

APLICACIÓN DEL MODELO DE STEPHEN TOULMIN A LA EVOLUCIÓN CONCEPTUAL DEL SISTEMA CIRCULATORIO: PERSPECTIVAS DIDÁCTICAS

Application of the Stephen Toulmin's model to the circulatory system's conceptual evolution: didactical perspectives

Manuel Uribe¹
Mario Quintanilla²
Mercé Izquierdo i Aymerich³
Nuria Solsona i Pairós⁴

Resumen: En este artículo, se presenta una breve sistematización acerca de la evolución del concepto de sangre que considera el período histórico que transcurre entre las concepciones de los egipcios hasta el siglo XVII, cuando Harvey consolida un “modelo científico” de Circulación Sanguínea en el organismo humano. A continuación, aplicamos el modelo de Toulmin para analizar la evolución de los conceptos de movilidad sanguínea, septum y frecuencia cardíaca desde una perspectiva realista pragmática. Finalmente planteamos algunas ideas orientadoras que podrían servir de guía para la enseñanza de este concepto considerando los aspectos históricos que analizamos a través del consolidado de las ideas expuestas.

Palabras clave: Realismo pragmático. Didáctica de las ciencias. Modelo de Toulmin.

Abstract: In this article is presented a brief systematization about the evolution of the concept of blood circulation that considers the historical period between the conceptions of the Egyptians until century XVII, when Harvey consolidates a “scientific model of Sanguineous Circulation” in the human organism. Next, we applied the model of Toulmin to analyze blood flow, valves and cardiac frequency evolution concepts from pragmatic to a realistic perspective. Finally we raised some ideas that could serve as a guide for the education of this concept considering the historical aspects that we had analyzed.

Keywords: Pragmatic realism. Science education. Toulmin's model.

¹ Doctor en Ciencias de la Educación. Facultad de Educación, Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC). Santiago de Chile, Chile. <manuel.uribe.r@gmail.com>

² Doctor en Didáctica de las Ciencias Experimentales y de las Matemáticas. Director del Laboratorio de Investigación en Didáctica de las Ciencias Naturales e Investigación Aplicada (GRECIA), Facultad de Educación, PUC. Santiago de Chile, Chile. <mquintag@uc.cl>

³ Doctora en Didáctica de las Ciencias. Directora del Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y de las Matemáticas, Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona, España. <merce.Izquierdo@uab.cat>

⁴ Doctora en Didáctica de las Ciencias Experimentales y de las Matemáticas. Departamento de Ensenyament de la Generalitat de Catalunya, Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona, España. <nuria.solsona@gencat.cat>

¹ Facultad de Educación, Oficina 30
Tercer Piso. Avda. Vicuña Mackenna 4860
Macul. Santiago de Chile

Introducción

Actualmente, muchas escuelas de pensamiento y autores situados en las disciplinas de carácter metacientífico – como la epistemología, la historia de la ciencia y la didáctica de las ciencias naturales – ven la ciencia como una *actividad* de producción, evaluación, aplicación y difusión de saberes inmersa en un contexto histórico, social y cultural que le da sentido al definir las finalidades de intervención que se persiguen y los valores que se sostienen en las comunidades científicas (BORDIEU, 2003; IZQUIERDO, 2000; ETCHEVERRÍA, 1995; ESTANY, 1993).

Dentro de la didáctica de las ciencias naturales en particular, hay toda una corriente de reflexión que destaca la necesidad de incorporar y vincular las metaciencias en los procesos de formación inicial y continuada del profesorado de ciencias y, a partir de aquí, en la enseñanza. Las metaciencias permiten relacionar el conocimiento científico que se construye en cada momento de la historia con los problemas que se intentan solucionar, las finalidades que se persiguen, las herramientas conceptuales y metodológicas disponibles, y la cultura y los valores vigentes en ese momento (QUINTANILLA, 2005; IZQUIERDO, 2000; SOLSONA, 1997; MATTHEWS, 1994). De allí el enorme valor que encontramos a los contenidos provenientes de estas disciplinas para la práctica profesional de los profesores y profesoras de ciencias naturales.

Del mismo modo, es bien conocido que para la mayoría de los profesores y científicos, la historia de la ciencia aparece como un “conjunto de hechos linealmente ordenados” basados en algún contenido específico que poco o nada ofrece a la reflexión y al análisis de la construcción del conocimiento científico. Esto ha favorecido actitudes persistentes que intentan “neutralizar” el desarrollo de la ciencia y la tecnología en diferentes momentos de la historia desconectándola de los procesos de enseñanza y aprendizaje, como si la ciencia fuera “ahistórica” y los descubrimientos o inventos científicos (y con ello sus responsables directos) se desarrollaran de manera invariable en el tiempo. Es por ello que en los últimos años ha resultado muy relevante instalar en la *comunidad de didactólogos de la ciencia*, la discusión sobre la necesidad de introducir la historia de la ciencia en la formación inicial y permanente del profesorado no sólo como un invariante curricular, sino como un factor de discusión teórica y epistemológica acerca de la naturaleza de la ciencia, sus métodos y objetos de estudio, lo que contribuiría a consolidar representaciones simbólicas muy diferentes al positivismo más ortodoxo (IZQUIERDO et al. 2007; QUINTANILLA, 1999).

La hipótesis que sustentamos es que es posible utilizar aspectos concretos de la historia de la ciencia de manera que se plantee el origen histórico de las principales líneas de investigación, se muestre el proceso de creación y desarrollo de los principales conceptos y teorías, como fruto de un trabajo colectivo y de una construcción humana, en la que hay polémicas, tensiones y distensiones, y se analice la complejidad de las relaciones ciencia – tecnología – sociedad - comunicación (CTSC) a lo largo de la historia, con las implicaciones de transformación de los procesos sociales y de convivencia que ello ha generado para la humanidad en general y para la comunidad científica en particular.

En un sentido aún más complejo, pensamos que el camino de la formación científica requiere necesariamente una argumentación didáctica conectada al análisis de los diversos factores que han condicionado, sino determinado, las maneras en que se aprende a enseñar y

a divulgar el conocimiento científico, en distintas épocas y culturas. En su libro “la comprensión humana” Toulmin, (1977) instala una discusión acerca del “cambio conceptual” y del “cambio científico” en orden a evaluar las categorías de análisis por donde se moviliza el conocimiento científico desde la lógica del objeto y del sujeto. Al respecto, el autor incorpora uno de los temas más polémicos para muchos hombres de ciencia de concepciones más bien racionalistas “duras”, esto es, la naturaleza valórica e intersubjetiva de la ciencia y sus métodos. La base de su argumentación establece a lo menos cinco tipos de “fenómenos científicos”, ampliamente definidos y caracterizados:

- . *fenómenos de la ciencia* que él denomina “racionales” sin procedimientos disponibles; *fenómenos científicos* explicados hasta cierto punto y deseables de apropiarse de una mayor precisión y comprensión;

- . *fenómenos científicos* en los cuales se establece una mutua relación entre conceptos que coexisten en una misma rama de la ciencia;

- . *fenómenos científicos* en los que la mutua relación entre conceptos que coexisten en diferentes ramas de la ciencia pueden explicarse desde diferentes ángulos y naturalezas y, lo que él llama

- . *problemas entre conceptos y procedimientos corrientes*, referidos a las actitudes e ideas que por regla general la gente tiene de la naturaleza de la ciencia y su método.

Por tanto, si asumimos el carácter “dinámico y cambiante” del conocimiento, es evidente que la reflexión y análisis de estos cambios debiera estar integrada en la formación inicial y permanente del profesorado de ciencias, puesto que favorece la comprensión de una *racionalidad moderada* acerca de los hechos, fenómenos, métodos y contextos en los que dicho conocimiento se construye y, en consecuencia, se divulga y enseña.

Algunas consideraciones del *tipo de abordaje histórico seleccionado*

Debido a la gran complejidad y rigor científico que plantea cualquier análisis de esta naturaleza, los historiadores han desarrollado su labor de acuerdo con una doble perspectiva, que puede ser una *historiografía vertical* o una *historiografía horizontal*. La historiografía vertical o *sincrónica* es la que se caracteriza por la delimitación de un tema o problema y el seguimiento de su evolución y transformación a lo largo de la historia. Por otro lado la historia horizontal o *diacrónica* se interesa por la ciencia del pasado en si misma, por sus conceptos, su organización y toda la compleja trama de influencias intelectuales que se tejen en ella en cada situación histórica, coincidiendo con marcos valóricos que se comparten en las comunidades científicas de una determinada época. (BARONA, 1994). En este sentido, adherimos a la idea de Crombie (2000) que vincula las preguntas, las respuestas y los contextos a toda meta de un historiador científico. Al respecto nos orienta: “[...] La meta del historiador de la ciencia [...] es encontrar que problemas preocupaban a los científicos antes de que fueran resueltos, cuales eran sus hipótesis y expectativas, y qué es lo que ellos consideraban como respuesta y explicación” (Crombie, 2000, p. 19).

Continúa este autor, señalando que los historiadores racionalistas del siglo XVIII, guiados por el genio de Voltaire, negaban la posibilidad de una necesaria conexión entre la

filosofía medieval y el llamado *triunfo de la razón científica*⁵, que situaban en la época de Galileo, Harvey, Descartes y Newton. Sin embargo, un siglo más tarde, Comte propondrá a sus seguidores la peligrosa fórmula de reclamar como precedentes de la ilustración positivista, no lo que Galileo o Newton podían haber *afirmado* acerca de cuáles eran sus propósitos y métodos, sino lo que éstos debían haber sido *realmente*, aunque ellos quizá lo ignoraran en su época (CROMBIE, 2000). Este enfoque es el que hemos seleccionado para nuestro trabajo, utilizando para este propósito, fuentes escritas e iconográficas de distinta naturaleza. Pensamos que nos da orientaciones *acerca de qué y cómo* hemos de enseñar en determinados contextos educativos, suponiendo además que la ciencia hoy la concebimos no desde una representación restrictiva, sino que conectada a valores, concepciones filosóficas, lenguajes, instrumentos y determinadas finalidades que le dan sentido de intervención y transformación del mundo y que podemos utilizar teóricamente como sustento didáctico.

Las primeras concepciones relativas al Sistema Circulatorio, registradas en las civilizaciones antiguas

No es posible fechar la existencia de la primera mujer dedicada al cuidado de la salud. Numerosas tablillas encontradas en investigaciones arqueológicas permiten creer que el texto médico más antiguo se recoge en dos tablillas sumerias. Sus teorías sobre el funcionamiento del cuerpo humano fueron transmitidas a través de las rutas comerciales a tierras fenicias, Grecia y Egipto. Las mujeres sumerias practicaron al menos durante dos mil años la medicina.

En Dinamarca, el 1200 a. JC, adoraban a una diosa de la salud Nerthus que aparece representada sujetando a una serpiente. Tenía un gran parecido con Inanna e Ishtar, las diosas sumerias y es probable que fuera por los contactos comerciales daneses o las migraciones indoeuropeas.

Hacia el año 3.500 a. JC., los egipcios registraron en el Papiro Smith, que el estómago constituye la desembocadura del corazón, el órgano donde se localizan el pensamiento y el sentimiento. De este modo señalaban que, cualquier manifestación o alteración en el corazón se reflejaba indefectiblemente en el aparato digestivo. Sin embargo, para los griegos y particularmente para quienes seguían la doctrina de Aristóteles (hacia el 400 a. JC.), el organismo humano era fundamentalmente diferente: el cuerpo consistía para ellos en un microcosmos de la naturaleza. Aristóteles creía que la sangre provenía de los alimentos en el hígado, la cual pasaba al corazón y de allí a las venas. Erasistrato, en el s. III a. JC., posterior a Aristóteles, tenía una teoría bastante correcta sobre las venas, pero creía que las arterias contenían una especie de aire. El corazón era el origen de la sangre, de los vasos sanguíneos y de un calor innato que daba lugar al pulso y al latido cardíaco. Durante siglos se dio por cierto que la sangre era sin embargo, un líquido estático sin atribuirle funciones específicas o vincularla al

⁵ El destacado es nuestro.

sistema respiratorio, lo que inicialmente introduciría en la comunidad científica Marcello Malpighi bien entrado el siglo XVII. A ello nos referiremos oportunamente en este artículo.

Puesto que todos los fenómenos naturales se entendían como resultado de la interacción de los cuatro elementos aire, fuego, agua y tierra, Galeno (129 -199 d. JC.) supuso que cuatro factores análogos tenían que “gobernar el cuerpo”. Estos elementos fueron concebidos por Hipócrates (PÉREZ, 1988) como los “cuatro humores”⁶ y eran: la flema, la bilis negra o cólera, la bilis amarilla y la sangre. Sostenía la idea de que el corazón se mueve porque cierto “espíritu más sutil que el aire” lo impele a buscar un lugar más amplio en el que moverse. Del mismo modo habían tres espíritus o pneumas que eran los responsables de los movimientos y equilibrios de los humores: el espíritu natural o hígado, el espíritu animal o cerebro y el espíritu vital o corazón. Según la medicina griega la buena salud dependía del equilibrio entre los humores y los espíritus, lo que posteriormente condujo a las prácticas de purgar el tracto digestivo y a las llamadas sangrías. Se consideraba la sangre, en su calidad de humor supremo, como portadora de vida; llevaba el espíritu de esta por todo el cuerpo, fluía y refluía a través de arterias y venas y pasaba al corazón por unos imaginarios poros.

Durante la Edad Media, las mujeres seguían teniendo un papel fundamental en el cuidado de la salud, en el hogar, en los conventos y e los hospitales. Los tratados de medicina de la época se refieren a las prácticas de las sanadoras, no como aficionadas sino desde un punto de vista profesional. Además, las comadronas tuvieron el monopolio de la atención al parto hasta bien entrado el siglo XVII.

En los conventos de monjas, una religiosa experta era la que practicaba periódicamente sangrías al resto de religiosas. Hildegard von Bingen (1098-1179), considerada la gran científica de la Edad Media fue una mujer con mucha autoridad en su época. Escribió una obra médica fundamental *Physica y Causa et curae*, donde plantea una discusión de la circulación sanguínea que presagia el modelo de William Harvey en el siglo XVII.

También presagió las causa del contagio y la autointoxicación, la transmisión de la acción nerviosa a través del cerebro, la química de la sangre. Intentó explicar otros fenómenos humores sin recurrir continuamente a la teoría de los humores habitual en su tiempo (MEAD e CAMPBELL, 1964). Su teoría de la generación es una versión poética de Aristóteles con añadidos personales: Creía que el hombre proporciona la forma y el alma y la mujer el alimento a partir de la sangre menstrual. Desarrolló gran cantidad de medicamentos, pero no hay constancia de sus aplicaciones prácticas.

Este corpus de ideas de circulación sanguínea, por decirlo de alguna manera (las ideas anatómicas postuladas por Hipócrates y posteriormente sistematizadas, resignificadas y divulgadas por Galeno) se mantuvo en la comunidad científica durante casi catorce siglos y fue adoptado casi intacto por los cristianos más ortodoxos, hasta que como veremos más adelante

⁶ Los obstáculos intelectuales principales al desarrollo de la idea de la circulación de la sangre eran la teoría de que el cuerpo humano se hallaba regido fisiológicamente por tres conjuntos distintos y ordenados de órganos, fluidos y espíritus, similar a la concepción aristotélica de que solo la materia celeste podía moverse naturalmente con movimiento circular.

fueron desplazadas por Harvey en el siglo XVII. Galeno tuvo quizá el mérito de registrar sus ideas sobre la base de disecciones de humanos y animales y de vincularlas íntimamente con un sistema de Fisiología, rigurosamente descrito en su época. El mismo señalaba que se había inspirado en los estudios de Serófilo y más particularmente de Erasístrato (siglo III a. J. C.). Para Galeno, era el corazón (y no el cerebro como planteaban los aristotélicos) el centro del sistema nervioso (CROMBIE, 2000)

Las ideas de Galeno se fortalecían en la ‘demostración de cautelosas observaciones’ que están debidamente documentadas y traducidas del griego al árabe y del árabe al latín. Fijémonos en una cuestión. Si bien Aristóteles había relacionado “correctamente” las arterias y las venas con el corazón, Galeno afirmaba que las venas “formaban un sistema independiente”, totalmente diferente en estructura y función a las arterias, y que el sistema venoso procedía del hígado y no del corazón. Ambos hacen conexiones relativamente correctas entre el órgano y los vasos sanguíneos, pero al mismo tiempo ambas son por decirlo de alguna manera “incompletas” entre la estructura y la función del sistema. Galeno fue, por así decirlo, un teórico-práctico muy riguroso. Entre sus disecciones, observó que el ventrículo izquierdo contenía sangre, pero pensó que ésta pasaba al ventrículo derecho por unos *orificios invisibles* existentes en el tabique intermedio (en el siglo XVII, Malpighi será el encargado de señalar qué eran aquellos orificios invisibles). La contracción del corazón impulsaba la sangre hacia las arterias desde el ventrículo izquierdo, mientras que el derecho permitía la salida de «vapores» de desecho. La incorrección de esta teoría (si podemos llamarla así) fue *demonstrada* por el médico árabe Ibn Al-Nafis (hacia 1205-1288), quien observó que la sangre viajaba del ventrículo derecho al izquierdo pasando por los pulmones⁷; en sus escritos se refiere a que

[...] la sangre del compartimiento derecho del corazón debe llegar al compartimiento izquierdo, pero no hay camino directo entre ellos. El grueso tabique del corazón no está perforado y no tiene poros visibles como piensa alguna gente o poros invisibles como pensaba Galeno. La sangre del compartimiento derecho debe atravesar la vena arteriosa (arteria pulmonar) a los pulmones, extensión a través de su sustancia, se mezcle con el aire, paso por la arteria venosa (la vena pulmonar) para alcanzar el compartimiento izquierdo del corazón [...]. (CROMBIE, 2000, p. 45-46)

⁷ Es probable que en el siglo X, otro reconocido médico árabe en el al-Andalus se haya preocupado de estos temas. Se trata de Abu-I-Qasim al-Zaharawi, cuyo aporte al estudio de la medicina resulta sorprendente y notable, sólo comparable con los grandes médicos del siglo XII. Su gran enciclopedia médica, es una obra destinada a la formación de estudiantes y a servir de manual de consulta para el médico práctico, que aspira a ser autosuficiente y a prescindir tanto de la literatura elaborada en Oriente como de “los trabajos inexplicables de los antiguos” (SAMSÓ, 1991, p. 118-122). Aún así, se conserva la idea de “espíritu vital” propuesta por Galeno que *iba de los pulmones a todo el organismo*.

Sin embargo, sus ideas no tuvieron aceptación y cayeron en el olvido⁸. ¿Por qué no se consideraron las ideas de Ibn Al-Nafis? Debemos pensar, como lo plantea Crombie (2000) que las traducciones de los textos eran complejas y requerían conocimientos no sólo científicos, sino que también lingüísticos. Señala el autor:

[...] Hay que considerar que el primer diccionario árabe-latino conocido pertenece a un manuscrito español que data, quizá, del siglo XII; pero la tarea de traducir textos árabes y griegos estuvo gravemente dificultada por el obstáculo de dominar la lengua en cuestión, lo intrincado del tema y la complicada terminología técnica. Con frecuencia las traducciones eran literales, y a menudo palabras cuyo significado no era totalmente entendido eran transcritas simplemente del árabe o del hebreo. Muchas de estas palabras han subsistido hasta el presente, como, por ejemplo, álcali, circonio, alambique (la parte superior de la vasija para destilar), sorbete, alcanfor, bórax, elixir, talco...zenit, azur, cero, cifra, álgebra, algoritmo, laúd, alcachofa, café, jazmín, azafrán [...]. (CROMBIE, 2000, p. 45-46)

En el siglo XII al crearse las Universidades, las mujeres encontraron dificultades para trabajar como sanadoras, excepto en Bolonia y Salerno. No obstante, la ley que prohibía ejercer la medicina profesional a las mujeres no fue obedecida en la práctica y en 1292, en el censo de París aparecen ocho doctoras (*mireses*). En la Universidad de Bolonia, hacia 1318 Alessandra Giliani, anatomista muy reputada en la realización de disecciones fue una de las mejores asistentes de Mondino de Luzzi (1275-1326), porque podía limpiar venas, arterias y las ramificaciones de los vasos, sin lacerarlos o partirlos, y prepararlos para las demostraciones (MEAD e CAMPBELL, 1964). Alessandra Giliani, ideó la técnica para inyectar líquido en los vasos sanguíneos de suma importancia en la anatomía pues permitió estudiar con detalle el sistema circulatorio. Su técnica consistía en extraer la sangre de las arterias y venas de los cadáveres y rellenarlos con líquidos coloreados que se solidificaban, pudiendo trazar, de este modo, el camino que seguían los vasos sanguíneos incluso los más diminutos. Tuvo el reconocimiento de sus contemporáneos y se le colocó una placa en la Iglesia del Hospital de Santa M^a Mereto, en Florencia.

Cien años más tarde, en pleno Renacimiento, los dibujos anatómicos sobre las válvulas cardíacas realizados por Leonardo da Vinci (1452-1519) podrían haber ayudado a corregir los errores de sus antecesores, pero eran propiedad privada y no fueron por ello suficientemente difundidos.

⁸ Al respecto no hay consenso en los historiadores de la ciencia de este hecho. Algunas hipótesis que pudieran ser discutibles, tienen que ver con factores de carácter político y por que no decirlo también lingüístico. Si bien la ciencia árabe estaba altamente influenciada por sus antepasados griegos, muchos textos traducidos eran resignificados, lo que dificultaba su comprensión y aceptación por la comunidad científica. Es el caso de los instrumentos astronómicos, por ejemplo, que en el siglo X y XI eran también dibujados artesanos que desconocían la “idea teórica” que lo sustentaba, y no pocas veces *escribían mal aquello que ya estaba traducido*.

Cuando los anatomistas posteriores a Leonardo realizaron disecciones más refinadas sobre el cuerpo humano, advirtieron que la teoría disponible no respondía a la realidad, aunque los dibujos anatómicos de Leonardo eran sencillamente magistrales (LAÍN, 1963). ¿Acaso Leonardo no se fijó sino en aquello que quiso fijarse (las estructuras anatómicas por excelencia) y restó importancia al tema propiamente funcional del sistema circulatorio? ¿Lo hizo quizá en otros dibujos que quizá se extraviaron posteriormente? ¿Cuál era realmente la intencionalidad de Leonardo al dibujar y “estudiar” anatomía?. Probablemente estas y otras preguntas nunca las resolveremos.

Oliva Sabuco de Nantes y Barrera (Alcaraz, Alabacete 1562-1590), escribió “Nueva filosofía de la naturaleza humana desconocida y nunca conseguida por los grandes filósofos antiguos, la qual mejora la vida y la salud humana”, publicado en 1587. En él se sostiene que el orden afectivo de la mente produce consecuencias físicas benéficas, así como su desorden conduce a enfermedades. Hay interdependencia entre mente y cuerpo. El organismo es un árbol al revés en el cual el cerebro es la raíz y los miembros sus ramas. En el cerebro reside “la raíz, la causa y principio y oficina del bueno y del mal jugo, de las enfermedades y la salud”. Doña Oliva explica lo anterior como el jugo o quilo blanco de la raíz del cerebro, que nutre o vivifica, por su recta acción, a todo el árbol invertido, por una vía va blanco, por otra va rojo; va por la piel, los nervios y telas y por las películas o membranas de las venas y arterias, y vuelve rojo de las tres oficinas [hígado, corazón y bazo] para la irrigación del árbol a través de las cavidades o alveolos de las venas y arterias. Mas viciado, esto es, corrompida su acción, penetra todas las vías y no guarda el orden de la naturaleza.

Durante la Edad Media, las disecciones eran realizadas por los cirujanos que estaban considerados como un rango menor en la práctica de la medicina en relación al académico erudito que simplemente se dedicaba a dar conferencias magistrales de los temas en cuestión, permaneciendo alejados lo más posible de los cirujanos para no ensuciarse las manos. Sin embargo, el anatomista belga, Andreas Vesalius⁹ (1514-1564) realizaba el mismo las disecciones, explicando a los estudiantes lo que “estaba descubriendo”. Uno de sus méritos, fue contratar excelentes dibujantes que dejaron testimonio de sus disecciones y que fueron publicados más tarde en 1538 en *Tabulae Anatomica Sex*, luego que uno de los diagramas fuera robado y plagiado (Gribbin, 2002). Es probable que uno de sus más notables discursos fuera el que había que aceptar la prueba que se veía con los ojos y no creer solamente las palabras transmitidas de generaciones anteriores. A Vesalius, le resultó imposible hallar los “famosos poros” de Galeno cuestión a la que hace alusión en su obra célebre publicada en 1543 donde se refiere claramente a la circulación entre ventrículos¹⁰.

⁹ Quién sería algún tiempo después el médico personal del emperador Carlos V, abandonará la medicina debido a las insistentes críticas de los que todavía “admiraban” a Galeno.

¹⁰ Citado en su obra maestra titulada *De Humani Corporis Fabrica*, conocida tradicionalmente como la Fábrica y publicada en 1543. Citada en Gribbin, J. (2005) p. 33.

Vesalius observó que el tabique interventricular era impenetrable, pero no logró explicar cómo la sangre pasaba del lado izquierdo al llamado *corazón al derecho*. Vesalius dejaría dos discípulos que continuarían por decirlo así su idea acerca de cómo investigar, describir y enseñar la medicina. Se trata de Gabriele Fallopio¹¹ y Girolamo Fabricio, cuya principal contribución fue el realizar una exhaustiva y detallada descripción de las válvulas venosas. Aunque ya se conocían, las hizo públicas en 1579 y posteriormente con bellas ilustraciones publicadas cuatro años más tarde. Sin embargo, su descripción no contribuyó a precisar las “funciones” de las válvulas, pues creía que frenaban el flujo sanguíneo que partía del hígado para ser absorbido posteriormente por los distintos órganos del cuerpo. Entre los estudiantes que le escuchaban en la Universidad de Padua, se encontraba un joven curioso que había nacido en la ciudad de Kent, Inglaterra, el 1 de abril de 1578: William Harvey, quien “heredaría” la cátedra de Fabricio y continuaría con su legado, consolidando finalmente el funcionamiento del sistema circulatorio humano. Pero en esta misma época, y a varios kilómetros de distancia, el médico y teólogo español Miguel Servet (1511-1553) explicaría en su libro *Christianismi Restitutio* la circulación “menor” (conocida así posteriormente) señalando que la sangre pasaba del lado derecho del corazón al lado izquierdo por los pulmones y no a través de unos pequeños e invisibles poros como señalaba Galeno, lo que afirmaba más por razones teológicas que por argumentaciones pragmáticas (derivadas de disecciones como Vesalius), pero fue condenado a la hoguera acusado de herejía por Calvino y sus seguidores, siendo sus libros quemados, salvándose sólo 3 copias de *Christianismi Restitutio*¹². En esta misma época, las cosas empezaron a cambiar: Andreas Cesalpino (1519-1603), que acuñó el término *circulación*, defendió la *teoría del retorno de la sangre venosa a través de las venas*. De mayor impacto en el desarrollo de la fisiología científica fue el llamado *descubrimiento de la circulación de la sangre*, por William Harvey (1578-1657). La idea ya había sido sugerida desde el siglo XIII por Ibn Al Nafis, y mucho se ha discutido que en el siglo XVI tanto Servet como Colombo habían mencionado que la sangre del ventrículo derecho pasaba al ventrículo izquierdo por los pulmones y no a través del tabique interventricular, como lo había postulado Galeno. Incluso Colombo señala:

Entre los ventrículos está el septum, a través del cual casi todos piensan que hay un paso entre el ventrículo derecho y el izquierdo, de modo que la sangre en tránsito puede hacerse sutil por la generación de los espíritus vitales que permitan un paso más fácil. Sin embargo, esto es un error, porque la sangre es llevada por la vena arterial (arteria pulmonar) a los pulmones. .. Regresa junto con el aire por la arteria venal (venas pulmonares) al ventrículo izquierdo del corazón. Nadie ha observado o registrado este hecho, aunque puede ser visto fácilmente por cualquiera. (CROMBIE, 2000, p. 48)

¹¹ De quién nos enteramos por el nombre del órgano femenino que lleva su nombre, llamadas Trompas de Fallopio, ya que fue el primero en describirlas con extrema minuciosidad en el cuerpo humano.

¹² Aún así, parece haber consenso entre los historiadores de la ciencia que Harvey no llegó a conocer nunca las ideas de Servet.

Este texto sugiere que Colombo no sólo mencionó la circulación pulmonar de la sangre sino que la había observado directamente. Harvey conocía el libro de Colombo y se refirió a él por lo menos tres veces en su propia obra. No se sabe si Colombo había consultado el libro de Servet, *Restitutio christianismi*, en donde se sugiere la existencia de la circulación pulmonar, pero es poco probable porque como lo hemos señalado, Servet fue quemado vivo en 1553 y casi todas las copias de su libro fueron destruidas, excepto tres, mientras que el texto de Colombo apareció en 1559, seis años más tarde de la muerte de Servet.

Aún cuando Harvey es conocido como el gran consolidador de la Teoría de la Circulación de la Sangre, le faltó encontrar el eslabón perdido, esto es, cómo se “conectan” las arterias con las venas. Fue el físico italiano Marcello Malpighi que logró describir con bastante minuciosidad¹³ este ‘último eslabón’:

Puede verse claramente que la sangre se divide y fluye a través de vasos tortuosos, y que no se vierte en espacio alguno, sino que siempre es conducida a través de **pequeños tubos**¹⁴ y distribuida por las múltiples flexiones de los vasos. (MALPIGUI, 1661, citado por CROMBIE, 2000 , p. 49)

Malpighi había ‘descubierto’ los vasos capilares, lo que sería corroborado ‘técnicamente’ años más tarde por los acuciosos e inquisitivos lentes del holandés Antonio van Leewenhoek, sin tener conocimiento de los trabajos de Malpighi. Hemos de señalar que, probablemente si Harvey y Malpighi hubieran dispuesto de los instrumentos¹⁵ apropiados, quizá el rumbo de la historia de la ciencia habría sido naturalmente otro en este sentido. Hacia 1666, otro anatomista, 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 aire¹⁶ decía a su auditorio de la Royal Society de Oxford¹⁷:

¹³ Derivado de sus trabajos en Bolonia en 1660, cuya información apareció un año más tarde en unas cartas personales.

¹⁴ El destacado es nuestro.

¹⁵ Nos referimos al rudimentario microscopio de Leewenhoek, construido por lentes convexas que podían aumentar hasta 300 veces.

¹⁶ Pensamos que esta “idea anticipatorio” es un gran mérito de Lower, pues el “oxígeno” no sería si no *descubierto* hasta 1774 por Joseph Priestley.

¹⁷ En una de sus tantas y “a veces porco ortodoxas experiencias”, Lower escogió un perro de tamaño mediano y extrajo sangre de su vena yugular abierta, desangró al animal tanto como le fue posible sin que muriera, este comenzó a ser presa de contracciones nerviosas, luego tomando sangre de la arteria de otro perro de mayor envergadura dejó fluir la sangre de este dentro de la vena del primero. Para su asombro el perro mediano pareció resucitar, como si fuera penetrada en su cuerpo la fuerza vital del perro que dono su sangre. Lower cosió la vena yugular, liberó al animal de sus ataduras y vio como saltaba de la mesa sin mayor indicio de incomodidad o mal estar. Los experimentos de Lower despertaron un gran entusiasmo entre sus colegas, que se apresuraron a explorar las implicaciones. ¿ se amansaría un perro fiero... con la sangre de un perro asustadizo...? ¿ cambiaría el color del pelaje del receptor para semejarse al del donante?.

Este color rojo se debe exclusivamente a la penetración de partículas de aire en la sangre, cuestión que está bastante clara a partir del hecho que, mientras la sangre se vuelve roja en su totalidad dentro de los pulmones (porque el aire se propaga por ellos a través de todas las partículas, y por lo tanto se mezcla completamente con la sangre), cuando la sangre venosa se recoge en un vaso, su superficie toma un color escarlata debido a la exposición al aire. (GRIBBIN, 2002, p. 129-130)

A partir de estas explicaciones, 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. Algunas de las ideas que surgieron y se complementaron con temas físicos y químicos tenían que ver con la medición de la presión sanguínea. Se dice que fue Stephen Hales (1677-1761) quien insertando tubos en las arterias y en las venas de animales y registrando la altura a la que subía la sangre y sus variaciones con relación al latido cardíaco, midió la presión sanguínea por primera vez dejando registro escrito de ello.

En el siglo XVI, en Francia, Inglaterra, Italia, la medicina que se practicaba en el mudo artesanal y según la costumbre se permitía a las viudas de los maestros cirujanos mantener sus establecimientos abiertos para realizar sangrías y afeitar barbas. En el siglo XVII y XVIII las mujeres continúan practicando la medicina, a pesar de ser perseguidas como brujas y de su exclusión de las Universidades. En el XVIII muchas mujeres fueron anatomistas: Anna Morandi Manzolini (1716 –1774), Maria Pettracini, profesora de anatomía (1780) y M^a Catalina Biheron, fueron experta en fabricar modelos anatómicos.

Hemos visto que la construcción de un modelo teórico que funcione y sea comprendido (y aceptado) por la comunidad científica no es nada fácil, pues implica factores de diversa naturaleza, algunos de los cuales hemos esbozado en los párrafos anteriores, quedando aún muchísimo más que investigar al respecto. En el próximo apartado consideramos el modelo de Toulmin para sistematizar todo este corpus de ideas desde una perspectiva evolutiva.

El modelo de Toulmin aplicado a la evolución del concepto de circulación sanguínea

Toulmin(1977) se plantea la explicación del cambio científico en términos de cambio conceptual y para ello toma la teoría de la evolución de Darwin como modelo analógico para estudiar la evolución de los conceptos científicos. Al respecto señala:

Darwin dice en su libro en el Origen de las Especies: Si llegan a producirse variaciones sutiles en un ser orgánico, seguramente el individuo que posea ciertos caracteres tendrá la mejor posibilidad de conservarse para la lucha por la vida, y por el poderoso principio de la herencia tendera a engendrar vástagos con los mismos caracteres [...] Un problema semejante se plantea con respecto a al evolución conceptual. El cambio conceptual en una ciencia puede realizarse, efectivamente, solo

si las innovaciones transitorias no mueren automáticamente con sus creadores. (TOULMIN, 1977, p. 216)

Para Toulmin la unidad básica de la dinámica científica es el cambio conceptual al rededor del que giran todos los demás cambios. Presenta 3 vías (no excluyentes entre si) para abordar la evolución de los conceptos: Una de corte temporal o transversal en la que las relaciones entre conceptos en un tiempo 't' son relaciones lógico-formales, y el desplazamiento de conceptos se realizan por 'buenas razones'; una de representación longitudinal o genealógica en la que hay un seguimiento de los conceptos a través del tiempo; una representación evolutiva que se mueve en dos parámetros: innovación (aspecto descriptivo) y selección (aspecto normativo). En este sentido, los problemas que surgen en el curso de la investigación científica juegan un papel importante en el modelo de Toulmin. Entiende los problemas científicos como el resultado de la diferencia entre los ideales explicativos y las posibilidades reales de la investigación científica. Toulmin distingue 15 tipos de variaciones conceptuales en función de 5 problemas y tres modos de resolverlos. Respecto a los tipos de problemas nos plantea:

Consideremos por turno las 5 clases típicas de fenómenos. a) Siempre hay ciertos fenómenos que la ciencia de la naturaleza puede esperar razonablemente explicar, pero para los que ningún procedimiento disponible proporciona todavía un tratamiento exitoso... b) siempre hay fenómenos que pueden ser explicados hasta cierto punto usando procedimientos explicativos corrientes, pero con respecto a los cuales los científicos desearían explicaciones mas completas o mas precisas ... c) comprende los problemas que se presentan cuando consideramos la mutua relación de diferentes conceptos co-existentes en una misma rama de la ciencia... d) incluye los que concierne a la mutua relación de conceptos de diferentes ramas de la ciencia ... e) estos problemas surgen de conflictos entre conceptos y procedimientos corrientes, de las ciencias especiales y las ideas y actitudes corrientes entre la gente y en general (TOULMIN, 1977, p. 187)

Y, en relación a la complejidad de los conceptos científicos agrega: "Debemos distinguir 3 aspectos o elementos en el uso de tales conceptos: I) el lenguaje; II) las técnicas de representación y III) los procedimientos de aplicación de la ciencia" (TOULMIN, 1977, p. 170).

Hasta aquí el modelo teórico aborda el aspecto descriptivo de cualquier modelo de cambio científico, en el sentido siguiente: si cogemos la historia de las ciencias de como materia prima sobre la que teorizamos, según el modelo de Toulmin tendríamos que poder acoplarla en alguno de los tipos que describe. Pero cualquier modelo de cambio científico (y el de Toulmin no, es una excepción) pretende algo mas que proporcionar unas categorías con las que describe la historia y evolución de las ciencia; en realidad todo el empeño de la filosofía de las ciencia en su vertiente dinámica consiste en encontrar explicaciones a la evolución de la ciencia y demostrar la racionalidad de la empresa científica desde una racionalidad naturalista y moderada (IZQUIERDO, 2000). Para ello Toulmin pasa a analizar los criterios que intervie-

nen en la selección de variantes conceptuales. Distingue entre aquellos casos “claros”, es decir, cambios “rutinarios” en los que los criterios de selección están bien definidos, y casos “nebulosos” o cambios “excepcionales” en los que lo que está cuestionándose son los propios criterios de racionalidad. En ambos casos tiene en cuenta los factores internos que giran alrededor del concepto de madurez de una disciplina, la cual está en función de la captación de problemas, de la construcción de modelos matemáticos, de la disponibilidad de los instrumentos necesarios, etc.; y los factores externos como los políticos, religiosos, ideológicos, etc.

Los cambios excepcionales o nebulosos hacen tambalear la ‘autoridad soberana’ al propugnar un cambio total de estrategias. En este sentido, la pregunta *¿Por qué se produce tal cambio conceptual en un determinado momento de la historia?* puede interpretarse como la búsqueda de las razones de este cambio, o bien como la búsqueda de las causas de dicho cambio (políticas, religiosas, lingüísticas, económicas, sociales, o combinación de algunas o de todas ellas). Según Toulmin solo recurriríamos a las explicaciones causales cuando no hubiéramos encontrado razones para tal cambio. Propone así, una serie de criterios para comparar teorías que estén fuera de ellas y que al evaluar teorías rivales lo haga por medio de conceptos comparativos. Los criterios disciplinarios de elección reconocidos son siempre múltiples y a veces apuntan en direcciones opuestas, de modo que un cambio teórico propuesto puede ser muy atractivo en un aspecto y retrógrado en otro.

Por consiguiente, es inútil que busquemos un solo índice o medida que indique en todo los casos si un cambio conceptual debe considerarse como una ‘mejora’ o no (en nuestro caso cuan cerca estaban Galeno o Server o el mismo Harvey de su propio modelo científico). Como filósofos y didactólogos de las ciencias, podemos aguzar nuestra comprensión de los diversos tipos de méritos que son relevantes en la práctica para la evaluación de variantes rivales (por ejemplo, predictibilidad, coherencia, alcance, precisión, inteligibilidad, etc.) y podemos hallar siempre casos que ejemplifiquen como criterios particulares para juzgar el mérito que favorecen o no algunos cambios conceptuales en la historia de la ciencia. Del mismo modo, es importante señalar que la ciencia es un proceso de constitución del saber con dimensiones no sólo históricas, sino también sociales y culturales que derivan en posicionamientos o paradigmas específicos (modelos) de su epistemología, divulgación y enseñanza, así como de marcos valóricos socialmente compartidos y consensuados por la comunidad científica tal y como lo plantea ETCHEVERRÍA (2002)¹⁸ o lo que él llama la *actividad tecnocientífica* (QUINTANILLA, 2005)

Entorno al tema de los criterios de selección de teorías científicas surge la cuestión del papel del juicio personal del científico que estipula las razones para elegir entre teorías alternativas. Este punto puede representar un resquebrajo de la racionalidad al introducirse elementos subjetivos de la mano de la opinión personal de los científicos o de la influencia de su propia comunidad. A este respecto Toulmin nos plantea la posibilidad de formular una

¹⁸ Este autor señala doce subsistemas de valores en el análisis axiológico de la práctica científica y que el denomina: básicos, epistémicos, tecnológicos, económicos, militares, políticos, jurídicos, sociales, ecológicos, religiosos, estéticos y morales (Etcheverría, 2002).

serie de restricciones objetivas y puntualiza que la intervención de juicios personales no implica subjetividad sino, en todo caso, relatividad. Argumenta a favor de la distinción entre subjetividad y relatividad recurriendo a la Jurisprudencia como modelo analógico de como funciona la Filosofía de la ciencia. En último término, la diferencia entre las ciencias naturales y el derecho, desde el baremo de la racionalidad, sería solo una cuestión de grado (ESTANY e IZQUIERDO, 1990).

Metodología del análisis histórico empleada

El sistema cardiovascular agrupa un conjunto de estructuras anatómicas y sus correspondientes relaciones fisiológicas que al momento de ser representadas requieren de múltiples conceptos referidos al corazón, sangre, arterias, venas, válvula, etc. A su vez, las ideas históricas acerca del corazón pueden ser analizadas desde distintos ámbitos, es así como existen conceptos referentes a su función, a su estructura anatómica, a su relación con la sangre, con otros órganos, etc. Estas múltiples ideas acerca del sistema cardiovascular y el entramado histórico que se devela en relación a ello, van configurando paulatinamente forma y significado cada vez más complejos en momentos específicos de la historia, constituyéndose en un todo armónico, pero siempre “incompleto”. Estos conjuntos de ideas que se entrelazan en modelos presentan, como indica Thomas Kuhn (1975), una tendencia al hermetismo y a la falta de aceptación de nuevas ideas en periodos de plena vigencia de la llamada *ciencia normal*.

Dada la complejidad que conlleva realizar un análisis que contemple el desarrollo histórico de los conceptos del sistema circulatorio en su conjunto, se ha preferido acotar este análisis al concepto de sangre, siendo concientes que no podemos prescindir del conjunto de lo particular a lo general y viceversa. Para realizar el análisis evolutivo de las concepciones sobre sangre a través de la historia se utilizó la representación longitudinal (TOULMIN, 1977) Las representaciones longitudinales o genealógicas representan el seguimiento de un concepto determinado a través del tiempo. En nuestro caso significa analizar la evolución del concepto de sangre, que invariablemente está vinculada en los análisis a otros conceptos y ‘fenómenos específicos’ y que hemos focalizado como:

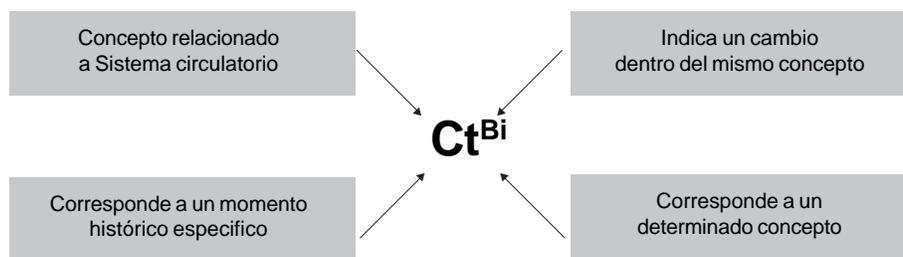
A = Movimientos de la sangre producidos por el latir del corazón
B = Presencia de septum
C = Dinámica cardiovascular
D = Origen de la sangre

Aún cuando hemos optado por la representación longitudinal, sería interesante describir e interpretar las representaciones transversales y evolutivas referentes a este u otros contenidos a futuro. La nomenclatura y claves en el diagrama final, corresponde a las diversas representaciones que hemos sistematizado y que se agrupan en la Figura 1.

Sistematización y aplicación del modelo de Toulmin a los datos históricos recopilados

Los egipcios (1500 a.C.) consideraban al corazón, como el centro del cuerpo y del sistema vascular, sede de la inteligencia y de la percepción (**Co^C**). Este órgano desembocaba en el estomago, por lo que pensaban que las preocupaciones desencadenaban anomalías gastroentéricas. El médico griego **Hipócrates** (460-377 a.C) sostenía la idea de que el corazón era el origen de la sangre (**Cp^A**), de los vasos sanguíneos y de un calor innato que daba lugar al pulso y al latido cardíaco. Durante siglos se dio por cierto que la sangre era un líquido estático (**Cp^A**). Para **Aristóteles** (384-322 a.C) cuatro eran las principales funciones del corazón: producir y distribuir la sangre (**Cp^D**), ser la sede de dos principios innatos (calor y *pneuma*), suscitar los movimientos y servir de centro a las sensaciones (**Cp^{Ci}**). **Praxágoras** (340 AC) distinguió las venas de las arterias, creyó que por las arterias fluía aire pues suelen estar vacías en los cadáveres (**Cp^{Cii}**). Esta idea, aunque luego demostró ser falsa, aportó el nombre de estos conductos (arteria significa “conducto de aire” en griego). Posteriormente Erasítrato (300-260 a.C). trazó el curso de las venas y arterias y sus subdivisiones por todo el cuerpo humano, hasta los límites perceptibles a simple vista. Pensó que, en el corazón, el ventrículo derecho contenía sangre y el izquierdo espíritu vital o *pneuma*; durante la diástole llegaría sangre al ventrículo derecho y *pneuma* al izquierdo, que se expulsarían en la sístole (**Cp^{Ciii}**), también imaginó la comunicación entre venas y arterias para explicar por qué las arterias aparecen vacías en el cadáver y sin embargo sangran cuando se cortan in vivo.

La nomenclatura utilizada en la Figura 1, que corresponde a las representaciones longitudinales:



Conceptos desarrollados en la representación longitudinal:

A = movimientos de la sangre C = dinámica cardiovascular
 B - presença de septum D = origen de la sangre

Figura 1. Nomenclatura utilizada en el análisis.

Para Galeno (129-201 d.C) la sangre fluía de la cámara derecha a la izquierda del corazón a través de la pared de separación, conocido como septum (**Cq^B**). La contracción del corazón impulsaba la sangre hacia las arterias desde el ventrículo izquierdo, mientras que el derecho permitía la salida de «vapores» de desecho a través de los pulmones (**Cq^{Civ}**). La sangre no circulaba, sino que estaba sometida a un *vaiivén permanente*. Galeno postuló, además, que la sangre se fabricaba en el hígado y se transportaba al corazón desde donde era bombeada a venas y arterias hasta consumirse en los tejidos. Pensaba que el corazón era una única bomba (no una bomba, doble como se sabe que es en la actualidad) y que había poros muy pequeños en el grueso tabique muscular que separa aurículas de ventrículos que permitían el pasaje de la sangre (**Cq^B**). Estos orificios nunca se observaron, pero durante catorce siglos después de Galeno, los anatomistas afirmaron su existencia. Gran parte de sus trabajos debieron ser corregidos posteriormente en el Renacimiento. Debido a la importancia que tuvieron durante tantos siglos las ideas de Galeno las explicaremos más en detalle: para este griego el cuerpo humano poseía una jerarquía triádica de funciones fisiológicas. En primer lugar estaba la función vegetativa de nutrición y crecimiento, que tenía su sede en el hígado y que se hallaba mediatizada por la sangre venosa roja oscura y su espíritu natural. En segundo lugar estaba la función animal del movimiento y la actividad muscular, que tenía su sede en el corazón y que actuaba a través de la sangre arterial roja clara y su espíritu vital. En tercer lugar estaba la función nerviosa, que gobernaba la irritabilidad y sensibilidad del cuerpo, que tenía su sede en el cerebro, estando regida por el fluido nervioso y su espíritu animal.

El médico árabe Ibn Al –Nafis (1205-1288 d.C), observó que la sangre viajaba del ventrículo derecho al izquierdo pasando por los pulmones, que describió claramente pero sus ideas no tuvieron impacto en su época (**Cr^{Cv}**) (**Cr^{Bi}**).

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. Los dibujos anatómicos sobre las válvulas cardíacas realizados por Leonardo da Vinci podrían haber ayudado a corregir los errores de sus antecesores, pero eran propiedad privada y no fueron por ello suficientemente difundidos durante el siglo XVI. Más tarde, Andrés Vesalio (1514-1564) concluyó que el tabique interventricular del corazón era impenetrable (**Ct^{Bi}**). No sugirió ninguna explicación alternativa acerca de cómo podría pasar la sangre del ventrículo izquierdo al derecho del corazón o, en general, como podía pasar de las venas a las arterias. Por esta misma época, el médico y teólogo español, Miguel Servet (1511-1553) postuló que la sangre circulaba de la cámara izquierda del corazón a la derecha a través de los pulmones (**Ct^{Aii}**) y así lo explicaba: “Sin embargo, esta comunicación no se realiza a través de la pared central del corazón, como comúnmente se cree, sino que, a través de un sistema muy ingenioso, la sangre fluye durante un largo recorrido a través de los pulmones” (**Ct^{Cvi}**) (Kart, 1989, p.67). Era de la opinión de que el divino aliento se encuentra en el aire y que en los pulmones el aire inspirado se mezclaba con la sangre que circulaba a través de ellos. Fue considerado un hereje y condenado a la hoguera. Algunos años más tarde, André Cesalpino (1519-1603) que acuñó el término circulación, defendió la teoría del retorno de la sangre venosa a través de las venas, fue un médico naturalista cuyas apasionadas opiniones teológicas le pusieron en repetidas ocasiones en situaciones conflictivas con las autoridades eclesíásticas. Se le atribuye el descubrimiento de la circulación sanguínea, aunque su teoría no deja de ser una variante de las ideas de Servet (**Ct^{Aii}**). El médico italiano Rualdo Colombo (1495-1559) sostuvo que la sangre del

ventrículo derecho no pasaba al ventrículo izquierdo por la vena arteriosa, junto con el aire. Como prueba aducía el gran calibre de la vena arteriosa, que le parecía más que suficiente para la nutrición del pulmón. Defendía que, dado que el septum del corazón era sólido, la sangre debía pasar de la cámara derecha a la izquierda por la única alternativa existente, es decir, a través de los pulmones. La doctrina de Colombo es una variante de la teoría de Servet (**Ct^{Aii}**).

Girolamo Fabrizio (1537-1619), estructuró los fundamentos de la circulación sanguínea, mostrando que las válvulas de las venas se oponían al movimiento centrífugo de la sangre y garantizaban su retorno al corazón. Sin embargo será William Harvey (1578-1657) quien describió que, en vez de fluir y refluir como las mareas, la sangre corría deliberadamente, iba por las arterias y regresaba por las venas, circulaba por un sistema cerrado y en un solo sentido. Por lo que se refería al corazón – sede del alma, fuente de toda vida – era una simple bomba mecánica (**Cz^{evi}**). Marcelo Malpighi (1628-1694) prosiguió el trabajo de Harvey con su descubrimiento de los capilares (1661), realizado después de inyectar tinta por la arteria pulmonar, incluyó una teoría de la respiración y motivó el comentario siguiente: “Harvey hizo de la existencia del capilar una necesidad lógica; Malpighi una certeza histológica”. Respecto al origen de la sangre circulante, recién en 1868 (Neumann e Bizzozero, 1868) se logro relacionar la médula ósea con la producción de los componentes sanguíneos.

En la Tabla 1 y en las siguientes figuras de las páginas 308-310, se resume el análisis efectuado en esta investigación.

Tabla 1. Síntesis de la evolución conceptual acerca de la “sangre” en diferentes momentos de la historia.

Año	Aporte	Flujo e intercambio cultural y académico	Nomenclatura y clave
1500 a.C.	Egipcios	Egipto	Co^C
Transposición de una “cultura a otra”			Co^A
469-399 a.C.	Hipócrates	Grecia	Cp^C, Cp^A
384-322 a.C.	Aristóteles	Grecia	Cp^D, Cp^{Cl}
399-129 a.C.	Praxágoras	Grecia	Cp^{Cii}
300-260 a.C.	Erasístrato	Grecia	Cp^{Ciii}
129-199 d.C.	Galeno	Grecia	Cq^B, Cq^{Civ} Cq^{Al} Cq^{Di}
1205-1288 d.C.	Ibn Al – Nafis	Arabia	Cr^{Cv} Cr^{Aii} Cr^{Bi}
1452-1519 d.C.	Leonardo da Vinci	Toscana italiana	Cs^C
1514-1564 d.C.	Andrés Vesalio	Bolonia	Ct^{Bi} Ct^{Bii}
1511-1553 d.C.	Miguel Servet	España	Ct^{Aii} Ct^{Aii} Ct^{Cvi}
1519-1603 d.C.	Andrés Cesalpino	Padua	Ct^{Bv}
1495-1559 d.C.	Rualdo Colombo	Padua	Ct^{Bv}
1537-1619 d.C.	Girolamo Fabrizio	Padua	Ct^{Bv}
1578-1657 d.C.	William Harvey	Oxford	Cu^{Cvii} Cu^{Aiv} Cq^{Dii}
1628-1694 d.C.	Marcelo Malpighi	Bolonia	Cu^{Cviii} Cu^{Av}
1846-1901	Giulio Bizzozero	Italia	Cw^{Diii}

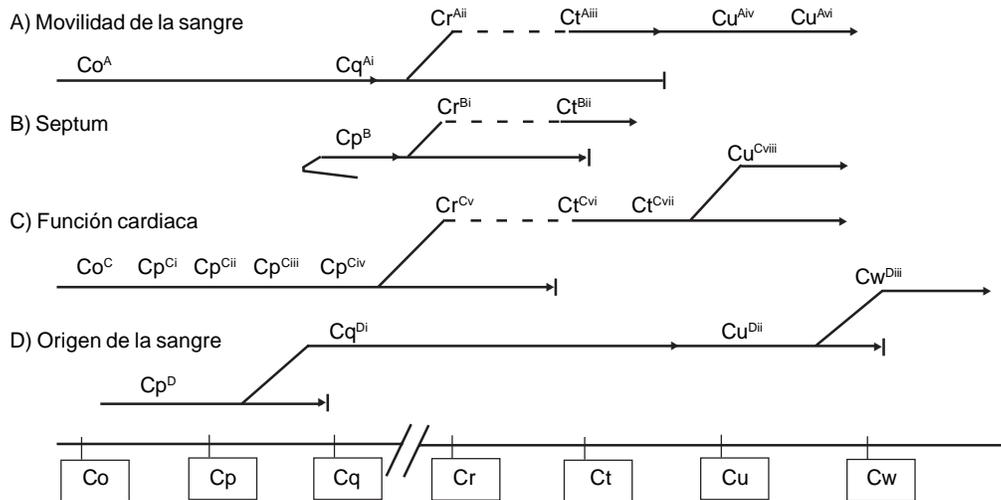


Figura 2. Representación longitudinal o genealógica de las ideas de movilidad de la sangre, septum, función cardíaca e origen de la sangre.

A) Movilidad de la sangre

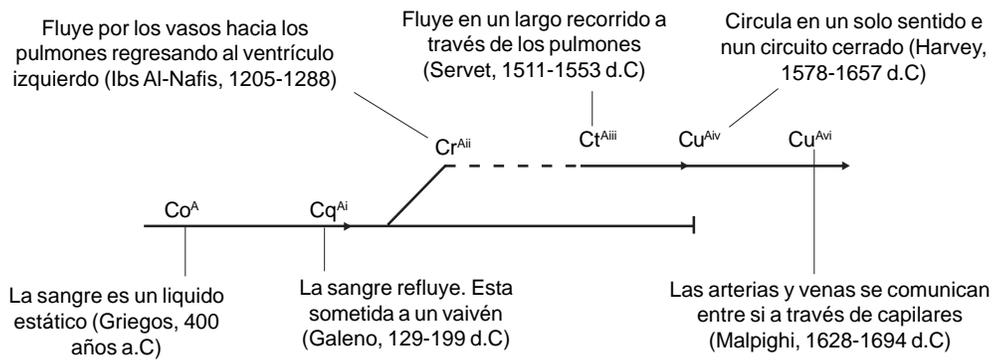


Figura 3. Sección ampliada de la representación longitudinal de la noción de movilidad de la sangre.

B) Septum

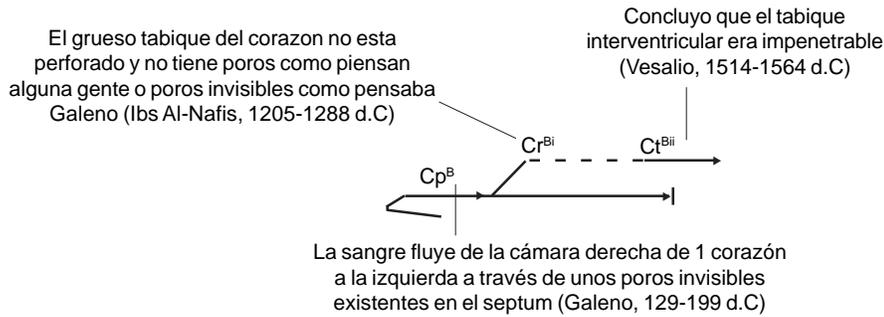


Figura 4. Sección ampliada de la representación longitudinal de la noción de septum.

C) Funciones cardio-vasculares

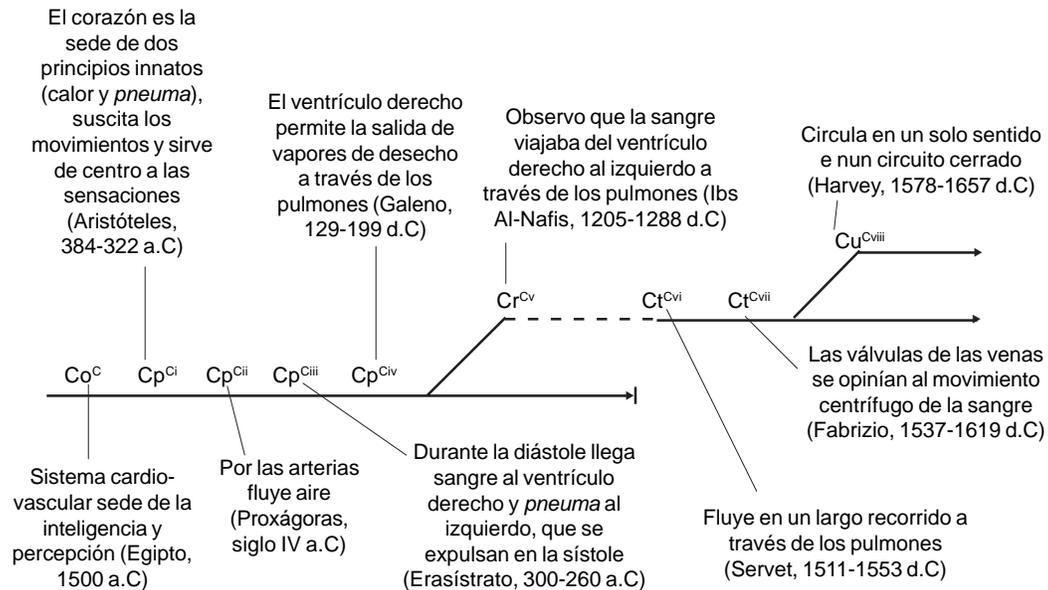


Figura 5. Sección ampliada de la representación longitudinal de la noción de las funciones cardio-vasculares.

D) Origen de la sangre

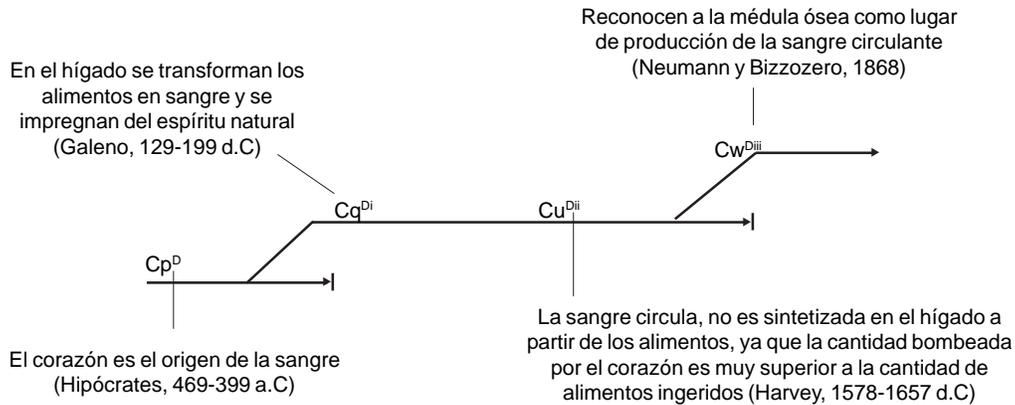


Figura 6. Sección ampliada de la representación longitudinal acerca del origen de la sangre.

Vemos entonces como los mismos objetos de análisis científico (sangre, circulación, septum) se ‘representan’ según ‘diversos modelos’ que intentan explicar los mismos fenómenos de manera análoga o distinta. Tales explicaciones no son ‘ahistóricas’ sino que tienden a sumergirse en los legados clásicos de las observaciones, métodos, instrumentos y cosmovisiones de diferentes épocas, aunque el objetivo es, probablemente el mismo, es decir, *explicar el funcionamiento de los fluidos, particularmente de la sangre*. La retórica, el lenguaje, las narraciones y sus contextos de comunicación y divulgación juegan aquí un rol trascendental, El lenguaje de la biología utiliza unos conceptos y expresiones que tienen significado en el contexto de emitir hipótesis, o de interpretar resultados, o de concluir, pero todo al interior de la comunidad científica en la que estos lenguajes han llegado a consensuarse en la historia de la ciencia, consensos que han implicado en un número no menor de situaciones históricas, repensar los modelos teóricos originales (QUINTANILLA, 2007).

Perspectivas didácticas desde una visión histórica naturalizada del contenido ‘erudito’

Finalmente, al concluir nuestro artículo, incorporamos algunas reflexiones y sugerencias que podrían orientar la enseñanza de las ciencias, considerando que la historia de la ciencia es un recurso para la clase de ciencias. Si el modelo de ciencia (y en consecuencia de la actividad científica escolar) ha estado inspirado por la historia y la filosofía de las ciencias, la historia de las ciencias puede proporcionar recursos para modelizar conceptos y fenómenos y hacerlos evolucionar paulatinamente, de tal modo que la ciencia normativa que aprenden

tenga algún sentido. Se trata de que el lenguaje de la ciencia aparezca en la clase de una manera tal que enseñe al alumno a desarrollar habilidades cognitivo-lingüísticas para comprender la ciencia que aprende desde una perspectiva histórica de filogénesis y ontogénesis y desarrollar la creatividad en el proceso de modelizar el nuevo conocimiento. Partimos del hecho de que el aprendizaje tiene que ver con la evolución y diferenciación de las ideas y de los puntos de vista, y estos desarrollos solo son posibles a través de la interacción social que se ha de intencionar teórica y experiencialmente. Es el lenguaje (hablado o escrito), el medio por el cual se expresa el pensamiento y es la comunicación con los demás, la que promueve modificaciones en las ideas que se expresan, sobretodo en una disciplina que cambia vertiginosamente en la historia de la ciencia. A su vez, es necesario hacer notar a los estudiantes que escribir bien en ciencias, no es consecuencia automática de haber actuado convenientemente o haber entendido correctamente lo que el profesor de biología le comunica en referencia a la construcción histórica de la ciencia, su método, instrumentos, finalidades, etc.

En razón de lo anterior, la idea de *historicidad* de la ciencia, a propósito de su validación, valoración y legitimidad, admite siempre interpretaciones encontradas en la comunidad científica: unas intentan explicar la evolución del conocimiento científico desde una mirada reduccionista u objetivable al dato histórico mismo (la *visión anacrónica*); otras quieren generar modelos interpretativos que surgen de la valoración de la época y el contexto en que dicho conocimiento se ‘socializó’ en una comunidad científica determinada (la *visión diacrónica*). Esta última forma de entender la historia de la ciencia, valiosa a nuestro juicio para los profesores de ciencias naturales, genera planteamientos que distinguen de manera sustancial entre los llamados *hechos del pasado* y los *hechos históricos* (BARAONA, 1994; KRAGH, 1989). Recoger el dato objetivable e interpretarlo sin valorar el sentido que tienen la época, las expectativas socioculturales y los conflictos político-religiosos que condicionaron los descubrimientos e invenciones científicas, elementos todos que también forman parte del llamado ‘dato histórico’, contribuye a una interpretación restrictiva del desarrollo del conocimiento y la actividad científicas que, para muchos autores, no sería la más adecuada para comprender el mundo a través de la educación científica (MATTHEWS, 1994). En muchos casos, científicos y profesores de ciencias naturales consideramos la ciencia como un conjunto de acontecimientos desconectados que refuerzan esta idea *ahistórica y dogmática*, es decir, transmitimos una ciencia reducida a los formalismos categóricos propios de la mirada neopositivista, ‘neutral’ y determinista. Sin embargo, investigaciones rigurosas en la materia señalan que la ciencia es un proceso continuo de constitución de saberes eruditos con dimensiones no solo históricas, sino también sociales, políticas, económicas y culturales, es decir, es el producto de una *actividad social* que excede con mucho los actos individuales de descubrimiento o de creación de nuevas teorías más precisas y específicas (CROMBIE, 2000; BARAONA, 1994). En la línea de las ideas anteriores, Izquierdo (2000) plantea la necesidad de generar un trabajo científico escolar que profundice en la historia de la ciencia, puesto que esta disciplina permitiría relacionar el entramado conceptual que se está aprendiendo y el problema que se intenta solucionar con diversas miradas, estrategias y racionalidades en la clase de ciencias. Con esta finalidad en mente, revisar la historia de ‘los científicos y las científicas’ y de sus respectivas épocas no resulta para nada fácil si se quiere encontrar *sentido educativo* a la comprensión y valoración de la evolución del conocimiento y su auténtico protagonismo en la historia humana (QUINTANILLA et al., 2007).

Desde esta perspectiva, la historia de la ciencia alerta a los profesores sobre la necesidad de una aproximación fenomenológica de las representaciones, concepciones y creencias: los estudiantes necesitan saber *con qué y cómo* se relacionan dichos modelos teórico-conceptuales y poderlos así confrontar con situaciones de su vida cotidiana, o mejor aún con situaciones de la vida real en otros momentos de la evolución de la ciencia misma (VIDAL, SOLAR e QUINTANILLA, 2007; GARCÍA, 2003). Haciendo uso de una analogía planteamos que la historia de la ciencia se convierte en un vehículo para formar a los profesores en ejercicio ya que no solo están estudiando su disciplina, sino que se están cuestionando la manera como se genera el conocimiento en ella (epistemología) promoviendo cambios futuros que se espera queden reflejados en la manera en que abordan los conceptos y/ o modelos científicos con sus estudiantes desde una visión naturalizada o realista pragmática de la ciencia.

Algunas propuestas para incorporar el análisis histórico en la enseñanza de la biología desde un realismo no ingenuo

De acuerdo a lo planteado sería susceptible:

- . *Explicar historias contextualizadas*, que pueden ser utilizadas desde un punto de vista didáctico no normativo: para introducir conceptos, para motivar, para promover determinadas actitudes, para relacionar conocimientos de diferentes áreas de la ciencia, para fundamentar actividades interdisciplinarias, para ayudar a concebir unitariamente la génesis del conocimiento científicos de diferentes disciplinas. (QUINTANILLA, IZQUIERDO e ADÚRIZ-BRAVO, 2007).

- . *Hacer simulaciones o dramatizaciones* de situaciones históricas, de debate en las cuales los alumnos y alumnas puedan argumentar. Por ejemplo, en el caso descrito, un grupo de la clase será partidario de las ideas de Galeno, en tanto que otro grupo, defenderá las ideas de Harvey, debidamente argumentadas.

- . *Repetir prácticas relevantes*, haciendo ver cuales eran las ideas científicas en el tiempo que se postularon, las posibilidades de interpretación que se tenían y la utilidad de las mismas, superando las limitaciones de un análisis centrado en si ‘eran verdad o no lo eran’ (por ejemplo, el experimento de Lower, en un tubo de ensayo).

- . *Identificar y describir instrumentos antiguos* mediante láminas o esquemas obtenidos de reproducciones o de sitios en internet. Reflexionar los materiales con que fueron elaborados, cómo se divulgaron, qué aportaron, las ideas que suscitaba o las polémicas que atenuaban, etc. Por ejemplo el tema de la microscopía.

- . *Leer textos históricos expresamente seleccionados* (como se hace en la clase de literatura) haciendo ver que los libros siempre se escriben pensando en quien los ha de leer y que reflejan los valores y cultura de una época. Al respecto, no se requiere de grandes fuentes bibliográficas, actualmente se puede acceder a imágenes y textos originales de gran calidad científica

- . *Dar a conocer personajes históricos* que muestren los aspectos humanos de las ciencias y el conjunto de valores (individuales y sociales) en los cuales se desarrollan y que normalmente no aparecen o atenúan los libros de texto. Por ejemplo ¿Siempre tuvieron recursos para investigar? Si no fue así ¿Cómo se las ingeniaron? ¿Qué problemas personales conspiraron para que

sus estudios fueran enseñados o divulgados de determinada manera o tales o cuales audiencias y públicos?

. *Mostrar situaciones históricas de crisis* y duda que hagan ver que el conocimiento científico no es un dogma ni una historia de buenos y malos científicos.

. Promover el análisis de ‘entramados’ histórico-políticos; histórico-geográficos; histórico-sociales o histórico-económicos que favorecieron o no el desarrollo y divulgación de la ciencia, sus problemas, instrumentos, etc. Por ejemplo ¿Por qué predominaron las ideas de Galeno durante tantos siglos? ¿Qué factores influyeron para que Servet fuera acusado de herejía y se quemaran sus libros?.

Consideraciones finales

Iniciamos esta narración, sustentando la hipótesis de que es posible utilizar aspectos concretos de la historia de la ciencia con el propósito de generar una discusión de carácter comprensivo (y metacognitivo) que contribuya a plantear el origen, circunstancias y situaciones propias de determinadas épocas que condicionan o determinan la generación de conocimiento científico, que muestre el proceso de creación y desarrollo de los principales conceptos y teorías, como fruto de un trabajo colectivo y de una construcción humana, en la que hay polémicas, tensiones y distensiones, y se analice la complejidad de las relaciones ciencia – tecnología – sociedad - comunicación (CTSC) a lo largo de la historia, con las implicaciones de transformación de los procesos sociales y de convivencia que ello ha generado para la humanidad en general y para la comunidad científica en particular.

Las representaciones longitudinales que hemos logrado, nos permiten visualizar la evolución conceptual en su conjunto, observando el nacimiento de las ideas su involución, persistencia, transformación (cambio conceptual) e incluso su anulación. Un ejemplo de esto es la idea planteada por Galeno de los poros que comunicaban ambas cámaras del corazón, idea que se mantuvo desde el siglos II y que recién se vio amenazada en el siglo XVII, sucumbiendo finalmente ante la observaciones acuciosas de algunos anatomistas de la Edad Media y del Renacimiento

Un elemento interesante de observar es la evolución de la idea de circulación menor, ya que Ibn Al –Nafis describió con gran precisión el cómo la sangre pasaba del ventrículo derecho al izquierdo a través de los pulmones, si embargo estas ideas no fueron reconocidas hasta su traducidas al latín poco antes que Servet y Colombo las manifestaran, ¿coincidencia o reproducción de la idea de Ibn Al –Nafis?

Otros análisis se pueden realizar al describir la evolución de los conceptos aplicando el modelo de Toulmin, incorporando diferentes conceptos y sus niveles de relaciones específicas desde la estructuración científica. Es por esto, que los esquemas transversales y evolutivos de los conceptos ‘eruditos’ abordados, serán desarrollados posteriormente, con el fin de completar el presente análisis longitudinal. A su vez queda pendiente establecer el entramado evolutivo con otros conceptos y fenómenos similares tales como respiración, reproducción, digestión, entre otros, íntimamente ligados

En síntesis, por todo lo que acabamos de señalar, los profesores de ciencias tendrían que *saber de y acerca de la* historia de las ciencias (HC) y de cómo utilizarla con fines de enseñan-

za, lo que conduciría a que la HC como metaciencia tendría que formar parte del currículo de la formación inicial y continua del profesorado de todas las disciplinas científicas (SOLSONA e QUINTANILLA, 2007).

Agradecimientos

Al Proyecto **FONDECYT 1095149**, que patrocina la comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica de Chile, del que se hace parte este artículo de investigación.

Referencias

- ACHTERBERG, J. **Woman as healer**. London: Rider, 1991.
- BARAONA, L. **Ciencia e historia: debates y tendencias en la historiografía de la ciencia**. València: SEC/Universitat de València, 1994.
- BORDIEU, P. **El oficio del científico**. Barcelona: Anagrama, 2003.
- CROMBIE, A. **Historia de la ciencia**. Madrid: Alianza Editorial, 2000. v. 1.
- ETCHEVERRÍA, J. **Ciencia y valores**. Barcelona: Destino, 2002.
- _____. **Filosofía de la ciencia**. Madrid: Akal, 1995.
- ESTANY, A. **Introducción a la filosofía de la ciencia**. Barcelona: Crítica, 1993.
- ESTANY, A.; IZQUIERDO, M. La evolución del concepto de afinidad analizada desde el modelo de S. Toulmin. **LLULL**, Barcelona, v. 13, n. 1, p. 349-378, 1990.
- GARCIA, A. **Aportes del estudio histórico de instrumentos científicos a la formación del profesorado de ciencias**. 2003. Tesis (Maestría) - Universidad Autónoma de Barcelona, España, 2003.
- GRIBBIN, J. **Historia de la ciencia**. Barcelona: Crítica, 2002.
- HIPÓCRATES. "Airs, waters, places". In: BUCK et al. (Orgs.). **El desafío de la epidemiología**. Washington: OPS, 1994. p. 505-1077.
- IZQUIERDO, M. Fundamentos epistemológicos. In: PERALES, F. J.; CAÑAL, P. (Eds.). **Didáctica de las ciencias experimentales: teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias**. Alcoy: Marfil, 2000. p. 11-34.
- IZQUIERDO, M. et al. Una nueva reflexión sobre la historia & filosofía de la ciencias y la enseñanza de las ciencias. In: QUINTANILLA, M. (Org.). **Historia de la ciencia: aportes para la formación del profesorado**. Santiago de Chile: Editorial Arrayán, 2007. p. 13-36.

- KRAGH, H. **Introducción a la historia de la ciencia**. Barcelona: Crítica, 1989.
- KUHN, T. **La estructura de las revoluciones científicas**. México: Fondo de Cultura Económica, 1975.
- LAÍN, P. **Historia de la medicina moderna y contemporánea**. Madrid: Editorial Científico-médica, 1963.
- MATTHEWS, M. **Science teaching: the role of history and philosophy of science**. Nova York: Routledge, 1994.
- MEAD, H.; CAMPBELL, K. **Great women of medicine**. Nova York: Random House, 1964.
- PÉREZ, T. **El concepto de enfermedad**. México: Fondo de Cultura Económica, 1988.
- QUINTANILLA, M. La enseñanza del modelo atómico de John Dalton desde una visión naturalizada de la historia de la química. In: _____. (Org.). **Historia de la ciencia: aportes para su divulgación y enseñanza**. Santiago de Chile: Editorial Arrayán, 2007. p. 67-86.
- _____. Historia de la ciencia y formación docente: una necesidad irreductible. **Revista TEA**, Bogotá, v. extra, n. 1, p. 34-43, 2005.
- _____. El dilema epistemológico y didáctico del curriculum de la enseñanza de las ciencias: ¿Cómo abordarlo en un enfoque CTS? **Pensamiento Educativo**, Santiago de Chile, v. 1, n. 25, p. 299-334, 1999.
- _____.; IZQUIERDO, M.; ADÚRIZ-BRAVO, A. Discusión en torno a un modelo para introducir la historia de la ciencia en la formación inicial del profesorado de ciencias. In: IZQUIERDO, M.; CAAMAÑO, A.; QUINTANILLA, M. (Eds.). **Investigar en la enseñanza de la química: nuevos horizontes - contextualizar y modelizar**. Barcelona: Servicio de Publicaciones UAB, 2007. p. 173-186.
- _____. et al. Nicolás Copérnico desde una postura realista pragmática de la historia de la ciencia. In: QUINTANILLA, M. (Org.). **Historia de la ciencia: aportes para su divulgación y enseñanza**. Santiago de Chile: Editorial Arrayán, 2007. p. 47-166.
- SAMSO, J. **Ciencia de los antiguos en el Andalus**. Madrid: Mapfre, 1991
- VIDAL, R.; SOLAR, H.; QUINTANILLA, M. Algunas reflexiones para considerar la historia de la ciencia en la formación inicial y continua del profesorado de matemáticas. In: QUINTANILLA, M. (Org.). **Historia de la ciencia: aportes para la formación del profesorado**. Santiago de Chile: Editorial Arrayán, 2007. p. 121-141.
- SOLSONA, N. **Mujeres científicas de todos los tiempos**. Barcelona: Talasa, 1997.
- _____.; QUINTANILLA, M. Reflexions i propostes per al debat educatiu – didàctic entorn a la història de la Ciència. In: SEMINARI DE LA HISTÒRIA DE LA CIÈNCIA I ENSENYAMENT, 2., 2005, Barcelona. **Anais...** Barcelona: Societat Catalana de la Història de la Ciència i de la Tècnica, 2005. p. 129-136.

TOULMIN, S. **La comprensión humana**: el uso colectivo y la evolución de los conceptos. Madrid: Alianza Universitaria, 1977.

Artigo recebido em agosto de 2009 e aceito em janeiro de 2010.