde el corazón y retorno en dos circuitos circulatorios Grupo D

Grupo E: Modelos explicativos de circulación múltiple, con retorno de la sangre al corazón (más de dos circuitos circulatorios)

Este grupo fue conformado con aquellos modelos en donde la sangre sale del corazón en una o más de dos direcciones dirigiéndose hacia distintas partes del cuerpo a la vez, sin embargo, durante cada recorrido siempre retorna al corazón.

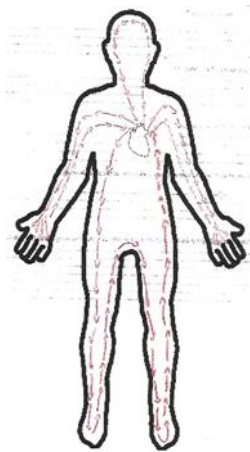
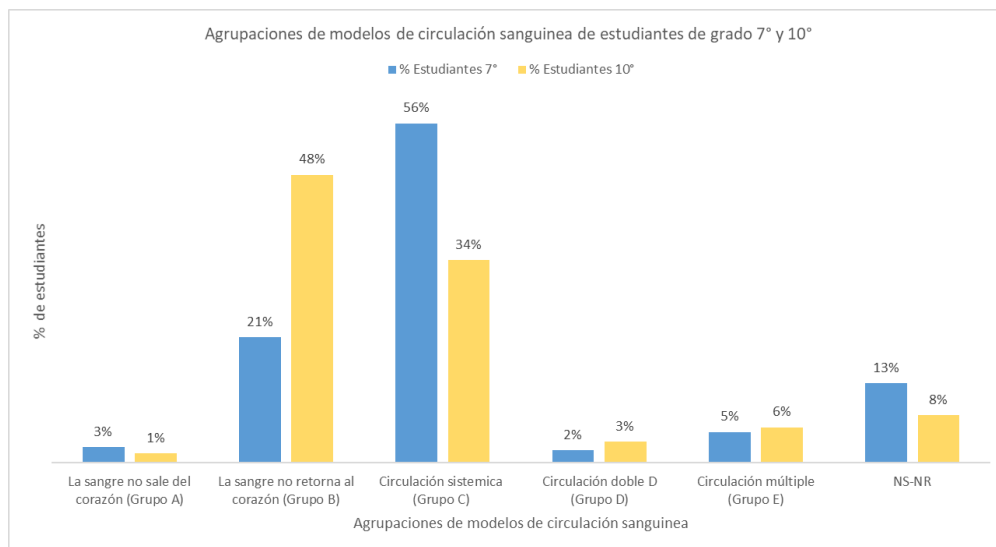


Figura 15 Modelo explicativo de circulación de la sangre con salida desde el corazón y retorno en más de dos circuitos circulatorios Grupo E



Gráfica 17 Agrupaciones de modelos explicativos sobre el recorrido de la sangre en el cuerpo elaborados por los estudiantes de grado séptimo y décimo.

En relación con los resultados encontrados al categorizar los modelos explicativos del recorrido de la sangre en el organismo se puede observar como la mayoría de estudiantes de grado séptimo, el (56%) representaron modelos de circulación simple o sistémica (Grupo C), mientras que en el caso de décimo este porcentaje fue menor con tan solo el (34%) ver gráfica

17. En este sentido nuestros hallazgos coinciden con los reportados por investigadores como López, *et al.*, (2007) y Peláez *et al.* (2005), cuyos estudios muestran que existe una prevalencia en estudiantes de distintas edades y distinto nivel de escolaridad por la representación de modelos de circulación sistémica en donde la sangre sale del corazón, va a un órgano y regresa durante un solo circuito.

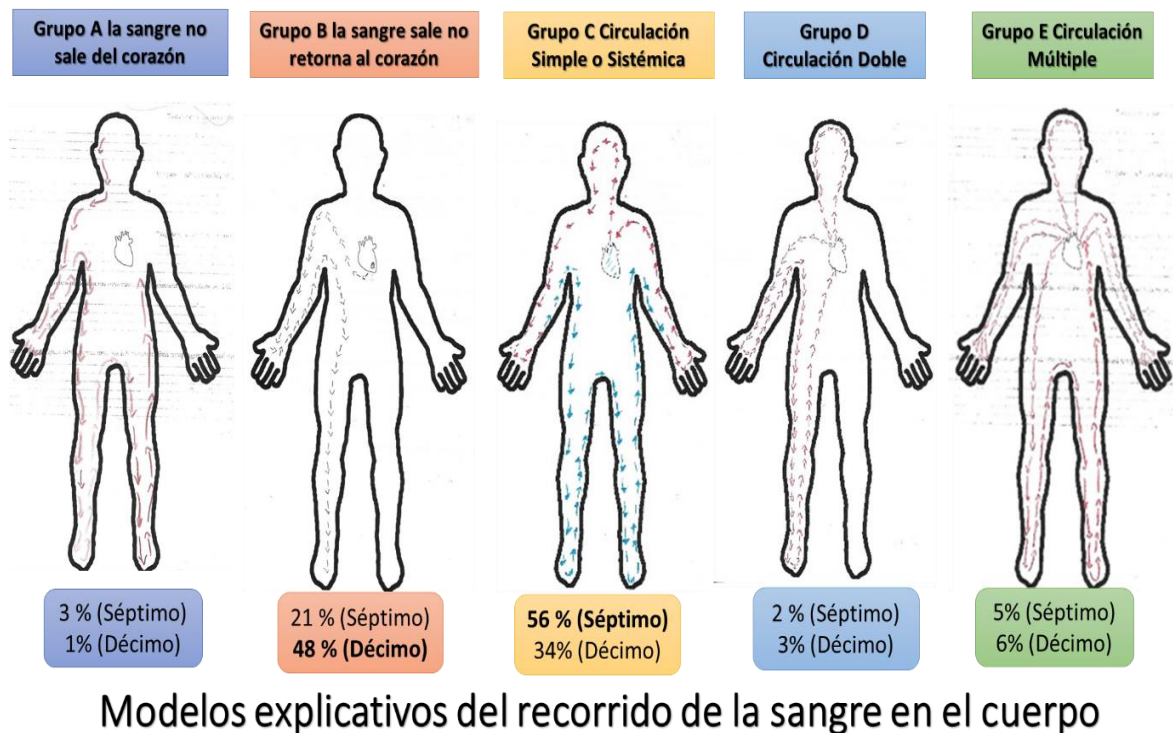


Figura 16. Modelos explicativos del recorrido de la sangre dentro del cuerpo.

Por otro lado, llama la atención que cerca del (48%) de estudiantes de décimo, representaron modelos asociados a la concepción de que la sangre no retorna al corazón durante su recorrido (Grupo B), en el caso de séptimo el porcentaje fue menor (21%), esta situación parece mostrar que existe un retroceso en el aprendizaje o la aparición nuevamente de un error conceptual a pesar de que los estudiantes de décimo ya han estudiado el tema en cursos anteriores (ver figura 16).

En cuanto al reconocimiento de una doble circulación (grupo D), conocimiento cercano a la representación científica del modelo de circulación sanguínea, se encontró que solo el (3%) de los estudiantes de décimo y el (2%) de séptimo reconocieron la existencia de dos circuitos circulatorios. Los resultados encontrados son similares a los reportados por Arnaudín y Mintzes (1986), y por López, *et al.* (2007), quienes afirman que en el caso de estudiantes de bachillerato,

y de universidad son pocos los que suscriben un modelo de doble circulación. La anterior situación podría reflejar un desconocimiento generalizado de la circulación doble (modelo científico) y una prevalencia de los estudiantes a mantener concepciones sobre la circulación sanguínea diferentes a las aceptadas científicamente, en este sentido López, *et al.*, (2007) afirman que una de las posibles razones que explican la robustez de estas representaciones intuitivas tiene que ver con “la naturaleza interdisciplinaria de los conceptos involucrados en la circulación sanguínea”, la cual hace difícil su comprensión.

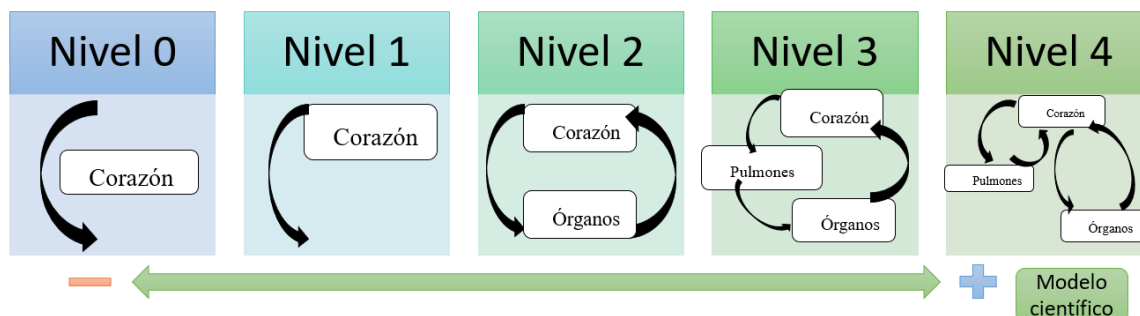
Nivel de similitud de los modelos explicativos de los estudiantes con el modelo científico que explica la circulación de la sangre en el cuerpo

Para analizar las dificultades en relación con la comprensión del recorrido de la sangre en el cuerpo por parte de los estudiantes, se compararon sus modelos explicativos con el modelo científico que explica que la sangre sale del corazón por la arteria aorta, se dirige a un órgano o cama capilar, posteriormente retorna al corazón a través de las venas cavas, donde es impulsada nuevamente a través de las arterias pulmonares hacia ambos pulmones y finalmente retorna por segunda vez al corazón a través de las venas pulmonares. La anterior comparación permitió establecer unos niveles de similitud entre los modelos explicativos de los estudiantes y el modelo científico que fueron construidos a partir de los siguientes criterios:

1. En el modelo explicativo se incluye:
 - la salida de la sangre desde el corazón
 - el retorno de la sangre al corazón
 - el paso de la sangre por los pulmones
2. El camino mostrado cuando se incluye el paso de la sangre por los pulmones es el correcto.
3. Cuál es el número de circuitos circulatorios incluidos en el modelo explicativo teniendo en cuenta que en el modelo científico este corresponde con dos circuitos (sistémico y pulmonar).

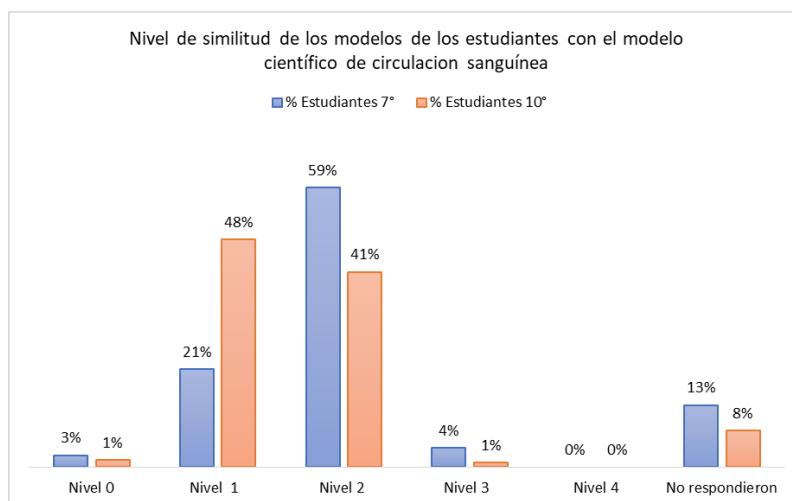
A partir de los criterios anteriores se construyó una escala de valoración en donde se les asignó un valor de 0, 1, 2, 3, o 4, siendo 0 el valor otorgado a los modelos más alejados de la explicación científica y 5 el valor de los modelos exactamente iguales al científico (Gráfica 18).

Nivel de similitud de los modelos explicativos de los estudiantes con el modelo científico



Gráfica 18 Escala de valoración para identificar el nivel de similitud de los modelos explicativos : El nivel 1 corresponde a aquellos modelos circulatorios sin salida de la sangre desde el corazón, el nivel 2 modelos circulatorios con salida de la sangre desde el corazón pero sin retorno (sistema no cerrado), nivel 3 Modelos circulatorios simples, dobles o múltiples sin paso de la sangre por los pulmones (sistema cerrado), nivel 4 modelos circulatorios dobles con el trayecto correcto de la sangre hacia los pulmones (modelo científico).

En cuanto a los resultados obtenidos en relación al nivel de similitud de los modelos representados por los estudiantes con el modelo científico, se encontró que la mayoría de estudiantes de grado séptimo cerca del (59%) representan un modelo de sistema cerrado sin paso de la sangre por los pulmones (nivel 2), en este modelo el trayecto de la sangre va desde el corazón al órgano diana (pie), y posteriormente retorna sin incluir los pulmones en ninguna de las fases del trayecto. En el caso de los estudiantes de grado décimo la mayoría (48%) representaron modelos categorizados en un nivel de similitud de 1, en donde la sangre nunca retorna al corazón. Estos modelos se encuentran más alejados del modelo científico conceptual, lo cual evidencia un desconocimiento generalizado del retorno de la sangre al corazón, al igual que de la doble circulación (pulmonar y sistémica), ya que los porcentajes en relación con el nivel 4 fueron de (0%) en los estudiantes de ambos niveles, es decir ninguno representó un modelo exacto del recorrido de la sangre por el cuerpo en donde se incluyera el camino correcto hacia los pulmones y el corazón (Gráfica 19).



Gráfica 19 nivel de similitud de los modelos explicativos de los estudiantes con el modelo científico de circulación sanguínea.

1.19. Síntesis de los principales hallazgos

A continuación se presenta una síntesis de los principales hallazgos de la investigación en relación con las dificultades asociadas a las concepciones que sostienen los estudiantes de ambos niveles, lo anterior con el fin de establecer las causas que explican el por qué los estudiantes han desarrollado este tipo de ideas a pesar de la enseñanza que han recibido en la escuela, finalmente se realiza la identificación de los principales obstáculos epistemológicos a la luz de los análisis y se presenta una propuesta didáctica para la enseñanza del SCSH desde la perspectiva sistémica.

La aplicación de instrumentos permitió la identificación de diversas concepciones en relación al funcionamiento y la estructura del SCSH las cuales se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 20 *Concepciones de los estudiantes de 7° y 10° asociadas al funcionamiento y estructura del SCSH*

Los estudiantes	
Sistema Circulatorio Sanguíneo Humano (SCSH)	<ul style="list-style-type: none"> Desconocen que además del corazón, las venas, las arterias y la sangre este sistema está conformado por vasos capilares. Incluyen dentro de sus componentes órganos que no pertenecen a este sistema como el cerebro, los nervios y los pulmones. Le atribuyen al cerebro la función de impulsar la sangre. Sostienen concepciones finalistas en donde solo le asignan funciones como la de circular la sangre, mantener la vida o el correcto funcionamiento del cuerpo. Tienen una baja comprensión del modelo científico del funcionamiento del SCSH ya que desconocen funciones como transporte de nutrientes, oxígeno y hormonas, eliminación de sustancias de desecho, regulación de la temperatura, coagulación de la sangre y defensa del organismo.
Conductos Sanguíneos	<ul style="list-style-type: none"> Presentan confusiones en cuanto a las funciones que desempeñan las venas y las arterias (las arterias solo transportan oxígeno y las venas la sangre). Desconocen que además de las venas, existen otros conductos por donde puede circular la sangre como las arterias y los capilares.
La sangre	<ul style="list-style-type: none"> Sostienen concepciones asociadas a que la sangre puede cambiar de color dependiendo de aspectos como su ubicación dentro o fuera de las venas, el tipo de alimentos que ingieren las personas, el grupo sanguíneo o la presencia de enfermedades Le atribuyen funciones finalistas como la de mantener o dar vida o deterministas como el funcionamiento o movimiento del cuerpo. Desconocen la estructura y composición de la sangre debido al bajo reconocimiento de la existencia de plaquetas y glóbulos blancos Tienen una escasa comprensión de la composición química del plasma sanguíneo y las sustancias que este transporta. No reconocen los sitios donde se produce la sangre Piensan que la sangre se forma de los alimentos Presentan confusiones en el lenguaje utilizado para nombrar los glóbulos rojos o blancos en ocasiones los nombran como óvulos Le atribuyen la función de producir la sangre
El corazón	<ul style="list-style-type: none"> Desconocen su anatomía puesto que no identifican las estructuras externas e internas que lo componen Desconocen su ubicación exacta dentro del cuerpo No conocen las conexiones entre el corazón y los vasos sanguíneos.

La circulación sanguínea	<ul style="list-style-type: none"> No han desarrollado un modelo explicativo correcto sobre la circulación de la sangre en el organismo Sostienen concepciones asociadas a que la sangre no retorna al corazón
---------------------------------	--

En cuanto a las razones que pueden explicar el origen de las concepciones referenciadas anteriormente y que dificultan la comprensión sobre el SCSH, nos encontramos con que diversas investigaciones desde la didáctica de las ciencias brindan información sobre estas causas, sin embargo se retoman los planteamientos de Pozo y Gómez (2006), Carrascosa (2005), quienes plantean que pueden ser de tipo sensorial, cultural, escolar y dan lugar a una ciencia intuitiva que resulta difícil de modificar en el aula de clases (Tabla 21).

Tabla 21 Descripción de los hallazgos (Orígenes y posibles causas)

Hallazgo	Concepción	Origen	Situación que podría explicar el origen	Obstáculo epistemológico
Los estudiantes incluyen órganos que no pertenecen al SCSH como el cerebro	El cerebro hace parte del SCSH y se encarga de impulsar la sangre a todo el cuerpo	Escolar	Inclusión de este órgano en los esquemas que presentan los libros de texto o las imágenes que los estudiantes consultan en internet del SCSH	Inadecuada interpretación del material didáctico usado para la enseñanza, uso de un pensamiento intuitivo
Existe un bajo reconocimiento de algunos componentes del SCSH y de sus funciones particularmente capilares, y arterias	Los únicos conductos por donde circula la sangre son las venas	Sensorial y Cultural	Los estudiantes tienen más familiaridad con las venas puesto que estas se observan fácilmente a través de la piel y es un término usado con mayor frecuencia en el contexto social	Predominio de un nivel de representación intuitivo
Hay un bajo reconocimiento de algunas estructuras celulares y moleculares de la sangre, específicamente de las plaquetas y de la composición química del plasma sanguíneo	La sangre solo está hecha de glóbulos rojos	Escolar	Los estudiantes le otorgan mayor importancia a los glóbulos rojos ya que es un término de más fácil recordación y que se usa con mayor frecuencia en la escuela. Desconocen componentes microscópicos de la sangre que no son de fácil observación	Predominio de un nivel de representación intuitivo
Los estudiantes piensan que la sangre es verde o azul	La sangre es azul o verde dentro del cuerpo porque así la vemos y cuando sale de este cambia a color rojo	Sensorial y Escolar	Los estudiantes observan el color de las venas a través de la piel y asumen que este corresponde al color de la sangre o también han observado el código azul - rojo que se utiliza en los esquemas de los libros de texto para diferenciar entre sangre venosa y arterial.	Predominio de un nivel de representación intuitivo e inadecuada interpretación del material didáctico usado para la enseñanza,
Los estudiantes piensan que la función del SCSH y de la sangre es simplemente mantener el cuerpo con vida o funcionando	El SCSH y la sangre sirven para mantener el cuerpo con vida	Cultural	Los estudiantes culturalmente han reforzado la idea de que la sangre es un líquido necesario para poder funcionar y sobrevivir	Predominio de pensamiento teleológico finalista

Existe un desconocimiento de la circulación doble (sistémica y pulmonar) de la sangre en el organismo	La sangre sale del corazón, pero no retorna a este o irriga los órganos y regresa durante un solo circuito	Escolar	Los estudiantes han construido un modelo intuitivo de la circulación sanguínea a través de su acercamiento al conocimiento escolar	Predominio de un nivel de representación intuitivo
--	--	---------	--	--

1.20. Discusión de los hallazgos

El análisis presentado nos permite inferir que son múltiples las causas que llevan a que los estudiantes desarrollen concepciones contrarias a las científicas sobre el funcionamiento y estructura del SCSH, como lo señala Banet (2008) estas concepciones en ocasiones se organizan en esquemas conceptuales que son de gran poder para los estudiantes debido a su poder predictivo y explicativo en diversas situaciones del ámbito cotidiano y escolar, otro de los aspectos que nos llama la atención es que al contrastar los antecedentes de la investigación con los hallazgos se evidencia que varias de estas ideas son compartidas por estudiantes de distintos contextos educativos, diferentes países o que ya se habían presentado en algún momento de la historia de la evolución del conocimiento sobre la circulación sanguínea.

1.20.1. Obstáculos epistemológicos asociados con la comprensión de la estructura y el funcionamiento del SCSH.

A continuación, se presentan aquellos aspectos emergentes del análisis de las concepciones de los estudiantes que podrían llegar a constituir verdaderos obstáculos asociados a la comprensión de la estructura y el funcionamiento del SCSH.

Predominio de modelos de explicación del funcionamiento del SCSH basados en aspectos teleológicos

Las respuestas de los estudiantes sobre todo en cuanto a las funciones del SCSH y de la sangre evidenciaron que estos se apoyan en modelos de explicación teleológica, según Mosquera (2012) el precursor de este tipo de pensamiento fue William Harvey quien atribuye a la sangre la función de llevar la vida y al corazón la de ser el motor encargado de su circulación, lo que permite que el organismo pueda funcionar y sobrevivir, este tipo de pensamiento es recurrente en un alto porcentaje de estudiantes en ambos grados razón por la cual puede constituir un obstáculo para la comprensión del funcionamiento del SCSH, ya que los estudiantes parecen estar satisfechos con estas explicaciones simplistas lo que impide que

se replanteen la necesidad de profundizar en los aspectos que ocurren a nivel molecular y celular y que influyen en el sostenimiento de la vida, solo con la reflexión crítica de este aspecto se podría llegar a tener un nivel de comprensión más elaborado, visión más cercana a un modelo formal o científico sobre el funcionamiento del SCSH.

Interpretación por parte de los estudiantes del material didáctico para la enseñanza del SCSH que podría reforzar concepciones contrarias a las científicas

Uno de los aspectos que no se había tenido en cuenta inicialmente en la investigación, pero que surgió como producto de la revisión de la literatura científica y el análisis de las respuestas de los estudiantes en donde un alto porcentaje de ambos grados incluyó órganos como el cerebro y los pulmones (entre otros) dentro del SCSH, tiene que ver con el material que se utiliza en la escuela para la enseñanza específicamente los libros de texto que consultan los estudiantes o los esquemas que observan a través de la web, en este sentido se encontró que en ocasiones incluyen órganos de otros sistemas sin que presenten ninguna aclaración al respecto, otro aspecto tiene que ver con el código del color (azul-rojo) común en los diagramas del SCSH utilizado para diferenciar la sangre venosa de la arterial, pero pueden conducir a interpretaciones que refuerzan concepciones presentes en los estudiantes contrarias al conocimiento científico (por ejemplo pensar que la sangre es de color azul), en relación con esto Edelsztein y Galagovsky (2007) mencionan que la información fragmentada y simplificada en la enseñanza de los sistemas del cuerpo, puede generar concepciones erróneas en el aprendizaje.

Predominio de un nivel de representación intuitivo sobre el SCSH

Se encontró que los estudiantes al responder algunas preguntas relacionadas con la estructura y función del SCSH, dieron explicaciones en donde interpretaban procesos propios del mundo microscópico solo a partir de lo que pueden ver a simple vista, lo cual lleva a que desconozcan aquellos componentes del SCSH que se escapan de su percepción sensorial como las plaquetas, los capilares, sustancias químicas que transporta la sangre o que hacen parte de su composición líquida, en este sentido López, *et al.*, (2007) mencionan que los estudiantes en vez de usar el nivel microscópico de representación para entender mejor la naturaleza de la materia, usan el nivel macroscópico (intuitivo) para explicar lo que se enseña a través de la instrucción, razón por la cual este obstáculo puede considerarse de tipo epistemológico ya que está asociado a una forma de representar y explicar el mundo por parte de los estudiantes basado únicamente en la percepción sensorial.

Al respecto de la anterior dificultad, se podría decir, que la comprensión de lo microscópico constituye un obstáculo constante en la historia de la ciencia, que solo ha podido solucionarse en la medida que los avances en el conocimiento científico y tecnológico han permitido la invención de instrumentos y técnicas que favorecen su observación. Esta situación parece trasladarse al campo de la enseñanza de las ciencias, pues, los resultados obtenidos nos muestran que existe una desconexión entre el conocimiento cotidiano que los alumnos producen para poder dar sentido al mundo que los rodea y el conocimiento científico caracterizado por estar formado por símbolos y conceptos abstractos referidos a un mundo más imaginario que real (Pozo y Gómez, 2006). Por tal motivo en el aula de clases se genera una tensión entre el conocimiento cotidiano (construido por el estudiante a partir de la percepción sensorial o la interacción social) y el conocimiento científico que intenta explicar que existen otros mundos desconocidos para el estudiante que escapan a su percepción:

Mientras el conocimiento conceptual que los alumnos traen al aula, y con él, sus actitudes y procedimientos, se refiere al mundo cotidiano, un mesocosmos trazado por las coordenadas espacio-temporales del aquí y ahora, la ciencia que se les enseña se mueve más en la realidad virtual del microcosmos (células, partículas y otras entidades mágicas no observables) y del macrocosmos (modelos idealizados, basados en leyes universales no vinculados con realidades concretas, cambios biológicos y geológicos que no se miden en miles, sino en millones, sistemas de interacción compleja etc.) (Pozo y Gómez, 2006, p.97).

Predominio en los estudiantes de un pensamiento causal-lineal sobre un pensamiento sistémico

Una gran cantidad de las respuestas y explicaciones dadas por los estudiantes en relación con la estructura y el funcionamiento del SCSH, muestran una tendencia en ambos grados a interpretar y explicar de una manera causal, intuitiva, reduccionista y simplista tanto las funciones de los distintos componentes del SCSH como los procesos asociados al recorrido de la sangre o la producción de la misma en el organismo, este tipo de razonamiento está asociado a las teorías implícitas que construyen los estudiantes las cuales limitan la comprensión del modelo científico sobre el funcionamiento del SCSH.

El análisis de las respuestas en ocasiones nos muestra como en concordancia con lo planteado por Pozo y Gómez (2006), existe una incompatibilidad entre las teorías científicas y las teorías de dominio mantenidas por los sujetos, las cuales se sustentan en ciertos principios epistemológicos básicos pero limitantes ya que cuando los estudiantes construyen

representaciones específicas para predecir o explicar cualquier fenómeno cotidiano, usan un conocimiento intuitivo que les lleva a asumir de forma implícita ciertos principios sobre la naturaleza de la realidad sin cuestionarse sobre la misma (Pozo y Gómez, 2006), esta situación genera una brecha entre lo que el estudiante aprende en la escuela y lo que el maestro quiere que el estudiante comprenda, se podría decir que existe un choque entre la realidad sensorial del estudiante y la realidad científica que intenta explicar el maestro.

Un ejemplo concreto en donde se pone en escena el pensamiento causal sobre el sistémico consiste en que los estudiantes en su conocimiento cotidiano asumen que la sangre es de color rojo y que solamente las venas se encargan de transportarla por todo el cuerpo, esto lo han interiorizado como una propiedad absoluta ya que plantean argumentos como que “así lo ven”, esto no les permite entender que características físicas como el color están asociadas tanto a los componentes que tiene la sangre que hacen parte de su estructura como a la interacción de la luz con los mismos, o que además de las venas existen otros vasos sanguíneos como las arterias y los capilares que también se encargan de conducir la sangre, que están presentes en el cuerpo y cuyas funciones son primordiales para el organismo así no sean perceptibles a simple vista, de esta forma los estudiantes establecen una restricción a sus concepciones sobre el funcionamiento y estructura del SCSH que pueden dificultar la comprensión de las interacciones entre los componentes moleculares, celulares y orgánicos que hacen parte del modelo sistémico (científico) del SCSH, en este sentido Pozo y Gómez (2006) manifiestan que tendemos a atribuir a la realidad propiedades y atributos que son solo producto de nuestra interacción cognitiva mediada por los órganos sensoriales sin cuestionarnos más allá de esto, lo cual es característico del pensamiento causal intuitivo.

Con respecto a lo anterior Vosniadou (citado por Pozo y Gómez, 2006) plantea que existen unos supuestos subyacentes a las teorías de los alumnos que parecen ser globales y comunes con los supuestos epistemológicos del conocimiento científico en diferentes dominios, estos supuestos hacen que el estudiante asuma que el mundo es tal como lo ve y lo que no ve, no existe o al menos le resulta muy difícil de concebir, este pensamiento ingenuo se nutre de ciertas predisposiciones innatas al sistema cognitivo humano como lo son el aprendizaje en los contextos culturales en la vida cotidiana, esta teoría implícita del estudiante difiere de la científica no solo en su forma de concebir el conocimiento sino también en el tipo de entidades que forman parte de la teoría, en su ontología.

Finalmente para López, *et al.*, (2007) la dificultad para el aprendizaje sobre el SCSH radica en que se requiere que los estudiantes comprendan (en concordancia con el modelo científico de la circulación sanguínea) que en primer lugar este sistema se caracteriza por que sus componentes interactúan entre sí y con los demás sistemas del cuerpo modificándose mutuamente, en segundo lugar que existe una causalidad compleja lo cual hace que los cambios que ocurren a nivel del sistema sean el producto de la interacción de varias causas que actúan conjuntamente y en tercer lugar que el sistema debe procurar por el mantenimiento de un equilibrio, lo anterior contrasta con las concepciones de los estudiantes en donde predomina la poca interacción entre los componentes del sistema, la causalidad lineal simple y la ausencia de equilibrio lo cual se evidencia en el choque entre el pensamiento causal de los estudiantes y el pensamiento sistémico necesario para la comprensión del SCSH.

1.21. Propuesta didáctica y teórica para la enseñanza del SCSH desde la perspectiva sistémica

A partir de la exploración de las concepciones de los estudiantes y de la identificación de los obstáculos epistemológicos asociados a ellas se formula una propuesta de enseñanza que incorpora los principios de la TGS que consta de dos partes: en primer lugar se plantea una metodología que incorpora algunas sugerencias desde la parte didáctica relacionadas con aspectos que deberían tenerse en cuenta para que los estudiantes puedan superar los obstáculos epistemológicos y en segundo lugar un constructo teórico que puede servir de referencia en distintos niveles educativos para abordar el estudio del SCSH.



Figura 17. Componente didáctico y constructos sistémico del SCSH. Fuente: Elaboración de esta investigación.

1.21.1. Componente didáctico:

En relación con las actividades de enseñanza Banet (2008) afirma que se requiere promover iniciativas educativas que favorezcan más la comprensión que la simple memorización, esto requiere realizar una planificación y desarrollar una enseñanza de manera suficientemente fundamentada e intencionada que tenga en cuenta los obstáculos conceptuales identificados.

La propuesta que planteamos se basa en incorporar los fundamentos de la TGS, para ello se debe concebir la práctica de enseñanza como un sistema cuyos componentes están asociados a los saberes que tienen los estudiantes en donde se anclan algunos obstáculos que compiten con el conocimiento científico, el saber pedagógico del docente y los procesos de enseñanza, aprendizaje y evaluación que se desarrollan en el aula de clases.

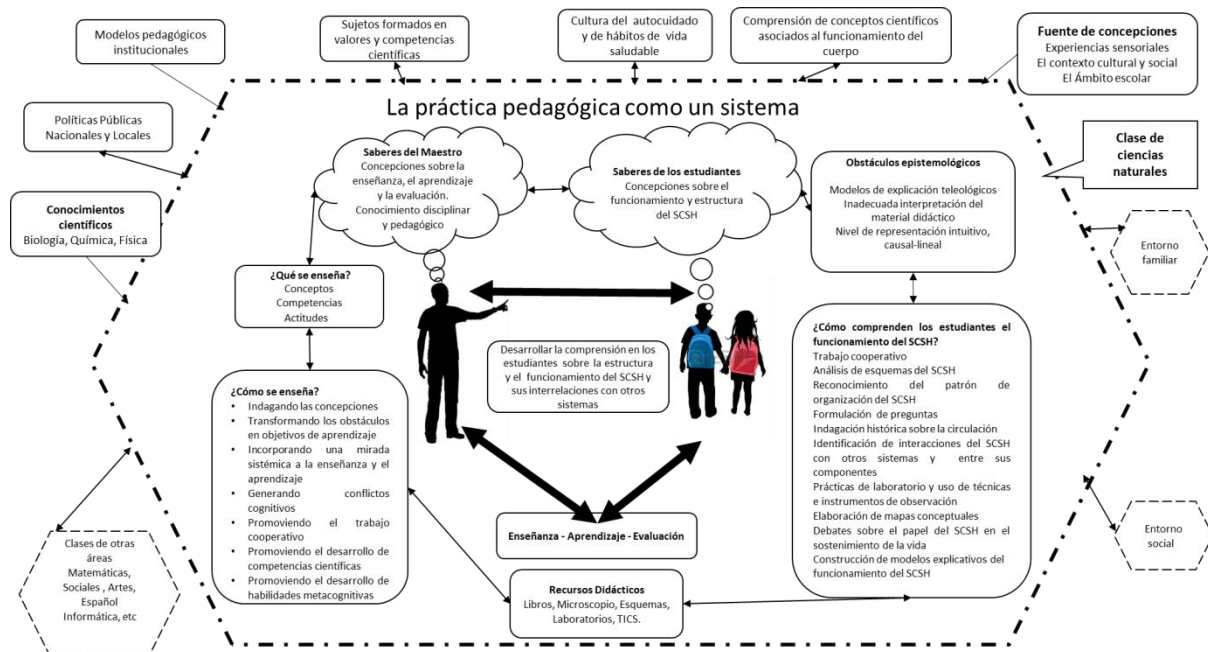


Figura 18 La práctica pedagógica como un sistema. Fuente: Elaboración de esta investigación.

A su vez el sistema práctica pedagógica se encuentra ubicado en un suprasistema que corresponde a la institución educativa en donde se desarrolla la clase y sus características, sin embargo está delimitado por una frontera determinada por la particularidad de la clase de ciencias naturales y que depende del contexto en donde se desarrolla y de los sujetos que interactúan en él, así como unas entradas relacionadas con los conocimientos científicos que se abordan en la clase, las políticas nacionales y locales que permean y orientan los procesos educativos y los modelos pedagógicos propios de cada institución. Las salidas del sistema corresponden con los aprendizajes que se esperan los estudiantes desarrollen a través de las interacciones mediadas por actividades de enseñanza planeadas y diseñadas previamente por el docente, en el caso de las salidas del sistema estas corresponden con los aprendizajes que

podrían estar asociados a la comprensión de conceptos, el desarrollo de competencias científicas, actitudes y valores que promuevan el autocuidado y hábitos de vida saludable (ver figura 18).

¿Cómo implementar en el aula de clases la propuesta didáctica?

A continuación se presentan aspectos generales que buscan servir de orientaciones prácticas para la implementación de la propuesta en distintos ámbitos educativos, sin embargo es importante mencionar que existe flexibilidad en cuanto a las estrategias de enseñanza sugeridas, la formulación de los objetivos y preguntas orientadoras ya que estas pueden ser ajustadas o reformuladas por los docentes de acuerdo a las características de cada población, la priorización de algunos ejes temáticos, el manejo que cada docente quiera darle a las clases, los recursos didácticos con que la institución cuenta y el nivel de profundización al que se pretenda llegar.

En cuanto a los pasos que se proponen para la implementación de la propuesta se sugieren la identificación de obstáculos a partir de la exploración de concepciones, la transformación de estos obstáculos en objetivos de aprendizaje, la formulación de preguntas orientadoras, el diseño y desarrollo de actividades de enseñanza que incorporen la perspectiva sistémica y la evaluación integral y formativa.

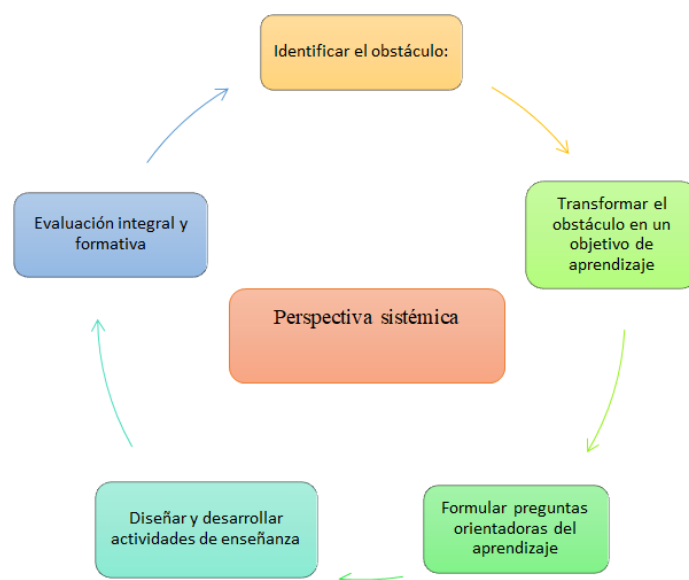


Figura 19 Propuesta didáctica a partir de los obstáculos identificados. Fuente: Elaboración de esta investigación

A continuación, se presenta un ejemplo de cómo podría llevarse a cabo la propuesta en el aula de clase:

Identificar el obstáculo: la exploración y análisis de las concepciones de los estudiantes en relación con las funciones del SCSH permitió evidenciar que desconocen las interacciones del SCSH con otros sistemas, así como sus componentes y asocian sus funciones solo con la circulación de la sangre y el sostenimiento de la vida.

Transformar el obstáculo en un objetivo de aprendizaje: cuando se asume el obstáculo como limitante, pero a su vez como punto de partida en la construcción del saber, este podría transformarse en un objetivo de aprendizaje que puede guiar el proceso educativo:

- ✓ Los estudiantes comprenderán que el SCSH establece múltiples relaciones con otros sistemas del cuerpo, que está conformado por distintos componentes que se interrelacionan entre sí y cuyas funciones integradas permiten el sostenimiento de la vida

Formular preguntas orientadoras del aprendizaje: en relación con el objetivo formulado se plantean las siguientes preguntas que guiaran el proceso de aprendizaje y el diseño de las actividades:

- ✓ ¿Cuáles son las interacciones que establece el SCSH con otros sistemas del cuerpo?
- ✓ ¿Cómo se interrelacionan entre si los diferentes componentes del SCSH y cuáles son las propiedades que emergen producto de estas interacciones?
- ✓ ¿Qué papel cumplen cada uno de los componentes del SCSH en el funcionamiento del organismo y el sostenimiento de la vida?

Diseñar y desarrollar actividades de enseñanza: algunas actividades de enseñanza que podrían diseñarse para superar el obstáculo tomado como ejemplo podrían ser:

- ✓ Realización de prácticas de laboratorio para la observación y estudio de estructuras microscópicas y macroscópicas que hacen parte del SCSH.
- ✓ Elaboración de esquemas o diagramas de interacciones y funciones por parte de los estudiantes.
- ✓ Construcción de modelos a escala que incluyan sus componentes y permitan explicar las funciones del SCSH

- ✓ Búsqueda de información histórica sobre el descubrimiento de algunas estructuras del SCSH y las dificultades con que se enfrentaron los investigadores para poderlas identificar.
- ✓ Realización de debates sobre la importancia del SCSH.

Evaluación integral y formativa: Realizar una evaluación integral y formativa durante todo el proceso que permita generar una retroalimentación tanto a los estudiantes como a los docentes en relación con los progresos en el aprendizaje y la superación del obstáculo.

Sugerencias de objetivos, preguntas y actividades de enseñanza para el aprendizaje del SCSH desde una perspectiva sistémica.

En relación con los obstáculos que subyacen a las concepciones que tienen los estudiantes sobre el funcionamiento y estructura del SCSH, se plantea para su superación su transformación en objetivos, así mismo se proponen unas preguntas orientadoras que pueden ser utilizadas como dinamizadoras de la enseñanza y se sugieren unas actividades para el aprendizaje sobre las cuales se fundamenta el constructo sistémico propuesto para la comprensión sobre el funcionamiento del SCSH.

Tabla 22 *Objetivos, preguntas orientadoras y actividades para el aprendizaje.*

Objetivos de aprendizaje	Preguntas orientadoras	Actividades propuestas
Sobre el SCSH en general. Comprender cuál es el patrón de organización del SCSH en el cuerpo y como funciona	¿Cuáles son los componentes del SCSH y cuál es su patrón de organización?	Observación y análisis de diferentes esquemas del SCSH e identificación de sus principales componentes Discusiones grupales sobre el por qué los esquemas de los libros incluyen componentes que no pertenecen al SCSH
	¿Qué interacciones se dan entre los componentes del SCSH?	Identificación de las interacciones que establece los componentes que conforman el SCSH entre si
	¿Qué relaciones establece el SCSH con otros sistemas del cuerpo?	Identificación de las interacciones que establece el SCSH como otros sistemas del cuerpo
Comprender que las funciones del SCSH están relacionadas con procesos como transporte, defensa, reproducción, excreción y comunicación	¿Cuáles son los procesos y funciones que lleva a cabo el SCSH que permiten el mantenimiento de la vida y el funcionamiento del cuerpo?	Elaboración de mapas conceptuales y esquemas por parte de los estudiantes que muestren las distintas interacciones previamente identificadas
	¿Qué ocurriría en el organismo si el SCSH no pudiera cumplir con su papel?	Debates sobre la importancia del SCSH en el organismo para el mantenimiento de la vida y el funcionamiento del cuerpo
Sobre los conductos sanguíneos	¿Cuáles son los conductos que utiliza la sangre para circular en el organismo, cuáles son sus funciones y que relaciones se establecen entre estos?	Identificación de las diferencias a nivel anatómico y funcional entre venas, arterias y capilares
Reconocer el papel que cumplen los capilares, las arterias y las venas		Observación con ayuda del microscopio o de fotografías de la anatomía de venas, arterias y capilares

<p>para el funcionamiento del cuerpo</p>	<p>¿Qué pasaría con nuestro cuerpo si no existieran los capilares sanguíneos?</p> <p>¿Qué relación establecen los capilares con las células del cuerpo?</p>	<p>Construcción de modelos del SCSH en escala donde se haga énfasis entre las diferencias de los conductos que transportan la sangre y su función</p> <p>Indagación por parte de los estudiantes sobre las dificultades que se presentaron en la historia para el descubrimiento de los capilares</p> <p>Exposiciones, debates o investigaciones en donde se concluya cual es la importancia de los capilares en el funcionamiento del organismo y los procesos que ocurren en ellos</p>
<p>Sobre la sangre</p> <p>Comprender que la sangre tiene una composición celular y líquida cuyos componentes se producen a partir del trabajo mancomunado de distintos órganos.</p> <p>Identificar el mecanismo por el cual el cuerpo puede fabricar sangre nueva</p>	<p>¿Cuáles son los componentes celulares y químicos de la sangre?</p> <p>¿Por qué son importantes las plaquetas, los glóbulos blancos y los glóbulos rojos para el funcionamiento del cuerpo?</p> <p>¿Cuál es el papel del plasma sanguíneo en el organismo?</p> <p>¿Cuáles son las funciones que cumple la sangre que permiten el sostenimiento de la vida?</p> <p>¿Cuáles son las sustancias que transporta la sangre y como las distribuye en el cuerpo?</p> <p>¿Dónde y cómo es que se produce la sangre?</p> <p>¿Por qué algunas personas afirman que la sangre es verde o azul, cual es el color real de la sangre?</p>	<p>Observación de las estructuras celulares de la sangre a través del uso del microscopio</p> <p>Análisis de resultados de exámenes de sangre</p> <p>Observación de esquemas y fotografías en donde se pueden diferenciar los componentes celulares del plasma sanguíneo</p> <p>Realización de pruebas químicas con muestras de sangre para identificar sustancias presentes en ella</p> <p>Elaboración de modelos a escala de los componentes de la sangre.</p> <p>Indagación histórica sobre creencias e ideas acerca de la sangre y contrastación con las ideas científicas sobre la composición y función de la sangre.</p> <p>Estudio sobre el origen de la idea en algunos países de que las personas de la nobleza son de sangre azul-</p>
<p>Sobre el corazón</p> <p>Identificar la ubicación exacta del corazón en el organismo y explicar el porqué de esta ubicación</p> <p>Identificar las estructuras internas y externas del corazón y asociar esta estructura a su funcionamiento y el papel que desempeña en el cuerpo</p>	<p>¿Dónde se encuentra ubicado nuestro corazón? ¿Por qué se encuentra ubicado allí?</p> <p>¿Cómo es nuestro corazón por dentro y por fuera? ¿Por qué tiene esa estructura?</p> <p>¿Cómo funciona nuestro corazón?</p>	<p>Construir modelos explicativos del funcionamiento del corazón con material reciclable</p> <p>Creación de estetoscopios y su utilización para que los estudiantes identifiquen la ubicación del corazón.</p> <p>Observación de videos de cirugías de corazón</p> <p>Realización de disecciones del corazón en laboratorio</p>
<p>Sobre la circulación sanguínea</p> <p>Comprender el mecanismo y el modo en que circula la sangre</p>	<p>¿Cómo y por donde circula la sangre dentro de nuestro cuerpo?</p>	<p>Construir un modelo del SCSH, teniendo en cuenta los componentes del mismo (Corazón, vasos sanguíneos y sangre). Este debe describir el funcionamiento y las funciones del corazón; para los vasos sanguíneos representar las características de estos (Diámetro, paredes...) y desde la sangre mostrar y explicar el plasma sanguíneo y los componentes celulares.</p>

Constructo teórico del SCSH desde una perspectiva sistémica.

La revisión de las concepciones de los estudiantes de grado séptimo y décimo sobre la estructura y el funcionamiento del SCSH, nos permitió observar que los estudiantes tienen dificultad para establecer interrelaciones entre componentes, lo que niega la posibilidad de hacer visiones panorámicas de un fenómeno en particular. Este reconocimiento nos invitó a reflexionar en nuestras prácticas pedagógicas y la manera tradicional de seguir enseñando la biología por componentes o particiones.



Figura 20 Muestra el esquema del enfoque tradicional empleado por docentes y libro de texto.

Este enfoque muestra a las ciencias como un conjunto de conocimientos acabados y descontextualizados como lo han señalado: Campanario y Moya (1999), demostrando que no avanzamos en la llamada alfabetización científica.

Creemos que el problema de esto ni siquiera radica en la información porque ahora es más abundante, sino en la visión o enfoque que le damos. El lenguaje empleado en las ciencias rara vez vuelve concreto lo abstracto, tangible lo intangible, común lo científico, por lo que resultan para los estudiantes ajenas e inalcanzables, en donde tal vez el más olvidado no sea el SL como lo reporta Olmos y Gavidia (2014), sino la célula, “la estructura básica de todo ser vivo” y es que. ¿Qué diferencia lo vivo de lo no vivo? Un hilo muy delgado que aún no podemos explicar, un componente estructural llamado: célula, que es capaz de: alimentarse, reproducirse, repararse, nacer, morir, etc... y acaso, ¿eso no es lo que es capaz de hacer nuestro cuerpo como organismo? Por esto, proponemos un enfoque diferente, desde una perspectiva sistémica que permita establecer más relaciones entre componentes más integradora como lo es el modelo sistémico y... ¿Qué mejor excusa que tomarnos a nosotros como punto de referencia?

Debemos partir que los seres humanos como cualquier organismo son el resultado de un patrón de organización particular: cuya formación partió de una única célula, que se fue dividiendo y cada división se diferenció y especializó en tejidos, órganos, sistemas y que finalmente *estructuró* el organismo. Por tanto, somos el resultado de billones de células trabajando de forma mancomunada y organizada, y a este conjunto, al cuerpo humano, a partir de ahora lo llamaremos el supra-sistema, debido a que, si nos paramos desde el componente

ecosistémico hay un conjunto de seres vivos y características ambientales que condicionan nuestra existencia al que se llamará hipersistema, somos un pequeño punto dentro de él.

Dentro del suprasistema, elegimos uno de los sistemas, el SCSH, porque tiene un sistema de vías que transportan diferentes sustancias a todo el cuerpo humano a través del torrente sanguíneo y, desde el modelo sistémico, al ser un sistema abierto, que permite entrada y salida de materia, energía e información, contribuye al funcionamiento armónico del cuerpo, permitiéndonos describirlo desde la teoría de sistemas.

El enfoque sistémico que vamos a proponer describe el Sistema Circulatorio Sanguíneo (SCSH) desde:

- La influencia que ejerce el hipersistema al Suprasistema
- Las partes que lo componen y las relaciones con otros sistemas dentro del gran suprasistema llamado cuerpo humano (CH),
- La relación entre sus componentes, a fin de describir su medio interno y externo en término de flujos.

Enfatizando en la relación del sistema circulatorio con otros sistemas como: el digestivo, el respiratorio, el excretor, el linfático y con subsistemas como el de las células, atendiendo al intercambio de materia, de flujo de energía e información. Desde esta visión, se deben establecer jerarquías como: hipersistema, suprasistema, sistema y subsistemas que se interrelacionan. Por tanto, vamos a iniciar con una descripción detallada del enfoque sistémico, para terminar con una presentación esquemática.

1.22. Influencia del hipersistema al suprasistema

Denominaremos **hipersistema** al “gran sistema” que conforma el ambiente que rodea a los seres vivos, este depende de las condiciones físicas como presión atmosférica, volumen, densidad y temperatura. Desde la biología el hipersistema contiene virus, seres vivos como: microorganismos (protistas, bacterias) y macroorganismos (organismos de los reinos: vegetal, animal y hongo) de los que pueden obtener materia y energía los diferentes suprasistemas; en la que una parte es utilizada por ellos para su funcionamiento y otra se devuelve en forma de calor y desechos.

El hipersistema beneficia los seres vivos porque los provee entre otras cosas, de alimentos, agua y oxígeno indispensables para su existencia, pero también los amenaza con agentes

patógenos, este es el costo del intercambio de la materia, energía e información, como el de su disponibilidad. Una vez ingresan estos recursos el suprasistema debe ser capaz de transformarlos en nutrientes, energía y desechos. Sin embargo, como somos un conjunto celular tan grande, y complejo, las células se organizaron y especializaron en diferentes sistemas que se relacionan para desarrollar con éxito esta tarea.

Por ejemplo, se necesita de la ingesta de alimentos para nutrir a cada célula del suprasistema, es decir del cuerpo humano, de esta tarea se encargó el sistema digestivo, quien recibe, los alimentos, los transforma en nutrientes, emplea algunos y envía el resto al sistema circulatorio para su transporte y distribución a cada célula corporal, cuando ningún sistema aproveche estos recursos los retira del suprasistema como desecho en forma de materia fecal al hipersistema (Figura 21).

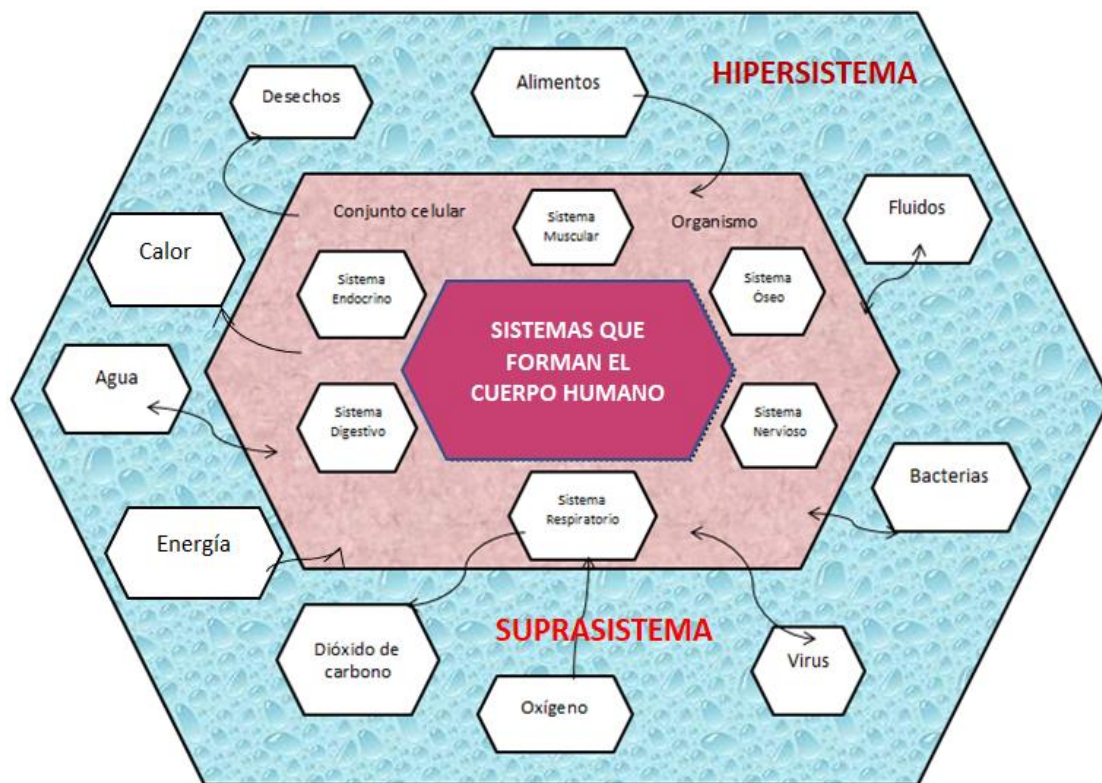


Figura 21. Relación dinámica entre componentes. Muestra las entradas y salidas que se dan entre el Hipersistema y el suprasistema

Por tanto, los nutrientes resultan esenciales para cualquier sistema vivo, por lo que el sistema digestivo necesita del SCSH para que los entregue a cada célula, llamada subsistema, y ellas, a través del metabolismo, construyen o destruyen nuevas moléculas, según las necesidades del suprasistema, y esto requiere de suministro o liberación de energía (Figura 22).

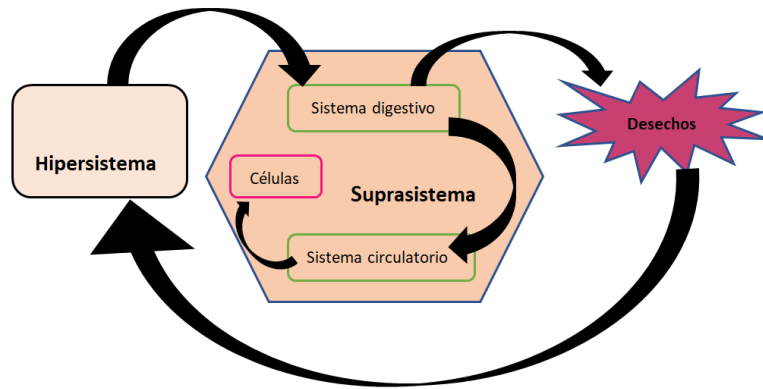


Figura 22 Relación dinámica entre el hipersistema, el suprasistema, algunos sistemas y los subsistemas (las células).

1.23. SCSH desde las partes que lo componen y las relaciones con otros sistemas dentro del gran suprasistema llamado cuerpo humano (CH)

El suprasistema es un conjunto coordinado de sistemas que actúan como un solo cuerpo a fin de cumplir con las funciones de lo “vivo”: nacer de otro semejante, alimentarse, crecer, relacionarse, capaz de responder a estímulos, autorregularse y autor-repararse, morir, entre otras. Inicia su desarrollo con la estructura básica de todo ser vivo: una célula llamada cigoto, que empieza a multiplicarse y diferenciarse en tejidos, órganos y finalmente en sistemas que actúan como un cuerpo coordinado y que siguen un proceso evolutivo-adaptativo hasta la etapa de la adultez, posterior a ello, empieza un proceso degenerativo que culmina con la muerte del organismo.

Si tomamos el cuerpo como un sistema, debemos tener en cuenta que sus primeras etapas de desarrollo ocurrieron en un medio líquido y posterior a su nacimiento el ambiente cambia a un medio gaseoso activando en el cuerpo una circulación menor o pulmonar que hasta antes del nacimiento estuvo “inactiva” como un mecanismo de adaptación-evolución que permite su desarrollo.

1.23.1. Ambiente del Sistema Circulatorio Sanguíneo Humano

El SCSH es un sistema de conexiones que transportan la sangre a los órganos del cuerpo; está formado por el corazón, los vasos sanguíneos (venas, arterias y capilares) y la sangre; este sistema es cerrado en cuanto al flujo sanguíneo, debido a que en condiciones normales la sangre no sale de él, tiene una frontera que se comunica con otros sistemas: excretor, digestivo, linfático, endocrino, nervioso y con subsistemas como la célula; se encuentra a una temperatura promedio entre 35 y 37 grados Celsius, pudiendo aumentar o disminuir parcialmente atendiendo a la fisiología del cuerpo y las condiciones ambientales del suprasistema (demandas energéticas, defensa, concentraciones de solutos dentro del cuerpo, entre otras). La sección más

importante de la frontera son los **capilares**, ya que, a través de estos se da el mayor intercambio de sustancias permitiendo un flujo de materia, energía e información. Sin embargo, las paredes externas de venas, arterias y corazón también pueden realizar procesos de ósmosis atendiendo a las concentraciones de solutos dentro de la sangre.

1.23.1.1. *Del suprasistema al sistema*

Nuestro Suprasistema tuvo su origen a partir de un cigoto que se implantó dentro de las paredes endometriales de un cuerpo femenino, que poco a poco, empieza múltiples procesos de división celular dando lugar a una masa de células (mórula, blástula, gástrula) que empiezan un proceso de diferenciación y especialización en un medio líquido en el que se forman los múltiples órganos que componen el cuerpo humano para que una vez desarrollados y organizados en el suprasistema puedan salir del organismo hospedado (cuerpo femenino) para enfrentarse a un medio gaseoso y continuar su desarrollo de forma independiente.

1.23.1.2. *Proceso de diferenciación del sistema en el suprasistema*

Al iniciar el proceso de diferenciación, esta masa de células formará tres capas embrionarias: endodermo (capa más interna), mesodermo (capa media de células) y ectodermo (capa más externa de células). La formación del sistema a estudiar (SCSH) inicia con la especialización de células mesodérmicas alrededor de la tercera semana de gestación formando los vasos sanguíneos primitivos, gracias a la acción de algunos factores de crecimiento como el factor fibroblástico, la proteína morfogenética del hueso (BMP), el factor de crecimiento endotelial vascular (VEGF, “*Vascular Endothelial Growth Factor*”) y las angiopoyetinas, quienes inducen al mesodermo espláncico del saco vitelino a transformarse en hemangioblastos como se muestra en la (Figura 23).

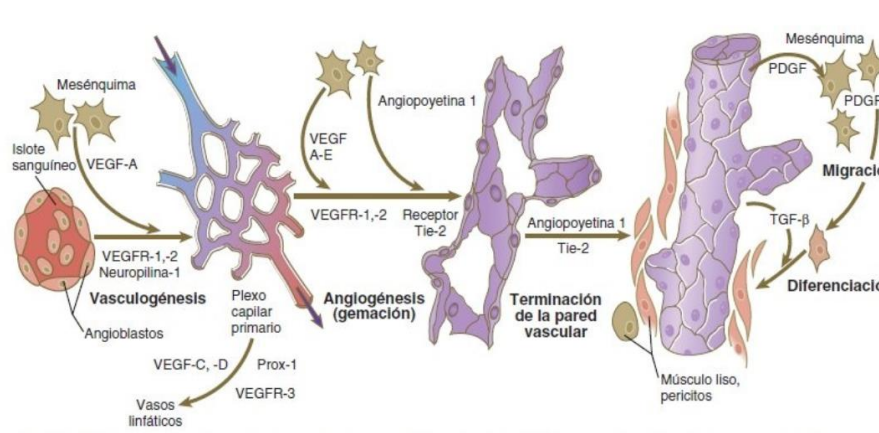


Figura 23 Formación de vasos sanguíneos (vasculogénesis y angiogénesis)

Entre la cuarta y quinta semana de gestación se inicia la formación de arcos aórticos y con ellos la diferenciación de algunas arterias (carótida, subclavia, pulmonar izquierda y derecha, maxilares y hioideas), simultáneamente las venas también se especializan en: onfalomesentéricas, umbilicales y cardinales. Una vez formadas empieza un proceso de organización dentro del cuerpo que continúa incluso en la etapa postnatal junto con un proceso que favorece la extensión de vasos ya formados por gemación de nuevos capilares a través de la migración y proliferación de células endoteliales conocido como angiogénesis y vasculogénesis que permitirán ampliar la red de conexiones que tiene este sistema dentro del cuerpo (Figura 23).

El corazón empieza con la formación de unos cordones angioblásticos en el mesodermo hacia la tercera semana y al finalizarla se fusionan dando origen a un corazón tubular que empieza a latir dentro del embrión a partir de los 23 días. Entre los 27 y 37 días de desarrollo, el corazón se empieza a separar en aurículas y ventrículos a través de la formación de tabiques (Figura 24). Finalmente, el flujo sanguíneo aparece dentro de él alrededor de la cuarta semana, gracias a la acción de células hematopoyéticas que se generan en islotes sanguíneos dentro del saco vitelino, posteriormente, estas células serán transportadas, primero hacia el hígado, después hacia el bazo y finalizan dentro de la médula ósea.

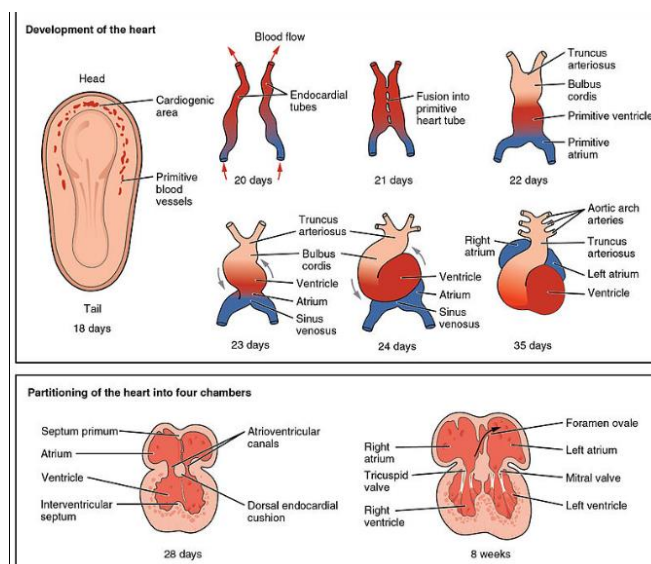


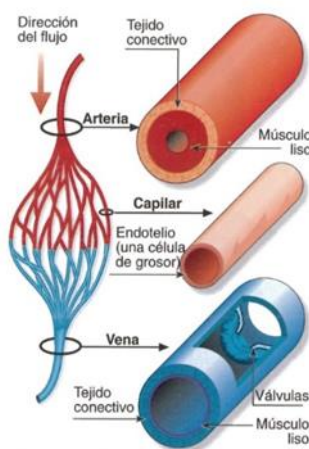
Figura 24 Formación del corazón (tomado de Embryonic_Development_of_Heart.jpg)

1.23.1.3. Fronteras del sistema

Como ya se había mencionado, la frontera del SCSH corresponde a las paredes externas de las estructuras que lo conforman: corazón, venas, arterias y capilares; especialmente de estas

últimas, ya que es en ellas donde se dan los mayores intercambios (materia, energía e información) con sistemas aledaños, por su porosidad y alta capilaridad. Las venas y las arterias son semipermeables, ya que cuando estas llevan en su interior gran cantidad de solutos (sal, azúcar, cuerpos sólidos), el agua del exterior entra en ellas aumentando su presión¹. Su permeabilidad, se halla estrechamente relacionada con su estructura (Figura 25).

Las arterias son estructuras de paredes vasculares fuertes y unos flujos sanguíneos importantes con velocidad y presión alta, transportando la sangre desde el corazón hacia los tejidos.



Las venas son estructuras de paredes finas que manejan presiones bajas, pero aun así, tienen la fuerza muscular suficiente para contraerse o expandirse y, de esa forma, actuar como un reservorio controlable para la sangre extra, dependiendo de las necesidades de la circulación. Poseen válvulas que impiden que la sangre se devuelva y funcionan como conductos para transportar la sangre desde los tejidos al corazón.

Figura 25 Estructura de venas arterias y capilares. En la figura se puede observar que los capilares son los sitios de mayor permeabilidad al ser más delgados, mientras que las venas y las arterias son más gruesas lo que hace que sean menos permeables.

Finalmente, los capilares son estructuras de paredes más finas que las venas y tiene poros que son permeables al agua y a otras moléculas pequeñas, permitiendo el intercambio de líquidos, nutrientes, electrolitos, hormonas y otras sustancias entre los tejidos de otros sistemas a través del líquido intersticial y los capilares (Figura 25).

1.23.2. Complejos identificados

De acuerdo con las múltiples funciones que realiza el SCSH se ha decidido trabajar a través de complejos que muestran la relación interna y externa de él con otros sistemas, formando diferentes bucles que permiten explicar su estructura y funcionamiento. Los complejos propuestos son:

- Complejo de intercambio y transporte de sustancias
- Complejo de regulación y reparación
- Complejo de defensa

¹ Tomado de: <http://enciclopedia.us.es/index.php/%C3%93smosis>

1.23.2.1. Complejo de intercambio y transporte de sustancias

Para los procesos de intercambio y transporte de sustancias existe un componente receptor y emisor llamado capilares: responsables de la recepción y entrega de sustancias procedentes de otros sistemas; un medio “líquido” denominado sangre, que permitirá el flujo de sustancias recibidas por los capilares para su distribución. Un sistema de vías fronterizas llamada vasos sanguíneos (venas, arterias y capilares), que realiza la distribución e intercambio de las sustancias recibidas y evita que la sangre salga del SCSH, manejando dos procesos: el de recepción y entrega de materias primas para su procesamiento en los diferentes subsistemas celulares (tejidos) a través de un flujo sanguíneo en el que se usan las arterias y el de recepción y entrega de desechos para su eliminación a través de un contraflujo en el que sus vías son las venas y finalmente, existe una fuente generadora de movimiento, el corazón, que permite que las sustancias recibidas sean bombeadas y distribuidas al lugar en donde se requieren y quien es controlado a su vez por un sistema externo, el sistema nervioso.

Es importante aclarar que dentro del cuerpo humano existe una excepción a la regla para recepción y desecho de sustancias cerca al corazón, donde la vena pulmonar es rica en oxígeno y las arterias pulmonares transportan sangre pobre en oxígeno.

Para desglosar un poco más los procesos de intercambio y transporte mediados por los componentes anteriores, se hará una diferenciación desde su sustancia de transporte en:

- Intercambio y transporte de gases respiratorios
- Intercambio y transporte de nutrientes

1.23.2.1.1. Intercambio y transporte de gases respiratorios

Este proceso contribuirá al mantenimiento homeostático del suprasistema, al permitir el ingreso de aire del hipersistema desde la nariz, quien lo direcciona hasta los pulmones, gracias al proceso de inspiración, dentro de unas estructuras llamadas alveolos pulmonares. Allí, los capilares alveolares por procesos de difusión permiten el ingreso del Oxígeno disuelto al SCSH en donde los glóbulos rojos que circulan dentro de la sangre encuentran afinidad por el O₂ y el CO₂ y les sirven a estos gases como medio de transporte para su distribución y entrega en los diferentes lechos tisulares. Considerando que las células utilizan el Oxígeno (O₂) como materia prima para la extracción de la energía contenida en los nutrientes y como resultado de sus actividades metabólicas produce al Dióxido de carbono (CO₂), como sustancia de desecho.

Hay que mencionar que evolutivamente el hipersistema ha cambiado para el suprasistema, pues cuando estaba en el vientre materno su hipersistema era líquido, por lo que los pulmones allí no cumplían ninguna función y el intercambio de gases se daba por procesos de difusión a través del cordón umbilical gracias a una vena que llega hasta el corazón.

Note que en ambos procesos el fetal y el adulto requieren de oxígeno que ingresa a los capilares por procesos de difusión, y de esta pasa a arteriolas que contienen glóbulos rojos afines con el oxígeno facilitando su ingreso. Este oxígeno es transportado a través de la vena pulmonar hasta la aurícula izquierda del corazón, quien la envía al ventrículo izquierdo para ser impulsada a todas las partes del cuerpo por medio de las arterias a los subsistemas celulares en los lechos tisulares (“líquido intersticial”).

Del líquido intersticial algunas células incorporan en su interior el O₂ para sus procesos metabólicos y eliminan al mismo tiempo CO₂, gas que ingresa a los capilares venosos por procesos de difusión y es enviado a las vénulas, en donde los glóbulos rojos transportan por las venas el gas hasta la aurícula derecha, de allí pasa al ventrículo derecho y este envía la sangre rica en dióxido de carbono a los pulmones, a través de las arterias pulmonares para que por procesos de filtración llegue a los capilares sólo el dióxido de carbono y se elimine por la nariz con el proceso de exhalación.

Una vez el glóbulo rojo ha entregado el CO₂ a los capilares alveolares para su expulsión, continúa su paso para recibir oxígeno y repetir el ciclo nuevamente.

Tabla 23 *Resumen del transporte e intercambio de gases*

Componente del sistema	Función	Procesos o reacciones	Sustancias de entrada	Sustancias de salida	Destino de las sustancias producidas
Pulmones	Conectar el Hipersistema con el sistema a través del flujo de gases	Permitir la entrada y salida de gases en el suprasistema	Aire	Dióxido de carbono Vapor de agua	Interior o exterior del suprasistema
Capilares	Capturar el Oxígeno disuelto en el aire alveolar(pulmones) por procesos de difusión	Intercambia con las células O ₂ por CO ₂ y entrega los gases capturados a los glóbulos rojos para su transporte y distribución en el cuerpo	Nitrógeno Oxígeno Dióxido de carbono Otros gases Vapor de agua	Dióxido de carbono	Subsistemas celulares
Venas	Delimitar las vías de transporte para la eliminación del dióxido de carbono producido	Funciona en contra de la gravedad y lleva la sangre pobre en O ₂ de las células al corazón para su	Sangre pobre en oxígeno	Sangre pobre en oxígeno	Aurícula derecha del corazón

	por el cuerpo a partir de sus actividades metabólicas.	eliminación a través del pulmón a excepción de las venas pulmonares.			
Arterias	Delimitar las vías de transporte para la distribución del oxígeno disuelto en los glóbulos rojos hasta los capilares de los lechos tisulares	Funciona en favor de la gravedad y lleva la sangre rica en O ₂ desde el ventrículo izquierdo del corazón hasta el lecho tisular a excepción de las arterias pulmonares	Sangre oxigenada	Sangre oxigenada	Capilares arteriales para entrega por difusión en lechos tisulares
Sangre	Medio líquido que sirve como vía de transporte para los gases disueltos	Permitir el flujo de sustancias de forma continua y con un volumen fijo	Gases disueltos	Gases disueltos carbonados	Subsistemas celulares
Glóbulos rojos	Atraer a el Oxígeno y al dióxido de carbono para servir como medio de transporte	Transportar el O ₂ a los capilares de los lechos tisulares por las arterias y recoger el CO ₂ para llevarlo a los capilares alveolares por las venas	Oxígeno	Dióxido de carbono	Subsistema celular (O ₂) Hipersistema (CO ₂)

1.23.2.1.2. Intercambio y transporte de nutrientes

Este proceso permitirá el intercambio de materia y energía del hipersistema con el suprasistema para las funciones energéticas, de regulación y de construcción. De ahí, que los alimentos se dividan en: reguladores, constructores y energéticos, pues es a través de los nutrientes que los sistemas celulares pueden continuar un proceso de evolución- adaptación (regeneración de algunas células, crecimiento, diferenciación, cambios fenotípicos).

En el cuerpo humano este proceso es mediado por el sistema digestivo, quien obtiene alimentos de origen vegetal, animal u otros del hipersistema, los cuales, son ingeridos por la boca y una vez iniciados los procesos de digestión mecánica (con los dientes), son conducidos hacia el estómago, en donde, sufren una serie de transformaciones que procede a la extracción de nutrientes para que en las diferentes porciones del intestino a través de procesos de ósmosis y difusión puedan ser recibidos por los capilares del SCSH y transportados por las vías arteriales hasta los lechos tisulares para su aprovechamiento y transformación. La materia que no logra ser procesada se conduce al intestino grueso para su eliminación del suprasistema por el ano en forma de materia fecal.

En los lechos tisulares cada célula realiza procesos de transformación conocidos como metabolismo, pueden ser anabólicos o catabólicos y pueden requerir o liberar energía según su función. En los procesos anabólicos las células utilizan los nutrientes obtenidos de los

alimentos para la construcción de nuevas estructuras que ayudan al crecimiento del cuerpo y requieren de una inversión de energía, por lo que estos suelen ser más demorados.

Los procesos catabólicos son aquellos en los que las células utilizan a los nutrientes para “romperlos” en compuestos más sencillos, a través de, procesos de combustión mediados por el oxígeno obtenido mediante la respiración, liberando energía que será empleada por todo el suprasistema (cada sistema y subsistema que le compone) para su funcionamiento. Los residuos producidos de la actividad catabólica de los subsistemas celulares serán conducidos a los lechos tisulares en donde serán recogidos por los capilares venosos del SCSH, y conducidos al sistema excretor y respiratorio respectivamente. En el sistema excretor se recibirán aquellas partículas sólidas que no fueron aprovechadas por otros órganos o sistemas y gracias al riñón por procesos de filtración serán seleccionadas y redireccionadas hacia el SCSH o conducidas hasta la vejiga para ser expulsados por la uretra a través de la orina. Mientras que los gases producidos por el metabolismo deben viajar hacia el ventrículo derecho del corazón para ser conducidos por las arterias pulmonares hasta el pulmón y ser expulsados por el proceso de exhalación.

Por otra parte, la energía que no es utilizada por el suprasistema se transforma en calor y se devuelve al hipersistema a través de la piel.

1.23.2.2. Complejo de regulación y reparación

Los procesos de regulación en el suprasistema están coordinados por varios sistemas a la vez como lo son: El sistema nervioso, el sistema endocrino, el sistema respiratorio, el sistema digestivo, el sistema excretor y el sistema circulatorio (sanguíneo y linfático). Sin embargo, aunque todos los sistemas son importantes en la regulación y buen funcionamiento del cuerpo, los que permiten el cumplimiento de esta función son: El sistema nervioso que establece múltiples conexiones con todo el organismo para vigilar que exista una homeostasis entre las células que lo forman y los líquidos intersticiales, enviando todo el tiempo información que es traducida a hormonas por el sistema endocrino, quienes viajan a través de la sangre para estimular a las células en la producción de respuestas (bien sea inhibitorias o excitatorias).

En el SCSH el corazón es un componente muy importante para la regulación del sistema, ya que, su función principal es la de bombear sangre hacia los pulmones y órganos periféricos permitiendo que las hormonas producidas por el sistema endocrino lleguen a su objetivo generando una respuesta. Este proceso es realizado por medio de dos bombas separadas; una ubicada al lado derecho la cual bombea sangre hacia los pulmones y la segunda ubicada a la izquierda que bombea sangre hacia los órganos periféricos, cada una de estas se compone de

una bomba de dos cámaras formada por una aurícula y un ventrículo. Las aurículas son bombas débiles de llenado del ventrículo que contribuyen a transportar sangre hacia el ventrículo correspondiente. Los ventrículos aportan la principal fuerza del bombeo para impulsar la sangre hacia la circulación pulmonar por el ventrículo derecho y hacia la circulación periférica por el ventrículo izquierdo (Figura 26).

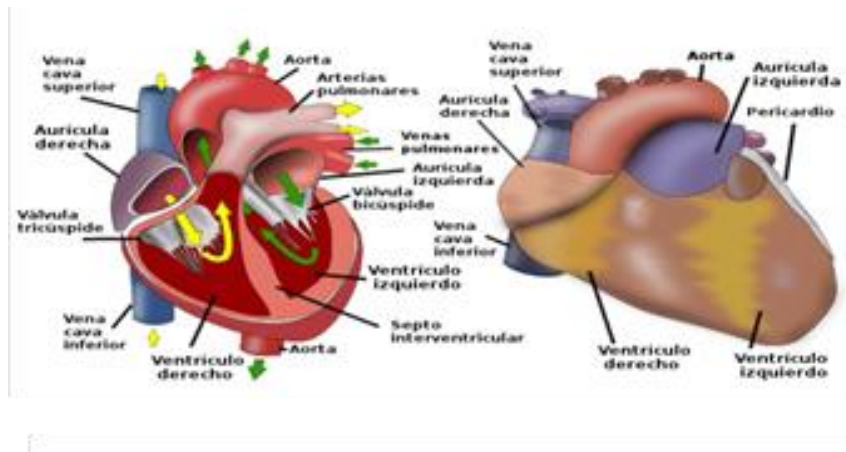


Figura 26 Estructura externa e interna del corazón

Su funcionamiento es sincrónico y ocurre a partir de dos movimientos la sístole y la diástole. En la sístole se contraen las aurículas, de tal forma que, la sangre pasa a los ventrículos, estos se contraen y debido al cierre de sus válvulas, la sangre no se puede devolver y por consiguiente sale por la arteria pulmonar y aorta respectivamente. En la diástole se relaja la musculatura ocasionando que las aurículas y los ventrículos se dilaten esperando que la sangre ingrese de nuevo a las aurículas.

Para facilitar el transporte de las hormonas a través de la sangre es necesario que siempre exista un flujo sanguíneo. Desde la física, el flujo sanguíneo es regulado a partir de dos principios: El primero de ellos depende del comportamiento del fluido (turbulento o laminar), y el segundo hace referencia a las características del fluido, específicamente la viscosidad, que sirve para determinar si el fluido es Newtoniano o No Newtoniano.

Los flujos que tienen un comportamiento laminar se caracterizan porque el vaso a través del cual circulan siempre mantiene el mismo diámetro, por lo que su velocidad permanece constante. Sin embargo, cuando el vaso presenta alguna obstrucción o cuando se pasa de una vena a una vénula, de vénula a un capilar, de un capilar a una arteriola, de una arteriola a una arteria, el diámetro varía, de tal forma que la velocidad aumenta (volviendo el flujo turbulento) o disminuye (Figura 27).

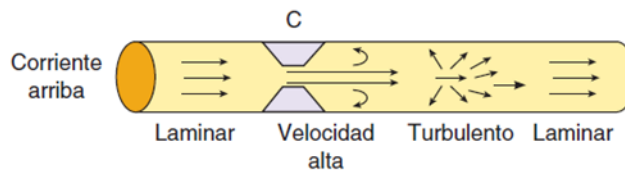


Figura 27 Variación del comportamiento en el flujo sanguíneo de acuerdo con los cambios de diámetro en un vaso sanguíneo.

Cabe aclarar que, el flujo de sangre laminar en los vasos consiste en el flujo aerodinámico de la sangre en donde cada capa se mantiene a la misma distancia con respecto a la pared del vaso, este se caracteriza porque el flujo sanguíneo se mantiene en equilibrio y ocurre a través de los vasos sanguíneos largos y lisos. Además, la porción de sangre más central se mantiene en el centro del vaso (Hall y Guyton 2011).

Por otro lado, el flujo de sangre turbulento en los vasos se produce por una reducción en el diámetro del vaso provocando que la sangre atraviese estos en dirección transversal y longitudinal, formando espirales que se denominan corrientes en torbellino.

En segundo lugar, para las características de la sangre se puede hablar de un fluido llamado plasma que contiene macromoléculas como las proteínas y otros compuestos, entre ellos los glóbulos rojos, lo que hace que se pueda clasificar como un fluido no newtoniano; esta clasificación es reiterada por Ortiz, Araya y Vílchez 2014 cuando definen “La sangre es un fluido incompresible, viscoelástico y de comportamiento no newtoniano”. Sin embargo, se puede considerar la sangre como un fluido newtoniano cuando el diámetro del conducto sanguíneo es mayor que el tamaño de los glóbulos rojos como lo señalan Ortiz *et al.*, 2014 “Se ha demostrado que es posible modelar la sangre como un fluido homogéneo en los grandes vasos sanguíneos, en los cuales el diámetro es al menos dos órdenes de magnitud mayor que el tamaño de los glóbulos rojos... Los efectos no newtonianos de la sangre son despreciados cuando el diámetro del vaso sanguíneo considerado es mucho mayor que el diámetro de las partículas sólidas en el fluido sanguíneo” (P.67).

1.23.2.3. Complejo de defensa del organismo (glóbulos blancos)

Todo sistema vivo es capaz de recibir estímulos y generar respuestas a estos, siendo favorables o desfavorables según el estímulo recibido y el metabolismo del organismo. Como el cuerpo humano tiene varias vías de acceso para los cuerpos materiales que circundan el hipersistema, así como ingresan materias primas indispensables en sus procesos vitales también ingresan agentes patógenos (virus, bacterias, sustancias tóxicas) que ponen en desequilibrio el suprasistema afectando su funcionamiento.

Para ello el suprasistema ha entrenado ejércitos celulares capaces de identificar alteraciones en el suprasistema (físicas o de funcionamiento), presencia de cuerpos extraños o sustancias químicas tóxicas y liberar respuestas inmediatas a través de la circulación sanguínea y linfática. Esta segunda de vital importancia en la defensa del organismo, ya que, algunos glóbulos blancos, encargados de la defensa del organismo procedentes de la médula ósea se activan en el timo (órgano del sistema linfático), para defender el cuerpo contra agentes extraños, patógenos o alteraciones internas detectadas en el suprasistema por el Sistema Nervioso. Los glóbulos blancos de acuerdo a su aspecto externo se clasifican en granulares: neutrófilos, basófilos y eosinófilos y agranulares: linfocitos y monocitos (Figura 28); son capaces de atravesar cualquier vaso sanguíneo (vena, arteria o capilar) para llegar y actuar en el tejido afectado de forma casi inmediata gracias al trabajo coordinado con el sistema nervioso, quien está monitoreando continuamente todo el suprasistema y procesando la información a través del cerebro para enviar señales que son traducidas a hormonas y recibidas por otros sistemas como el SL, para coordinar la actividad de regulación en el cuerpo.

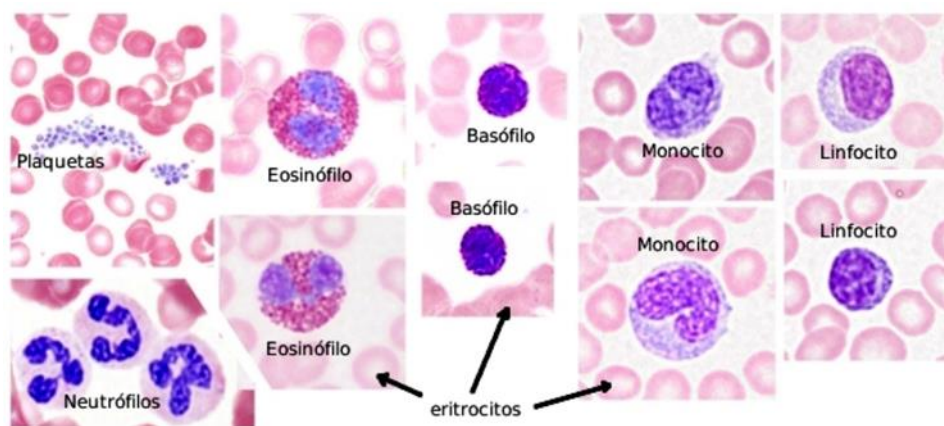


Figura 28 Células sanguíneas y corpúsculos celulares (Megías, *et al.*, 2017 p.6)

Es importante mencionar que los diferentes tipos de glóbulos blancos le permiten al organismo crear un sistema inmunitario capaz de soportar las presiones del ambiente (hipersistema) para mantenerse organizado como sistema; de no existir este complejo de regulación el sistema sería destruido por su incapacidad para autorregularse y auto-equilibrarse. Los linfocitos (glóbulos blancos a granulares) son capaces de detectar antígenos y generar receptores o anticuerpos capaces de inhibir, bloquear y destruir los agentes extraños que entra en el cuerpo, manteniendo de esta forma su equilibrio.

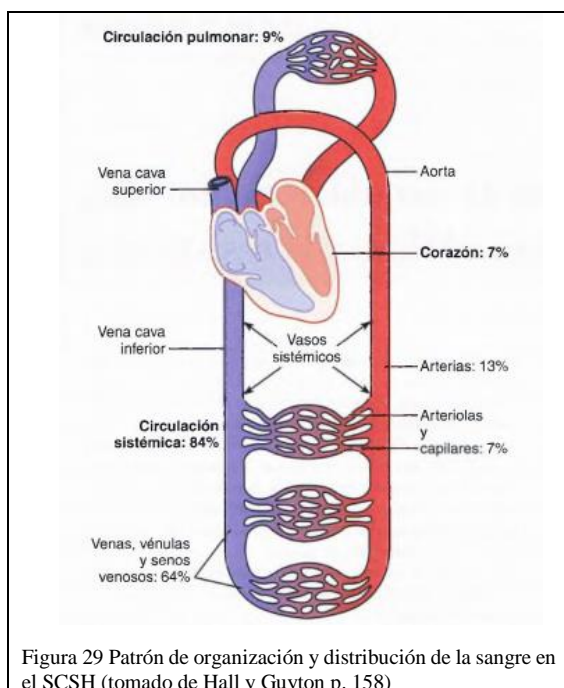
1.24. La relación entre sus componentes, a fin de describir su medio interno y externo en término de flujos

Como ya se había mencionado antes el SCS es un sistema de vías que le permite al cuerpo humano la recepción y entrega de sustancias de diferente índole (líquidos, gases y sólidos) a los diferentes subsistemas que lo componen (tejidos), conectando esta gran red celular para que funcione como un solo cuerpo y permitiendo que a cada parte del cuerpo se le pueda hacer entrega de materias primas y recolección de desechos para su expulsión a través de diferentes sistemas.

El SCSH es indispensable para el cuerpo (suprasistema) en la distribución de materias primas y recolección de desechos, por lo anterior, funciona como un sistema abierto que recibe o expulsa sustancias a través de los capilares principalmente, pero, desde el punto de vista biológico se considera un sistema cerrado, ya que en condiciones normales no permite que la sangre salga de él.

1.24.1. Patrón de organización del sistema

El patrón de organización del sistema circulatorio inicia con el corazón y por doble vía: una sistémica y otra pulmonar.



A través de la vía sistémica la sangre rica en oxígeno es recibida desde el pulmón por la vena pulmonar hasta la aurícula izquierda quien una vez se llena envía su contenido al ventrículo izquierdo y de allí se impulsa a todo el cuerpo a través de la aorta (una arteria principal), una vía que se distribuye por todo el cuerpo y se va ramificando en vías más estrechas conocidas como arteriolas, quienes se van reduciendo cada vez más hasta los capilares arteriales, lugar donde los procesos de filtración y ósmosis aumentan por la capilaridad y porosidad de estas estructuras

permitiendo la formación de los lechos tisulares y sirviendo de lugar de intercambio de sustancias entre los subsistemas celulares y las sustancias producidas por el resto del cuerpo (Figura 29).

La sangre por procesos naturales jamás abandona el sistema de vías del SCSH, por lo que en los capilares arteriales sólo se intercambian las sustancias que la sangre transportó de otros sistemas (materias primas) y recibe las sustancias de desecho producida por los subsistemas celulares a través de una vía de contraflujo que conecta los capilares arteriales con los capilares linfáticos y venosos, estos últimos empiezan recogiendo nuevamente de los lechos tisulares los residuos producidos por todas las células del cuerpo y conduciéndolos a vías más amplias conocidos como vénulas hasta que son dirigidos a una vía principal y más ancha conocida como venas, integrando todas las sustancias recogidas a la vena cava inferior para vaciar su contenido en la aurícula derecha, quien una vez se llena vacía su contenido en el ventrículo derecho para ser impulsado por el corazón hacia los pulmones a través de la arteria pulmonar (Figura 29).

Cuando la sangre venosa llega a los pulmones nuevamente pasa por una red de capilares que la obligan a liberar las sustancias transportadas como el dióxido de carbono en este órgano y recoger de manera simultánea el oxígeno que hay dentro de él y de allí se conduce nuevamente por los capilares venosos quienes se van integrando en una sola vía conocida como la vena pulmonar hasta vaciar su contenido en la aurícula izquierda, para iniciar nuevamente el ciclo de doble circulación. Las vías que conducen sangre al pulmón se encuentran invertidas y se conocen como rutas de circulación pulmonar (Figura 29).

1.24.2. Características emergentes del sistema

Al hacer el estudio sistémico del SCSH se encontró que, aunque este sistema no produce nada para el cuerpo, es indispensable para la comunicación de los subsistemas celulares que forman los diferentes tejidos, órganos y sistemas. Este sistema le ofrece al cuerpo un sistema de vías para su comunicación y en recompensa recibe los nutrientes y sustancias producidos por otros sistemas para su aprovechamiento y distribución.

Aunque al iniciar el estudio sistémico del SCSH se describió como un sistema de vías que permite la conexión en el cuerpo, se encontró que este también ayuda o complementa las funciones de: nutrición, regulación, excreción, crecimiento, reproducción, comunicación y respiración (ver tabla 24)

Tabla 24 *Funciones complementarias*

Función	Descripción
Nutrición	Este proceso sólo se puede llevar a cabo si una vez transformados los alimentos en nutrientes gracias al sistema digestivo pueden ser recibidos y distribuidos a cada célula de forma organizada por el sistema circulatorio sanguíneo, lo que requiere del trabajo coordinado de varios sistemas a la vez y fue descrito en el complejo de intercambio y transporte de sustancias (gases respiratorios y nutrientes).

Regulación	Cualquier anomalía en el funcionamiento del cuerpo humano es reportada por el sistema nervioso y su respuesta suele ser conducida a través del torrente sanguíneo, mediada por hormonas producidas en el sistema endocrino o apoyado en el SL.
Excreción	Los excesos o residuos que circulan por el torrente sanguíneo son conducidos al riñón; órgano del sistema excretor, que contribuye a la eliminación de estos del suprasistema para evitar su intoxicación o sobresaturación.
Crecimiento	Los procesos de angiogénesis y vasculogénesis garantizan que, aunque el cuerpo aumenta en tamaño las vías que lo conectan también se amplíen, respondiendo de esta manera a los procesos de transporte, recolección y regulación en todo el suprasistema.
Reproducción	La maduración de los órganos sexuales secundarios es el resultado de la actividad hormonal coordinada por el sistema endocrino y nervioso, quienes producen hormonas que se distribuyen por el cuerpo a través del flujo sanguíneo activando o inhibiendo procesos celulares.
Comunicación	La mayoría de los procesos de señalización química en el organismo son conducidos a través del flujo sanguíneo.
Respiración	Los requerimientos de oxígeno de cada célula, son suplidos gracias al intercambio de gases descrito en el complejo de intercambio y transporte de sustancias (gases respiratorios y nutrientes).

Las dinámicas anteriores, sería lo que Hmelo-Silver y Col. (2000) definieron como sistema: “el sistema dinámico como un todo coherente compuesto de múltiples componentes que trabajan cooperativamente ambos en un solo nivel y entre niveles”.

1.24.3. Corrientes de entrada y salida

Cómo ya se mencionó antes el SCSH permite la entrada de materias primas para las diferentes células que forman el cuerpo y recolecta los desechos o subproductos del metabolismo para su expulsión (ver tabla 25)

Tabla 25 *Corrientes de entrada y salida*

Tipo de corriente	Descripción
Entrada INPUT:	El sistema óseo aporta al SCSH las células sanguíneas como glóbulos rojos y glóbulos blancos; el endocrino provee hormonas para coordinar las respuestas controladas y coordinadas del cuerpo, el digestivo suministra nutrientes y algunos cuerpos extraños, el linfático patrulla el cuerpo a través del SC para destruir agentes extraños, el respiratorio aporta gases al SCSH y el nervioso información que ayuda a la vigilancia, control y regulación de todo el suprasistema.
Salida OUTPUT:	Los capilares venosos del SCSH recogen los diferentes desechos producidos por los subsistemas celulares cómo CO ₂ , desechos metabólicos, residuos de cuerpos extraños y los conducen por vénulas y venas hasta órganos de otros sistemas cómo: riñón del sistema urinario, pulmones en el sistema respiratorio, e incluso piel para la expulsión de sustancias por procesos de excreción, respiración o transpiración.

La tabla 25 muestra las corrientes de entrada y salida del SCSH. Fuente: Elaborada en esta investigación.

1.24.4. Tipos de Retroinput

Los retroinput son aquellos procesos que se dan en doble vía entre el interior y exterior de las fronteras del sistema, manteniendo el equilibrio dentro del SCSH, en este caso, es muy evidente que los procesos de entrega y recolección en los capilares se dan de forma simultánea, garantizando de esta manera que el flujo sanguíneo que va dentro de él sea constante.

1.24.5. Retroalimentación

Los procesos de retroalimentación en este sistema suelen estar controlados por el sistema nervioso quien realiza un monitoreo continuo de su funcionamiento y envía señales químicas al cerebro para producir hormonas a través del sistema endocrino que circulan dentro de la sangre y desencadenan respuestas excitatorias, inhibitorias, de complementación, inespecíficas o específicas que atienden a la suplencia de las necesidades corporales.

Tabla 26 *Retroalimentación positiva y negativa*

Clase	Descripción
Positiva cuando	El cuerpo humano realiza actividad física, aumentan las demandas de oxígeno y nutrientes para la producción de ATP, por lo que las demandas de estos elementos a nivel celular se incrementan y esto se ve reflejado en un aumento de la frecuencia cardiaca (aumento del pulso) y una respiración más rápida para disminuir los tiempos de entrega de estas sustancias a los lechos tisulares.
	En el SCSH hay exceso de iones o partículas disueltas las venas, arterias y capilares pueden permitir un ingreso adicional de agua que aumenta la presión sanguínea.
	Una persona se enfrenta a situaciones tensas el sistema endocrino aumenta la producción de adrenalina en el cuerpo, amplificando y acelerando diferentes procesos dentro de él.
Negativa cuando	El torrente sanguíneo lleva demasiados cuerpos extraños en su flujo el sistema nervioso envía información a la médula ósea y al SL para aumentar la producción de glóbulos blancos y evitar que estos cuerpos extraños afecten el funcionamiento del cuerpo.
	En el hipersistema disminuye la temperatura la reacción del cuerpo para evitar la pérdida de energía y calor es producir la vibración de las fibras musculares para generar calor y mantener las condiciones internas del sistema.
	El cuerpo ingiere alimentos su metabolismo en general disminuye para que el cuerpo pueda invertir la energía necesaria en la transformación de estos a nutrientes, razón por la cual el cuerpo puede experimentar una ligera somnolencia.
	La persona se encuentra en situaciones relajantes el sistema endocrino a nivel hormonal aumentan los niveles de dopamina y disminuyen los niveles de cortisona dentro del cuerpo que viajan por el torrente sanguíneo y logrando de esta manera su homeostasis.
	Casi todos los procesos de regulación en el cuerpo se dan a través de hormonas que viajan por el torrente sanguíneo y son capaces de inhibir o estimular diferentes procesos celulares.
	En el torrente sanguíneo no hay demasiados cuerpos extraños o el cuerpo se halla sometido a periodos de estrés y tensión, esto inhibe la producción de glóbulos blancos en el cuerpo, volviéndonos más vulnerables a las enfermedades.

Conclusiones

- En esta investigación se identificaron los obstáculos epistemológicos asociados con la comprensión de la estructura y el funcionamiento del Sistema Circulatorio Sanguíneo Humano por parte de estudiantes de séptimo y décimo en dos colegios, los principales hallazgos sirvieron de base para el diseño de una propuesta didáctica y teórica, en donde se incorporan los principios básicos de la Teoría General de Sistemas y puede ser implementada en diversos contextos educativos.
- El diseño de dos instrumentos, tipo cuestionario de opción abierta, los cuales fueron validados y posteriormente aplicados fue de gran utilidad en la identificación de concepciones de los estudiantes acerca del funcionamiento y estructura de SCSH, y pueden servir de insumo para el desarrollo de futuros estudios.
- El análisis de las concepciones de los estudiantes permitió identificar obstáculos epistemológicos que limitan la comprensión del SCSH, pero a su vez sirven de base para avanzar en el aprendizaje y que además están relacionados con el mecanismo que utilizan para interpretar la realidad y la interacción social y cultural, dentro de estos obstáculos encontramos la utilización de modelos de explicación teleológicos finalistas, predominio de un nivel de representación intuitivo basado en un pensamiento causal-lineal y la inadecuada interpretación del material didáctico usado para la divulgación del saber científico que en ocasiones refuerza concepciones contrarias a las científicas.
- La inclusión de la perspectiva sistémica en la enseñanza y la exploración de las concepciones de los estudiantes, puede tener un gran impacto en el aprendizaje ya que permite la transformación de dificultades en objetivos de aprendizaje los cuales sirven de orientadores de la planeación y el diseño de actividades de enseñanza que podrían llegar a promover a través de su abordaje la superación de obstáculos favoreciendo una evolución conceptual y la comprensión de conceptos científicos.
- Para el diseño del constructo sistémico el uso de la histología, la embriología, la fisiología y la biología de forma conjunta y dinámica facilitó ampliar las relaciones entre componentes permitiendo explicar la estructura y el funcionamiento del SCSH desde una postura más cercana al conocimiento científico.

Prospectivas de la investigación

El constructo sistémico puede servir de herramienta para el diseño de unidades didácticas así mismo para el desarrollo de ejes temáticos que permitan abordar el currículo de una manera interdisciplinar.

Los instrumentos utilizados para la identificación de concepciones alternativas sobre la estructura y funcionamiento del SCSH pueden ser utilizados en otros contextos.

Las concepciones y obstáculos reportados pueden servir de base para el desarrollo de investigaciones que permitan hacer seguimiento a la evolución de las mismas con el paso del tiempo y los años de escolaridad.

Los resultados obtenidos pueden ser contrastados con la utilización de diversas técnicas como entrevistas o actividades que permitan valorar la coherencia, robustez y persistencia de las concepciones reportadas en esta investigación.

La perspectiva sistémica puede servir para dar un nuevo enfoque a los contenidos curriculares abordados en la escuela para la enseñanza de las ciencias naturales.

Referencias

Alkhaldeh, S. A. (2007). Facilitating conceptual change in ninth grade students' understanding of human circulatory system concepts. *Research in Science & Technological Education*, 25(3), 371-385.

Ahopelto I., Mikkilä-Erdmann M., Olkinuora E., Kääpä P. (2011). A follow-up study of medical students' biomedical understanding and clinical reasoning concerning the cardiovascular system. *Adv in Health Sci Educ* 2011.16: 655. <https://doi.org/10.1007/s10459-011-9286-3>.

Arnaudin, M. W., y Mintzes, J. J. (1985). Students' alternative conceptions of the human circulatory system: A cross-age study. *Science Education*, 69(5), 721-733.

Audesirk T., Audesirk G., y Byers B. (Ed. 8ª). (2008). *Biología, La vida en la Tierra*. Pearson Educación.

Bachelard, G. (Ed. 23^a). (2000). La formación del espíritu científico. XXI Siglo veintiuno editores.

Bahar, M., Ozel, M., Prokop, P., y Usak, M. (2008). Science student teachers' ideas of the heart. *Journal of Baltic Science Education*, 7(2), 78-85.

Barrett, K., Barman, S., Boitano, S., y Brooks, H. (Ed. 23^a). (2010). *Ganong Fisiología Médica*. México: McGraw Hill Lange.

Banet, E. (2008). Obstáculos y alternativas para que los estudiantes de educación secundaria comprendan los procesos de nutrición humana. *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales* (58), 34-55.

Basabe, S. (2005). La teoría de sistemas de Niklas Luhmann Apuntes previos para una aplicación a la sociología del derecho. *Revista de derecho*, (4), UASB-Ecuador / CEN • Quito

Beltrán, E., Castro, M., y Peña, A., (2015). El enfoque problémico en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la anatomía y fisiología humana. *Revista Infociencia*. 19 (2), 48-58.

Bertalanfy, L. (1989). *Teoría general de los sistemas: Fundamentos, desarrollo y aplicaciones*. México D.F., México: Fondo de Cultura Económica S.A. de C.V.

Cañal P. (2008). El cuerpo humano: una perspectiva sistémica. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*. 2008, 14(58), 8 – 22.

Campanario J. M., y Moya A. (1999). ¿Cómo enseñar ciencias? principales tendencias y propuestas. Grupo de investigación en aprendizaje de las ciencias. *Departamento de Física. Universidad de Alcalá de Henares*. 28871 Alcalá de Henares. Madrid. 1999, 17 (2), 179-192.

Carrascosa, J. (2005). *El problema de las concepciones alternativas en la actualidad (parte I). análisis sobre las causas que la originan y/o mantienen*. *Revista Eureka Sobre Enseñanza Y Divulgación De Las Ciencias*, 2(2), 183.

Catherall, R. W. (1981). *Children's beliefs about the human circulatory system* doi:10.14288/1.0055282

Chi, M.T., Slotta, J.D. y De Leeuw, N. (1994). From things to a processes: A teory of conceptual changes for learning science concepts. *Learning and instruction*, 4(1) 27-43. DOI: 10.1016/0959-4752(94)90017-5

Cubero, R. (1998). Aprendizaje de la digestión en la enseñanza primaria. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, (16), 33-43.

Cubero, R. (1994). Concepciones alternativas, preconceptos, errores conceptuales...¿distinta terminología y un mismo significado?. *Investigación en la escuela*, (23), 33-42.

Edelsztein, V. y Galagovsky, L. R. (2017). Simplificación de los textos escolares y sus posibles efectos en el aprendizaje. El caso de los sistemas del cuerpo humano en un 5to grado Vol. *Revista de Educación en Biología* 20(2),41-45

Eynard, A. R., Valentich, M.A. y Rovasio, R. A. (Ed. 4). (2008). *Histología y Embriología humana: Bases Celulares y moleculares*. Argentina: Editorial Médica Panamericana S.A.

Escobar, G. C. (2006). *William Harvey: la circulación sanguínea y algunos de sus obstáculos epistemológicos*. *Iatreia*, 19 (2), junio, 2006, pp. 199-205 Universidad de Antioquia Medellín, Colombia.

Galagovsky L.R. y Edelsztein V. (2017). Obstáculos de aprendizaje en niños de 10-11 años sobre el tema sistema circulatorio: una propuesta teórica en base a evidencias. *Enseñanza de las Ciencias, N° Extraordinario* (2017): 4407-4412.

García, J.J. (2014). Sangre azul, calco semántico y etimológico. Desarrollo de una idea de Eugenio Coseriu. *Revista española de lingüística*, 41(1), 45-58

Giordan A., y Vecchi G. (Ed 2ª). (1995). *Los orígenes del saber: de las concepciones a los conceptos científicos*. Sevilla, España. Colec. Investigacion Y Enseñanza. Serie Fundamentos.

Gómez-Leal, A. (1994). Evolución del concepto de la sangre a través de la historia. *Rev Biomed* 5, 161-169.

González, L. M. (2011). Obstáculos para el aprendizaje del modelo de evolución por selección natural. *Biblioteca Digital de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - Universidad de Buenos Aires*. Buenos Aires, Argentina.

Hall, J. E., y Guyton A. C. (Ed. 12ª). (2011). *Tratado de fisiología médica*. Barcelona, España: Elsevier.

Hernández, R., Fernández C. y Baptista, P. (ED.4a). (2006). *Metodología de la investigación*. México D.F., México: McGraw Hill.

Hmelo-Silver, C. E., Holton, D. L. y Kolodner, J. L. (2000). Designing learning about complex systems. *Journal of the learning Science*, 9(3), 247–298.

Izaguirre, R. (1997). El descubrimiento de las plaquetas. *Rev Biomed* 1997; 8:197-208.

Izaguirre A.R. y Micheli A. (2005). Evolución del conocimiento sobre la sangre y su movimiento. *Parte II. Revista de investigación clínica, ISSN 0034-8376*, 57(1), 85-97, 2005.

Le Vay D. (Ed. 2). (2008.) *Anatomía y fisiología humana*. Barcelona, España: Paidotribo.

López A., Postigo Y., y León R. (2007). La naturaleza de las representaciones sobre el sistema circulatorio. Pozo J., Camacho F. *Cambio conceptual y representacional en el aprendizaje y la enseñanza de la ciencia*.

Megías, M., Molist, P. y Pombal, M. (2017). *Atlas de histología vegetal y animal*. España Universidad de Vigo Recuperado de <https://mmegias.webs.uvigo.es/inicio.html>

Mendez, A., Perez,L. y Paniagua. (2010). Determinación de la viscosidad de fluidos Newtonianos y no Newtonianos (una revisión del viscosímetro de Couette). *Lat. Am. J.Phys. Educ.* 4(1). Jan. 2010. Recuperado de <http://www.Journal.Lapen.org.mx>

Mosquera, D. (2012). *Enseñanza-aprendizaje del concepto de circulación sanguínea en el ser humano en estudiantes de primaria de zona rural*. Universidad Nacional de Colombia, Manizales.

Núñez F y Banet E. (1996). Modelos conceptuales sobre las relaciones entre digestión, respiración y circulación. *Revista Investigación y Experiencias Didácticas*, 14 (3), 261, -278.

Olmos S. y Gavidia V. (2014). El Sistema Linfático: El Gran Olvidado del Sistema Circulatorio. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 11(2), 181-197, 2014.

Ortiz G., Araya D., y Vílchez M. (2014). Revisión de modelos teóricos de la dinámica de fluidos asociada al flujo de sangre. *Revista Tecnología en Marcha*, 27(1), 66-76.

Ozgur, S. (2013). *The persistence of misconceptions about the human blood circulatory system among students in different grade levels*. *International Journal of Environmental and Science Education*, 8(2), 255-268.

Pelaez, N. J., Boyd, D. D., Rojas, J. B., y Hoover, M. A. (2005). Prevalence of blood circulation misconceptions among prospective elementary teachers. *Advances in Physiology Education*, 29(3), 172-181. doi:29/3/172 [pii]

Pérez L., Méndez S. A. F., y Paniagua A. P. (2010). Determinación de la viscosidad de fluidos newtonianos y no newtonianos (una revisión del viscosímetro de Couette). *Latin-American Journal of Physics Education*, 4(1), 36.

Pinto, R., Aliberas, J., & Gómez, R. (1996). Tres enfoques de la investigación sobre concepciones alternativas. *Enseñanza De Las Ciencias*, 14(2), 221-232.

Pozo, J. I. y Gómez, M. Á. (Ed.5ª). (2006). *Aprender y enseñar ciencia: del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Madrid: Morata.

Strauss, A. Y Corbin, J. (Ed.1a) (2002). *Bases de la investigación cualitativa. Técnicas y procedimientos para desarrollar la teoría fundamentada*. Medellín, Colombia: Editorial Universidad de Antioquia. Facultad de Enfermería de la Universidad de Antioquia.

Sungur, Tekkaya, y Geban, 2001. The contribution of conceptual change texts accompanied by concept mapping to students' understanding of the human circulatory system. *school science amd mathematics*. 101(2), 91- 101, 2001.

Tamayo, A. (1999). Teoría general de sistemas. *Revista departamento de ciencias. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales*, 84-89.

Uribe, M., Quintanilla, M., Izquierdo, M. y Solsona, N. (2010). Aplicación del modelo de Sthepen Toulmin a la evolución conceptual del sistema circulatorio: Perspectivas didácticas. *ciência & educação*, 16(1), 61-86, 2010.

Urteaga, E. (2010). La teoría de sistemas de Niklas Luhmann. *Revista Internacional de Filosofía*. Departamento de Filosofía, Universidad de Málaga, Facultad de Filosofía y Letras Campus.

Vasilachis, I., Ameigeiras, A. R., Chernobilsky, L. B., Giménez, V., Mallimaci, F., Mendizábal, N.,... Soneira, A. J. (2006). *Estrategias de investigación cualitativa*. Barcelona, España: gedisa.

Yip, D. Y. (1998). Teachers' misconceptions of the circulatory system. *Journal of Biological Education*, 32(3), 207-215.

Anexos

Anexo I Instrumento 1

EXPLORACIÓN DE CONCEPCIONES SOBRE EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA CIRCULATORIO SANGUÍNEO HUMANO

Código: CAH705-

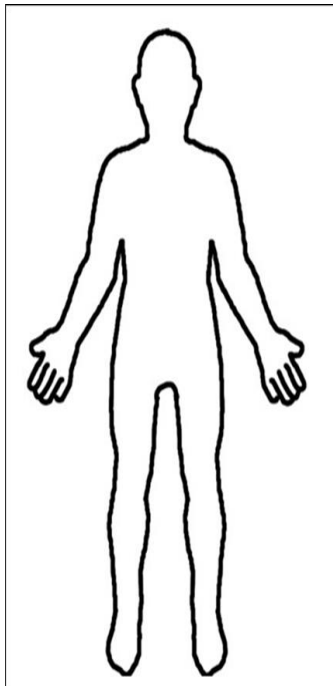
Fecha:

1. Del siguiente listado señala todos los componentes que creas hacen parte del sistema circulatorio sanguíneo humano:

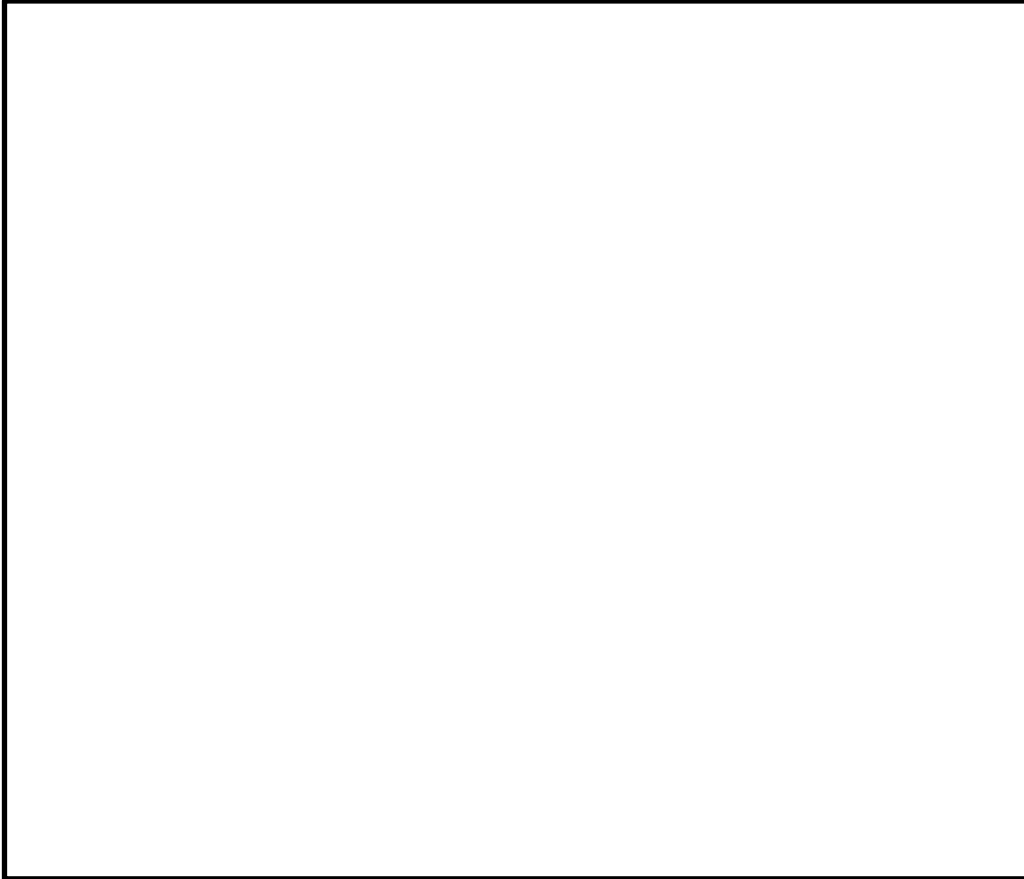
Corazón __	Pulmones __	Cerebro __
Hígado __	Venas __	Capilares __
Nervios __	Arterias __	Sangre __
Ojos __	Páncreas __	Riñones __
Estómago __	Vejiga __	Tráquea __

Algún otro componente ¿Cuál? _____

2. En la silueta humana ubica el corazón y los pulmones. Explica el por qué los ubicas de esta forma.



-
-
3. En el siguiente espacio dibuja como crees que está formado tu corazón y ubica las partes que lo conforman. Explica tu dibujo.



4. ¿Para qué sirve el sistema circulatorio sanguíneo humano?

5. ¿De qué color es la sangre y por qué tiene ese color?

6. ¿Por qué (cuales) conductos crees que circula la sangre dentro del sistema circulatorio sanguíneo humano?

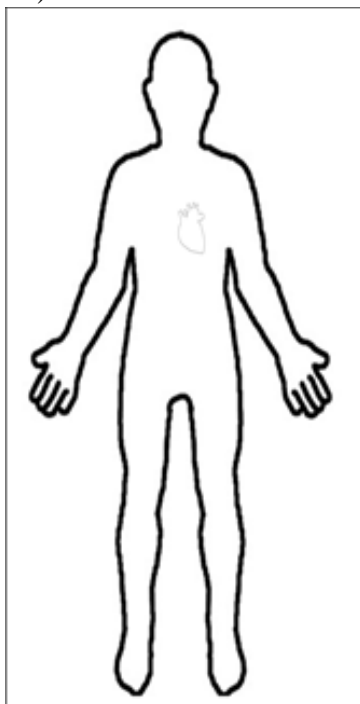
Anexo 2 Instrumento 2

EXPLORACIÓN DE CONCEPCIONES SOBRE EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA CIRCULATORIO SANGUÍNEO HUMANO

Código: CPL1001-

Fecha:

1. En la siguiente silueta humana hay una gota de sangre en el corazón. Por favor traza TODO el camino que debería seguir la gota a través del sistema circulatorio sanguíneo humano desde que sale del corazón, pasando por el pie, usa flechas para ello (→ → →).



2. Describe el recorrido que acabaste de pintar.

3. ¿Para qué sirve la sangre?

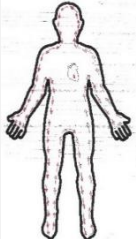
4. ¿De qué está hecha la sangre?

5. ¿Dónde se produce la sangre?

6. ¿Qué fluidos producimos, tenemos e intercambiamos como seres humanos?

7. ¿Cómo hace la sangre para fluir a través del sistema circulatorio sanguíneo humano?

Anexo 3 Modelos explicativos grupo A

Modelo	Descripción	Representación
A1	Durante su recorrido la sangre no sale del corazón, tampoco retorna a este, no es claro donde inicia su recorrido, sin embargo circula en una sola dirección y periféricamente por todo el cuerpo (cabeza, brazos, tronco y piernas).	

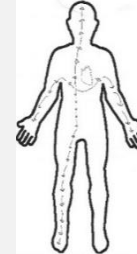
A2

Durante su recorrido la sangre no sale del corazón, tampoco retorna a este, su recorrido se da en una sola dirección mediante un patrón lineal e inicia en la cabeza, el tronco, un brazo y una pierna.



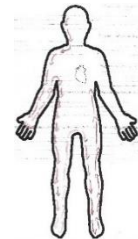
A3

Durante su recorrido la sangre no sale del corazón, tampoco retorna a este, sin embargo, circula en múltiples direcciones (patrón radial) irrigando la cabeza, parte del tronco, ambos brazos y una pierna.



A4

Durante su recorrido la sangre no sale del corazón, tampoco retorna a este, pero su recorrido se da en una sola dirección mediante un patrón de circulación periférico que inicia en la cabeza, irriga un brazo, el tronco, y ambas piernas.



A5

Durante su recorrido la sangre no sale del corazón, sin embargo, parece retornar a este, la sangre se dirige en múltiples direcciones mediante un patrón de circulación radial, irrigando todo el cuerpo (cabeza, ambos brazos, tronco y ambas piernas).



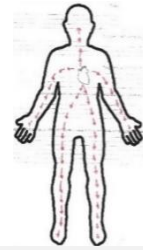
Muestra los modelos explicativos del recorrido de la sangre en el cuerpo correspondientes al grupo A. Fuente: Elaboración en esta investigación.

Anexo 4 Modelos explicativos grupo B

Modelo	Descripción	Representación
B1	Durante su recorrido la sangre sale del corazón en una sola dirección, circula periféricamente por todo el cuerpo irrigando la cabeza, los brazos el tronco y las piernas sin embargo nunca retorna al corazón.	

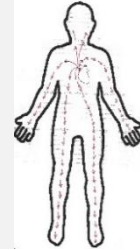
B2

Durante su recorrido la sangre sale del corazón por múltiples direcciones al mismo tiempo mediante un patrón circulatorio radial, irriga la cabeza, ambos brazos, el tronco y las piernas, no se evidencia retorno de la sangre al corazón.



B3

Durante su recorrido la sangre sale del corazón por una sola dirección, sin embargo después se divide circulando radialmente e irrigando la cabeza, ambos brazos, el tronco y las piernas, no se evidencia retorno de la sangre al corazón.



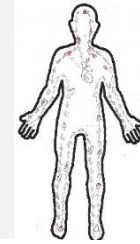
B4

Durante su recorrido la sangre sale del corazón por múltiples direcciones, sin embargo se observan dos patrones circulatorios uno radial y uno periférico, la sangre es irrigada por todo el cuerpo y no existe retorno de la sangre al corazón.



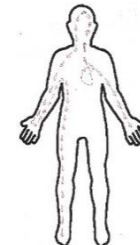
B5

Durante su recorrido la sangre sale del corazón por dos o más direcciones pero posteriormente se une formando un patrón periférico e irrigando todo el cuerpo, no hay retorno de la sangre al corazón.



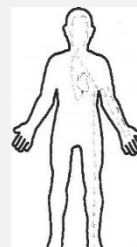
B6

Durante su recorrido la sangre sale del corazón en dos direcciones irrigando periféricamente la cabeza, ambos brazos, el tronco y una pierna, no existe retorno de la sangre al corazón.



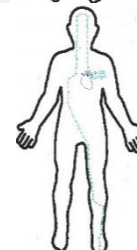
B7

Durante su recorrido la sangre sale del corazón en una sola dirección irrigando periféricamente la cabeza, un brazo, el tronco y una pierna, no existe retorno de la sangre al corazón.



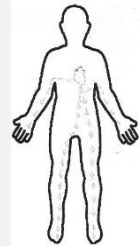
B8

Durante su recorrido la sangre sale del corazón en una sola dirección irrigando la cabeza, el tronco y una pierna, no existe retorno de la sangre al corazón.



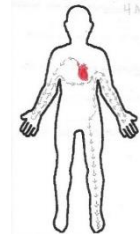
B9

Durante su recorrido la sangre sale del corazón en varias direcciones (circulación radial), no irriga la cabeza, pero si circula por ambos brazos, el tronco y ambas piernas, no existe retorno de la sangre al corazón.



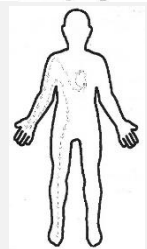
B10

Durante su recorrido la sangre sale del corazón en una sola dirección no irriga la cabeza, pero si circula periféricamente por ambos brazos, el tronco y una pierna, no existe retorno de la sangre al corazón.



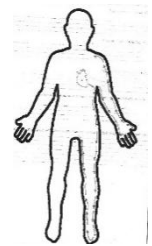
B11

Durante su recorrido la sangre sale del corazón en una sola dirección, no irriga la cabeza pero si circula por un brazo, el tronco y una pierna, no existe retorno de la sangre al corazón.



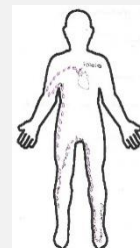
B12

Durante su recorrido la sangre sale del corazón en dos direcciones, no irriga la cabeza, pero si circula por un brazo, el tronco y una de las dos piernas, no existe retorno de la sangre al corazón.



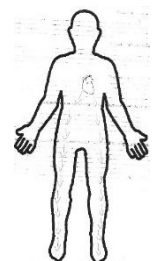
B13

Durante su recorrido la sangre sale del corazón en una sola dirección, no irriga la cabeza, pero si circula periféricamente por un brazo, el tronco y las dos piernas, no existe retorno de la sangre al corazón.



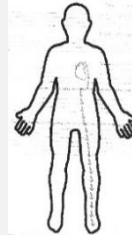
B14

Durante su recorrido la sangre sale del corazón en dos direcciones, no irriga la cabeza, ni los brazos pero si circula por el tronco y las dos piernas, no existe retorno de la sangre al corazón.



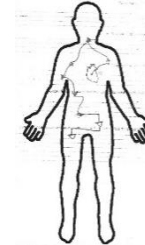
B15

Durante su recorrido la sangre sale del corazón en una sola dirección y se dirige hacia una de las dos piernas, no irriga la cabeza, ni ambos brazos, tampoco existe retorno de la sangre al corazón.



B16

Durante su recorrido la sangre sale del corazón en una sola dirección y solo circula por el tronco, no circula por la cabeza, los brazos, las piernas y tampoco retorno al corazón.



Muestra los modelos explicativos del recorrido de la sangre en el cuerpo correspondientes al grupo B. Fuente: Elaboración en esta investigación.


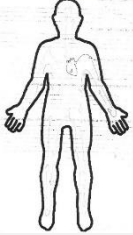
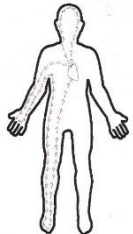

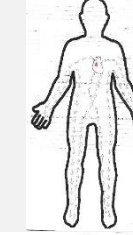
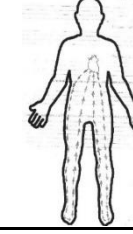
Anexo 5 Modelos explicativos grupo C

Modelo	Descripción	Representación
C1	Durante su recorrido la sangre sale del corazón en una sola dirección, circulando periféricamente durante un solo circuito por todo el cuerpo, retornando finalmente al corazón.	
C2	Durante su recorrido la sangre sale del corazón en una sola dirección, mostrando un patrón circulatorio radial e irrigando todo el cuerpo durante un solo circuito retornando finalmente al corazón.	
C3	Durante su recorrido la sangre sale del corazón en dos direcciones, mostrando un patrón circulatorio periférico e irrigando todo el cuerpo durante un solo circuito, finalmente retorna al corazón.	
C4	Durante su recorrido la sangre sale del corazón en una sola dirección, mostrando un patrón circulatorio periférico e irrigando solamente la mitad del cuerpo (cabeza, un brazo, tronco y una pierna) durante un solo circuito, finalmente regresa al corazón.	
C5	Durante su recorrido la sangre sale del corazón en una sola dirección, mostrando un patrón circulatorio periférico e irrigando la mayor parte del cuerpo (cabeza, un brazo, tronco y ambas piernas) durante un solo circuito, finalmente regresa al corazón.	

C6	Durante su recorrido la sangre sale del corazón en una sola dirección, mostrando un patrón circulatorio periférico e irrigando la mayor parte del cuerpo (cabeza, ambos brazos, tronco y una pierna) durante un solo circuito, finalmente regresa al corazón.	
C7	Durante su recorrido la sangre sale y retorna al corazón durante un solo circuito, el recorrido se realiza en una sola dirección, mostrando un patrón circulatorio periférico sin embargo, no circula por la cabeza, ni por un brazo, ni por una pierna.	
C8	Durante su recorrido la sangre sale y retorna al corazón durante un solo circuito, el recorrido se realiza en una sola dirección, mostrando un patrón circulatorio periférico sin embargo, no circula por la cabeza, ni por un brazo.	
C9	Durante su recorrido la sangre sale y retorna al corazón durante un solo circuito, el recorrido se realiza en una sola dirección, mostrando un patrón circulatorio periférico sin embargo, la sangre no circula por la cabeza.	
C10	Durante su trayecto la sangre sale y retorna al corazón durante un solo circuito, el recorrido se realiza en una sola dirección, mostrando un patrón circulatorio periférico sin embargo, la sangre solo circula por las piernas.	
C11	Durante su trayecto la sangre sale y retorna al corazón durante un solo circuito, el recorrido se realiza en una sola dirección, mostrando un patrón circulatorio circular sin embargo, la sangre se dirige directamente a una pierna y retorna al corazón sin circular por el resto del cuerpo.	
C12	Durante su trayecto la sangre sale y retorna al corazón durante un solo circuito, sin embargo el recorrido se realiza en múltiples direcciones, mostrando diversos patrones circulatorios algunos de los cuales no retornan al corazón, la sangre recorre ambos brazos, el tronco y una de las dos piernas, durante su recorrido no circula por la cabeza.	

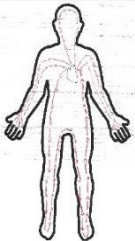
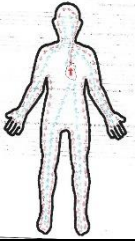
La tabla 23 muestra los modelos explicativos del recorrido de la sangre en el cuerpo correspondientes al grupo C. Fuente: Elaboración en esta investigación.

Anexo 6 Modelos explicativos grupo D

Modelo	Descripción	Representación
D1	Durante su trayecto la sangre sale y retorna al corazón durante dos circuitos, el recorrido se realiza en una dos direcciones, mostrando un patrón circulatorio circular en donde se la sangre irriga todo el cuerpo.	
D2	Durante su trayecto la sangre sale y retorna al corazón durante dos circuitos que muestran un patrón circular, uno de estos circuitos irriga la cabeza mientras que el otro irriga ambos brazos, el tronco y las piernas. El recorrido se realiza en dos direcciones.	
D3	Durante su trayecto la sangre sale y retorna al corazón durante dos circuitos que muestran un patrón circulatorio circular, uno de estos circuitos irriga la cabeza mientras que el otro solamente irriga un brazo, el tronco y una pierna. El recorrido se realiza en dos direcciones.	
D4	Durante su trayecto la sangre sale y retorna al corazón durante dos circuitos que muestran un patrón circulatorio circular, uno de estos circuitos irriga la cabeza mientras que el otro solamente irriga el tronco. El recorrido se realiza en dos direcciones.	
D5	Durante su trayecto la sangre sale y retorna al corazón durante dos circuitos que muestran un patrón circulatorio circular. La sangre no circula por la cabeza y cada uno de los circuitos irriga un lado del cuerpo. El recorrido se realiza en dos direcciones.	
D6	Durante su trayecto la sangre sale y retorna al corazón durante dos circuitos que muestran un patrón circulatorio circular. La sangre no circula por la cabeza, ni por los brazos y cada uno de los circuitos irriga solamente el tronco y las piernas. El recorrido se realiza en dos direcciones.	

Muestra los modelos explicativos del recorrido de la sangre en el cuerpo correspondientes al grupo D. Fuente: Elaboración en esta investigación.

Anexo 7 Modelos explicativos grupo E

Modelo	Descripción	Representación grafica
E1	La sangre sale del corazón en distintas direcciones, dirigiéndose hacia distintas partes del cuerpo (cabeza, brazos y piernas), en el modelo se evidencian más de dos circuitos que presentan un patrón de circulación circular, durante cada recorrido la sangre siempre retorna al corazón.	
E2	La sangre sale del corazón en una sola dirección, irrigando todo el cuerpo (cabeza, ambos brazos, tronco y ambas piernas), en el modelo se evidencian varios retornos de la sangre al corazón razón por la cual el modelo presenta una circulación con múltiples circuitos y el patrón de circulación es circular.	

Muestra los modelos explicativos del recorrido de la sangre en el cuerpo correspondientes al grupo E. Fuente: Elaboración en esta investigación.

Anexo 8 Frecuencias y porcentajes de los modelos explicativos de circulación sanguínea

Grupo	Total	Modelo	Grado 7°		Grado 10°		Total estudiantes
			No. estudiantes	%	No. Estudiantes	%	
A (n=8)	8	A1	1	1	2	1	3
		A2	2	1	0	0	2
		A3	1	1	0	0	1
		A4	0	0	1	0	1
		A5	1	1	0	0	1
B (n=139)	139	B1	13	7	34	17	47
		B2	1	1	38	19	39
		B3	2	1	2	1	4
		B4	1	1	2	1	3
		B5	2	1	6	3	8
		B6	5	3	0	0	5
		B7	9	5	0	0	9
		B8	1	1	0	0	1
		B9	3	2	10	5	13
		B10	1	1	0	0	1
		B11	2	1	0	0	2
		B12	0	0	2	1	2
		B13	1	1	0	0	1
		B14	0	0	2	1	2
		B15	0	0	1	0	1
		B16	0	0	1	0	1
C(n=180)	180	C1	79	40	50	24	129
		C2	4	2	1	0	5
		C3	2	1	10	5	12
		C4	9	5	1	0	10
		C5	2	1	0	0	2
		C6	4	2	2	1	6

		C7	1	1	0	0	1
		C8	1	1	0	0	1
		C9	4	2	2	1	6
		C10	0	0	1	0	1
		C11	4	2	2	1	6
		C12	1	1	0	0	1
D(n= 11)	11	D1	3	2	2	1	5
		D2	0	0	2	1	2
		D3	1	1	0	0	1
		D4	0	0	0	0	0
		D5	0	0	2	1	2
		D6	0	0	1	0	1
E(n=22)	22	E1	10	5	11	5	21
		E2	0	0	1	0	1
NS-NR (n=22)	42	NS- NR	26	13	16	8	42
TOTAL (n=402)	402		197	100	205	100	402

Muestra las frecuencias y promedios de los modelos explicativos del recorrido de la sangre a través del SCSH. Fuente: Elaboración en esta investigación.

Anexo 9 Glosario del constructo

Concepto	Definición
Absorción	Proceso físico mediante el cual un cuerpo tiene la capacidad de adherir a otro cuerpo.
Ambiente	Hace relación al fluido (gaseoso o líquido) que rodea uno o varios cuerpos y condiciona las características internas y/o externas del medio ejerciendo una presión sobre el sistema.
Anabólico	Proceso químico mediante el cual a partir de moléculas sencillas se crea moléculas más complejas y requiere un suministro de energía.
Catabólico	Proceso químico mediante el cual a partir de moléculas complejas se obtiene moléculas más sencillas y se libera energía.
Difusión	Paso de sustancias de un sitio de mayor concentración a un sitio de menor concentración.
Endocitosis	Proceso celular mediante el cual una célula incorpora sustancias del exterior al interior de su estructura celular.
Energía	Capacidad que tiene la materia de producir trabajo en forma de movimiento, luz, calor, etc.
Excreción	Proceso biológico mediante el cual un ser vivo es capaz de expulsar sus desechos.
Exocitosis	Proceso celular mediante el cual una célula expulsa sus desechos del interior al exterior celular.
Filtración	Acción mediante la cual un líquido pasa por un filtro o membrana para retener algunos de sus componentes.
Hematosis	Proceso se sucede en el alveolo, que está recubierto por capilares que traen glóbulos rojos, por difusión simple y pasan el O ₂ a la sangre y de allí a las células del cuerpo.
Materia	Conjunto de átomos organizados de forma particular, que ocupan un lugar en el espacio, pueden tener o no carga eléctrica, tienen masa y se puede encontrar en estado sólido, líquido o gaseoso.
Ósmosis	Tipo de difusión
Presión atmosférica	Es la presión que ejerce la atmósfera sobre la superficie de la tierra
Presión	Fuerza que ejerce un gas, un líquido o un sólido sobre una superficie.
Secreción	Elaboración y expulsión de una sustancia específica por actividad de una glándula.
Soluto	Sustancia que esta disuelta en otra
Solvente	Sustancia o líquido capaz de disolver un cuerpo u otra sustancia
Sustancia	Componente principal de los cuerpos, susceptible de toda clase de formas y de sufrir cambios, que se caracteriza por un conjunto de propiedades físicas o químicas, perceptibles a través de los sentidos

Anexo 10 Bibliografía consultada para diseñar el constructo basado en la TGS

Bibliografía empleada para la construcción del constructo	
<p>https://www.taringa.net/posts/apuntes-y-monografias/13803211/Integracion-de-los-Sistemas-del-Cuerpo-Humano.html</p> <p>https://www.spanish.cl/ciencias-naturales/sistemas-del-cuerpo-humano.htm</p> <p>http://rea.ceibal.edu.uy/UserFiles/P0001/ObjetoAprendizaje/HTML/apurinario_aw.elp/figha.html blog con cuestionarios sobre el sistema excretor y otras fuentes de excreción</p> <p>http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/3esobiologia/3quincena9/ventanas/formacionorina.htm gift animado del riñón</p> <p>portal creado por: Ana Williman (awilliman@gmail.com)</p> <p>Hmelo-Silver, C. E., Holton, D. L. y Kolodner, J. L. (2000). Designing learning about complex systems. Journal of the learning Science, 9(3), 247–298.</p>	

Anexo 11. Fragmento de matriz de tabulación

código de colegio	1.1.1 componentes del sistemas circulatorio humano	SCSH:: 1.1.2 descripción de dibujo 1	SCSH::1.1.3 descripción de dibujo 2: dibuja cómo crees que esta formado tu corazón y ubica las partes que lo conforman	SCSH; 1.2.1 ¿para que sirve el sistema circulatorio humano?	SANGRE COMO FLUIDO; ¿de que color es la sangre y por qué tiene ese color?	SCSH; 1.1.4 ¿por qué circula la sangre dentro del sistema circulatorio sanguíneo humano?	SCSH::1.2.2 recorrido de una gota de sangre que pasa por el pie	SCSH::1.2.3 describe el recorrido que acabaste de pintar	SANGRE COMO FLUIDO; ¿para que sirve la sangre?	SANGRE COMO FLUIDO; ¿de que esta hecha la sangre?	SANGRE COMO FLUIDO; ¿Dónde se produce la sangre?	SANGRE COMO FLUIDO; ¿Qué fluidos producimos, tenemos o intercambiamos como seres humanos?	SANGRE COMO FLUIDO; ¿Qué hace la sangre para fluir a través del sistema circulatorio sanguíneo humano?
CAH701-1	Corazón, pulmones, venas, arterias, cerebro y sangre	Corazón en parte superior izquierda de pulmones, ubicado cerca al hombro y pulmones en caja torácica: El corazón transmite la sangre, los pulmones guardan el aire	sólo imagen (3 tubos arriba y 1 abajo)	para crear y transmitir sangre a todo el cuerpo	es roja	venas	periferico	sale del corazón va a los brazo y sube a la cabeza entra al corazón y sale hacia los brazos	para el funcionamiento del cuerpo	oxalosos blancos	en el corazón	sangre, orina, saliva, excremento y lagrima	por las venas
CAH701-2	corazón, pulmones, venas, arterias, cerebro y sangre	los pulmones están ubicados en el pecho por protección y el corazón también	copia del esquema pagado	para la circulación de la sangre, oxígeno y nutrientes	roja por nutrientes y vitaminas, si no es Dios lo sabe	por las venas y corazón	solo va a la pierna y se devuelve	la sangre cayo en el pie y se devolvió al corazón	para la circulación del cuerpo y nutrientes	oxalosos rojos, oxalosos blancos, plaquetas y nutrientes	en el corazón por los nutrientes	semen- to, sangre	la sangre fluye por las venas hasta que llega al corazón