



# Reconstrucción estructuralista de la teoría del movimiento circular de la sangre, de William Harvey

Joaquín BARUTTA & Pablo LORENZANO



## RESUMEN

En las investigaciones sobre fisiología cardiovascular desarrolladas por William Harvey es posible distinguir entre dos teorías que responden a preguntas diferentes. La primera de ellas, que denominamos teoría del movimiento circular de la sangre, intenta dar una respuesta al problema sobre la cantidad de sangre que se mueve dentro del sistema. La segunda pretende dar cuenta de las causas de que la sangre se mueva y la denominamos teoría de las causas del movimiento de la sangre. En este trabajo, presentamos una reconstrucción estructuralista de la primera de éstas, y mostramos que posee todos los componentes considerados esenciales para cualquier teoría, de acuerdo con la concepción estructuralista de la ciencia.

PALABRAS-CLAVE • Concepción estructuralista. Circulación de la sangre. William Harvey. Elemento teórico básico. Red teórica.

## INTRODUCCIÓN

Cuando William Harvey publicó su *De motu cordis*, en 1628, la fisiología de la sangre de Galeno – que se remonta al siglo II d.C. – continuaba siendo la teoría más ampliamente difundida. No obstante, mucho antes que Galeno existieron otras teorías, algunas de las cuales fueron muy influyentes en su pensamiento (cf. Harris, 1973; Entralgo, 1976; French, 1978a; 1978b). Tal es el caso de las ideas desarrolladas por algunos médicos hipocráticos o por los médicos alejandrinos del siglo III a.C., Herófilo y Erasístrato. Todos ellos elaboraron diversas teorías relacionadas con la sangre y los órganos cardiovasculares, con la finalidad de responder, al menos, a dos preguntas: ¿cuál es el recorrido que realiza la sangre en el interior del corazón y de los vasos sanguíneos? y ¿cuál es la causa de que la sangre se mueva en el interior de estos órganos?

Aunque son preguntas estrechamente relacionadas, es perfectamente posible, en principio, responder a la primera de ellas sin dar una respuesta a la segunda. Asimismo, es posible, frente a una misma teoría sobre el recorrido que realiza la sangre,

considerar más de una teoría posible sobre la(s) causa(s) de que la sangre se mueva. De las investigaciones realizadas por Harvey puede concluirse que él arribó inicialmente a la teoría del movimiento circular de la sangre. Antes de eso, tenía conocimiento sobre las causas del movimiento de la sangre en el corazón y en las arterias –sístole de las cavidades cardíacas con oclusión y apertura alternantes de las válvulas cardíacas y sístole arterial con oclusión de las válvulas aórtica o pulmonar, respectivamente –, pero no había logrado determinar aún las causas del movimiento de la sangre en las venas y, menos todavía, en el interior de las comunicaciones arteriovenosas. Incluso, no había todavía introducido su concepto de las comunicaciones arteriovenosas, que desempeñan un papel central en la teoría del movimiento circular de la sangre.

Una vez que Harvey se convence de que es necesario que la sangre circule, y con el objetivo de explicar cómo es posible que la sangre regrese al corazón, afirma que la causa de que la sangre venosa se mueva en dirección centrípeta es la fuerza producida por las contracciones musculares sobre las venas, conjuntamente con la acción de las válvulas venosas. Como él mismo lo expresa en el capítulo xv de su libro, tras haber demostrado los movimientos de apertura y oclusión de las válvulas venosas:

Adicionalmente, algún impulso o fuerza, así como un impulsor o generador de la fuerza, tal como el corazón, era necesario para llevar a cabo esa distribución y movimiento de la sangre [que] es forzada desde las venas capilares hacia las ramificaciones más pequeñas, y desde éstas hacia los troncos más grandes a causa del movimiento de las extremidades y la compresión de los músculos en general (Harvey, 1910, p. 132).

McMullen (1995) también muestra, a través de un análisis histórico, que la teoría del movimiento circular de la sangre es anterior incluso a que Harvey comprendiera la razón de la disposición de las válvulas venosas. Una vez que Harvey se dio cuenta de las implicancias de la cantidad de sangre que sale del ventrículo izquierdo en treinta minutos, comenzó a considerar el concepto de la circulación de la sangre. Recién entonces, Harvey propuso que la razón de que la orientación de las válvulas venosas fuera opuesta al corazón era que ellas permitían que la sangre circulara únicamente en una dirección.

Estas dos teorías – que denominaremos, respectivamente, “teoría del movimiento circular de la sangre” y “teoría de las causas del movimiento de la sangre” – fueron propuestas por Harvey en distintos momentos de sus investigaciones para explicar cosas diferentes. La primera de ellas pretende responder a la siguiente pregunta, que Harvey formula de manera explícita en su libro: ¿por qué el cuerpo no se vacía de sangre en apenas treinta minutos, ni las arterias revientan, considerando la gran cantidad

de sangre que es expulsada desde el ventrículo izquierdo? Una vez que Harvey “comprende” que el movimiento de la sangre es circular, y que esa es la razón de que el cuerpo no se vacíe de sangre, ni las arterias revienten, se hace la siguiente pregunta: ¿qué causa que la sangre se mueva desde el corazón hacia las venas y, desde allí, de vuelta al corazón?

Si bien el análisis detallado de la relación existente entre ambas teorías no constituye el objetivo de este trabajo, dejándolo para uno posterior, podríamos suponer que entre ambas teorías se da una relación de teorización fuerte,<sup>1</sup> en donde la teoría del movimiento circular de la sangre es teorizada por la teoría de las causas de que la sangre se mueva. Más específicamente, la segunda dice aquello que ya está dicho en la primera pero, además, dice otras cosas: que las causas de que la sangre realice un movimiento circular son las contracciones cardíacas, los movimientos de apertura y oclusión de las válvulas (cardíacas y venosas) y las contracciones generalizadas de los músculos del cuerpo. Sin embargo, las presentaciones usuales de la obra de Harvey no suelen distinguir con precisión entre ambas teorías y utilizan indistintamente la denominación de “teoría de la circulación de la sangre” (cf. Pagel, 1976; Lewis, 1988; Porter, 1999; Lawson, 2000; Alchin, 2005). Ello, probablemente, se debe a que no cuentan con un instrumental metateórico adecuado para realizar esta distinción.

En este trabajo, llevaremos a cabo un análisis de la teoría del movimiento circular de la sangre de Harvey (que simbolizaremos con **CSH**) mediante las herramientas conceptuales proporcionadas por la denominada “concepción estructuralista de las teorías” (también llamada “metateoría estructuralista”, “estructuralismo metateórico”, “estructuralismo metacientífico” y, últimamente, en ámbitos anglosajones, “estructuralismo alemán” o “escuela estructuralista alemana”).<sup>2</sup> Para ello, vamos a pre-

<sup>1</sup> Un concepto es propio, distintivo o *dependiente* de una teoría **T**, esto es, **T-teórico**, o teórico relativamente a la teoría **T**, si el valor de verdad de los enunciados que lo contienen no puede ser determinado, o que su extensión no puede ser determinada, o sus valores, si se trata de un concepto cuantitativo o métrico, no pueden ser determinados (o, en este caso, “medidos”), sin presuponer las leyes de **T**, es decir, si y sólo si *todo* método de determinación es **T**-dependiente, o sea, si usa alguna ley de la teoría **T**, si presupone la aplicabilidad – aplicación *exitosa* – de **T**, la validez de sus leyes, lo que es lo mismo que decir que usa o presupone modelos actuales de **T**. Por el contrario, si *alguno* de los métodos de determinación del valor de verdad de los enunciados que lo contienen, de su extensión o de sus valores *no* presupone la aplicabilidad de **T**, esto es, si se puede determinar independientemente de **T**, el término es **T-no-teórico**. “Diremos que **T**<sup>\*</sup> es una teorización de **T** siempre que los conceptos **T**<sup>\*</sup>-no-teóricos sean conceptos pertenecientes a **T** (siendo **T**-teóricos o **T**-no-teóricos). Es conveniente distinguir dos subcasos aquí. Diremos que **T**<sup>\*</sup> es una teorización de **T** en sentido débil, si *alguno* de los conceptos **T**<sup>\*</sup>-no-teóricos provienen de **T**; obtenemos una teorización en sentido fuerte cuando todos ellos provienen de **T**” (Balzer, Moulines & Sneed, 1987, p. 251).

<sup>2</sup> Se podría sostener que la concepción estructuralista es, dentro de la familia de las concepciones semánticas, la que ofrece un análisis más detallado de la estructura fina de las teorías, a través tanto del tratamiento de una mayor cantidad de elementos como de una mejora en el de los previamente identificados. Además, es la que más atención ha dedicado al análisis y reconstrucción de teorías científicas particulares y la que mayores frutos ha dado en la

sentar en primer término su elemento teórico básico (núcleo – modelos potenciales, modelos, modelos parciales, condiciones de ligadura, vínculos interteóricos –, aplicaciones intencionales y aserción empírica asociada con dicho elemento teórico), para luego presentar sus especializaciones y red teórica. Pero, antes de ello, haremos una presentación informal, intuitiva, de dicha teoría, a continuación de lo cual expondremos brevemente las nociones básicas del estructuralismo metateórico.

## I LA TEORÍA DEL MOVIMIENTO CIRCULAR DE LA SANGRE

Galeno aceptó la clasificación de los vasos sanguíneos en arterias y venas que realizó Praxágoras en el siglo III a.C. (para una buena exposición de la obra de Galeno, cf. Harris, 1973, o la traducción de *Sobre el uso de las partes*, realizada por May, 1968). Además, a diferencia de Aristóteles, que sostenía que tanto las arterias como las venas se originan en el corazón, Galeno creía, junto con el autor del texto hipocrático *Sobre la alimentación*, que las arterias se originan en el corazón, y las venas en el hígado. Con Herófilo, sostuvo que en las arterias hay sangre y no aire, y con Erasístrato, afirmó que la sangre se produce en el hígado a partir de los alimentos ingeridos. Galeno también coincidió con este último en dos aspectos adicionales: no incluyó a las aurículas como parte del corazón, sino como expansiones de la vena cava (en el caso de la aurícula derecha) y de la vena pulmonar<sup>3</sup> (en el caso de la aurícula izquierda), y aceptó la existencia de las “anastomosis arteriovenosas”, aunque les atribuyó un significado diferente. Según creía Erasístrato, en condiciones patológicas, la sangre presente en las venas es transmitida, a través de estas anastomosis, a las arterias. Galeno, en cambio, sostuvo que hay un intercambio tanto de sangre, desde las venas hacia las arterias, como también de pneuma, desde las arterias hacia las venas, y que ello ocurre en condiciones normales.

clarificación de los problemas conceptuales y en la explicitación de los supuestos fundamentales de teorías científicas concretas. Aquí no argumentaremos en ese sentido. Bastará para la plausibilidad *prima facie* de tales aseveraciones señalar la concordancia con la evaluación realizada por otros autores. Así, por ejemplo, resumiendo las ventajas relativas de la metateoría estructuralista respecto de otras propuestas semánticas, Sebastian Enqvist sostiene recientemente que “el modelo estructuralista de las teorías es impresionante en dos aspectos: primero, presenta un análisis muy detallado de lo que puede ser llamada la *estructura profunda* de una teoría empírica. Segundo, se ha mostrado que un rango de teorías científicas reales pueden ser reconstruidas como redes teóricas” (Enqvist, 2011, p. 107), mientras que, en el mismo sentido, la filósofa de la ciencia inglesa, Nancy Cartwright, ya había afirmado que: “los estructuralistas alemanes indudablemente ofrecen el tratamiento más satisfactoriamente detallado y bien ilustrado de la estructura de las teorías científicas disponible” (Cartwright, 2008, p. 65).

<sup>3</sup> Siguiendo la tradición de Herófilo, Galeno llamaba “arteria venosa” a lo que actualmente denominamos “vena pulmonar”.

De este modo, Galeno seleccionó algunas de las ideas de sus predecesores y les añadió otras propias, agrupándolas y reconceptualizándolas dentro de una nueva teoría sobre el movimiento de la sangre, que puede describirse de la siguiente manera. La sangre se encuentra inicialmente en el hígado – en donde se genera – y, desde allí, una porción de ésta se dirige hacia los órganos del cuerpo para nutrirlos, por medio de las venas correspondientes. La parte restante de la sangre venosa se dirige hacia el ventrículo derecho, desde donde una proporción menor pasa a la arteria pulmonar – con la finalidad de nutrir a los pulmones –, mientras que la porción restante es transferida al ventrículo izquierdo a través de las “porosidades invisibles” presentes en el tabique interventricular. Del total de la sangre transmitida a la arteria pulmonar, una proporción todavía más pequeña pasa a la vena pulmonar a través de las anastomosis arteriovenosas, – también con la finalidad de nutrir a los pulmones –. Por su parte, la sangre que fue transferida desde el ventrículo derecho al izquierdo pasa a las arterias – tras sufrir un proceso de arterialización en el que es mezclada con el aire proveniente de los pulmones –, desde donde se dirige a los órganos. Finalmente, también una pequeña porción de la sangre venosa presente en el resto de los órganos (además del pulmón) es transferida a las arterias por medio de las anastomosis arteriovenosas, en donde es utilizada para nutrir las paredes arteriales.

Con el propósito de comprender la diferencia central que hay entre la teoría de Galeno y la de Harvey, diremos que, en el primer caso, esquemáticamente, el movimiento de la sangre comienza en un extremo de su recorrido, el hígado, y finaliza en el otro extremo, los órganos, en donde la sangre es eliminada durante el proceso de solidificación, convirtiéndose en parte constitutiva del cuerpo, o en forma de residuos.

Antes de que William Harvey publicara el *De motu cordis*, algunos médicos ya habían cuestionado aspectos importantes de la fisiología y de la anatomía de Galeno (cf. Temkin, 1940; Pagel, 1976; Wilson, 1962; Entralgo, 1976; French, 1978c; 1978d; 1994; 2002; McMullen, 1995; Porter, 1999; Stefanadis, 2009). No es éste el lugar para realizar un análisis detallado de sus contribuciones, aunque vale la pena mencionar aquí el descubrimiento del tránsito pulmonar – presente en los trabajos de Ibn al-Nafis, en el siglo XIII, y de Miguel Servet y Realdo Colombo, en el siglo XVI – y las descripciones de las válvulas venosas – que hicieron, por ejemplo, Fabricio de Acquapendente, profesor de Harvey en la Universidad de Padua, y Salomón Alberti, discípulo también de Fabricio. Entre éstos, Harvey conoció con seguridad los trabajos de Colombo, Acquapendente y Alberti.

Además de los conocimientos provenientes de estas fuentes, motivado inicialmente por preguntas relativas a la sístole y a la diástole cardíacas, Harvey se topó con un problema que es central en su descubrimiento. Al estimar la cantidad de sangre que sale del ventrículo izquierdo en treinta minutos, llegó a la conclusión de que dicha

magnitud es tal que no podría reponerse en ese intervalo de tiempo, como lo estipula la teoría de Galeno. En otras palabras, si la teoría de aquél fuera correcta – a saber, que la sangre se produce en el hígado a partir de los alimentos y es eliminada en los órganos tras finalizar su recorrido –, entonces el cuerpo se vaciaría de sangre en media hora. En vistas de que ello no ocurre, Harvey rechaza la teoría de Galeno y propone su propia teoría.

De acuerdo con Harvey, la razón de que el cuerpo no se quede sin sangre (ni las arterias revienten) es que no es verdad que ésta se produce en el hígado y se elimina en el resto de las partes del cuerpo. En cambio, la sangre recorre una trayectoria *circular* atravesando una secuencia ordenada de órganos cardiovasculares y de comunicaciones arteriovenosas.

Los órganos cardiovasculares, las comunicaciones arteriovenosas y la relación de sucesión entre ellos pueden variar dependiendo de cuáles sean los animales y el período de la vida que estemos considerando (cf. Harvey, 1910, cap. 4). Harvey identifica cuatro grupos: los animales con pulmones y dos ventrículos, durante la vida adulta; los animales con pulmones y dos ventrículos, en el período embrionario; los animales adultos con pulmones y un solo ventrículo; y los animales adultos sin pulmones. Sin embargo, a pesar de estas diferencias, hay también algo en común en todos ellos: la sangre circula.

## 2 LA CONCEPCIÓN ESTRUCTURALISTA DE LAS TEORÍAS

La concepción estructuralista de las teorías científicas es uno de los miembros de la familia de concepciones semánticas de la ciencia (para las primeras presentaciones del estructuralismo metateórico, cf. Sneed, 1971; Stegmüller, 1973; para la exposición más acabada y completa, Balzer, Moulines & Sneed, 1987; para una presentación breve, ver Díez & Moulines, 1999; Díez & Lorenzano, 2002). A diferencia de la concepción heredada, que identificaba a una teoría con un conjunto de enunciados (principalmente los axiomas), las concepciones semánticas identifican a las teorías con la clase de sus modelos (o con secuencias de clases de modelos).

De acuerdo con la concepción estructuralista, la unidad más simple que podemos identificar con una teoría es lo que se denomina *elemento teórico* y se simboliza mediante el par ordenado  $\langle \mathbf{K}, \mathbf{I} \rangle$ . Mediante  $\mathbf{K}$  simbolizamos el *núcleo teórico*, o *núcleo*, de la teoría, que es una estructura formada por los *modelos potenciales* ( $\mathbf{M}_p$ ), los *modelos* ( $\mathbf{M}$ ), los *modelos parciales* ( $\mathbf{M}_{pp}$ ), las *condiciones de ligadura* ( $\mathbf{C}$ ) y los *vínculos interteóricos* ( $\mathbf{L}$ ). Siguiendo la propuesta de McKinsey y Suppes y las enseñanzas del grupo Bourbaki en fundamentos de las matemáticas, dicha concepción acepta que el

modo más sencillo y conveniente de seleccionar la clase de estructuras (modelos) que caracterizan la identidad de una teoría es por medio de un predicado conjuntista, esto es, definiendo un predicado o concepto de “segundo orden” en términos de la teoría de conjuntos. Tal definición adopta la siguiente forma general:

$$x = \langle D_1, \dots, D_k, R_1, \dots, R_n \rangle \text{ es una estructura del tipo tal-y-cual syss} \\ A_1(D_1, \dots, D_k, R_1, \dots, R_n) \text{ y } \dots \text{ y } A_m(D_1, \dots, D_k, R_1, \dots, R_n),$$

en donde  $A_1, \dots, A_m$  son ciertas fórmulas (axiomas) satisfechas por las entidades que se encuentran dentro de los paréntesis. Las  $D_i$  son conjuntos simples, los llamados *conjuntos base*, que establecen la ontología de la teoría, mientras que las  $R_j$  son relaciones (que usualmente son funciones) definidas sobre (algunos de) esos conjuntos. La definición especifica los rasgos formales de las entidades que ocurren en una estructura del tipo tal-y-cual. **Mp** simboliza la clase total de entidades que satisfacen, de la totalidad de axiomas  $A_1, \dots, A_m$ , las condiciones  $A_i$ , los llamados “axiomas impropios”, que caracterizan matemáticamente al aparato conceptual de la teoría y se denominan *modelos potenciales* de la teoría; son aquellas estructuras (de la forma  $\langle D_1, \dots, D_n, R_1, \dots, R_m \rangle$ ) de las cuales tiene sentido preguntarse si son modelos, pero que todavía no se sabe si efectivamente lo son. **M** simboliza a las entidades (estructuras de la forma  $\langle D_1, \dots, D_k, R_1, \dots, R_n \rangle$ ) que satisfacen la totalidad de las condiciones o axiomas  $A_1, \dots, A_m$  introducidos, es decir, que, además de los axiomas impropios, satisfacen los “axiomas propios” o ley(es) fundamental(es), y se llaman *modelos actuales* o, sencillamente, *modelos* de la teoría (en donde la clase de modelos “selecciona” un subconjunto dentro del conjunto dado por **Mp**:  $\mathbf{M} \subseteq \mathbf{Mp}$ ). La dicotomía entre dos niveles conceptuales – el nivel de los conceptos específicos de esa teoría, y que se denominan **T-teóricos**, y el nivel de los conceptos **T-no-teóricos**, es decir, de los conceptos tomados de otras teorías – se refleja en la distinción de los conjuntos **Mp** y **Mpp**. Si al conjunto de los modelos potenciales **Mp** se le “recortan” los términos teóricos, se obtienen los denominados *modelos parciales*, que describen, mediante conceptos no-teóricos o “empíricos” relativamente a la teoría en cuestión, los sistemas posibles a los que es concebible aplicar dicha teoría; constituyen, por así decir, la “base empírica” de la teoría – en sentido relativo –; su clase total se simboliza por **Mpp** (si **r** es la función que “recorta” los componentes teóricos, entonces:  $\mathbf{Mpp} := \mathbf{r}(\mathbf{Mp})$ ). Los modelos de la teoría no aparecen aislados entre sí, sino que están interconectados, formando una estructura global; a estas relaciones “intermodélicas” (que constituyen “conexiones cruzadas entre modelos”) se las denominan *condiciones de ligadura* y son usadas a fin de expresar que ciertas características permanecen constantes a través de los diferentes modelos; su clase total se simboliza por **C** (en donde la clase de condiciones de ligadura “selecciona” un subconjunto

dentro del conjunto de subconjuntos, o conjunto potencia, de  $\mathbf{Mp}$  y excluye a los miembros que no pertenecen a ese subconjunto:  $\mathbf{C} \subseteq \text{Pot}(\mathbf{Mp})$ ). Por último, y de un modo análogo, se puede decir que distintas teorías están por lo general relacionadas entre sí; la clase total de dichas relaciones interteóricas, denominadas *vínculos*, se simboliza mediante  $\mathbf{L}$  (en donde la clase de vínculos “selecciona” un subconjunto dentro del conjunto dado por  $\mathbf{Mp}$ :  $\mathbf{L} \subseteq \mathbf{Mp}$ ). El núcleo  $\mathbf{K}$  constituye la identidad formal de la teoría, y decimos entonces que  $\mathbf{K} = \langle \mathbf{M}, \mathbf{MP}, \mathbf{MPP}, \mathbf{C}, \mathbf{L} \rangle$ . Por su parte,  $\mathbf{I}$  es el conjunto de las *aplicaciones pretendidas* o *intencionales* de la teoría, es decir, los sistemas empíricos a los que queremos aplicar la teoría. Que  $\mathbf{I} \subseteq \mathbf{Mpp}$  es todo lo que puede ser dicho sobre el conjunto  $\mathbf{I}$  de aplicaciones propuestas. El campo  $\mathbf{I}$  es un conjunto *abierto*, que no puede ser definido mediante la introducción de condiciones necesarias y suficientes para su pertenencia y cuya extensión no puede ser dada de una vez y para siempre; es, antes bien, un concepto pragmático y diacrónico.

La pretensión de que el núcleo  $\mathbf{K}$  del elemento teórico  $\mathbf{T}$  (en particular, sus leyes fundamentales) se aplica (exitosamente) al campo de aplicaciones propuestas o intencionales  $\mathbf{I}$  (o, inversamente, de que el campo de aplicaciones propuestas o intencionales  $\mathbf{I}$  puede ser “tratado por medio de” o ser “subsumidas” bajo el núcleo  $\mathbf{K}$  del elemento teórico  $\mathbf{T}$ ) se hace explícita mediante un acto lingüístico o proposicional, mediante una *afirmación*, la afirmación o *aserción* “empírica” de la teoría. Ésta afirma que ciertos sistemas empíricos concretos, descritos  $\mathbf{T}$ -no-teóricamente, tienen el comportamiento que las restricciones legales (leyes, condiciones de ligadura y vínculos interteóricos) determinan en el nivel  $\mathbf{T}$ -no-teórico, es decir, que todo sistema propuesto dado puede ser, añadiendo un conjunto de componentes  $\mathbf{T}$ -teóricos a la parte  $\mathbf{T}$ -no-teórica de  $\mathbf{K}(\mathbf{T})$ , extendido a, o incrustado en, un modelo de  $\mathbf{M}(\mathbf{T})$  (o, mejor, extendido a un  $\mathbf{Mp}(\mathbf{T})$  e incrustado en un modelo de  $\mathbf{M}(\mathbf{T})$ ), que también cumpla con las condiciones de ligadura  $\mathbf{C}(\mathbf{T})$  y con los vínculos interteóricos  $\mathbf{L}(\mathbf{T})$ .

Sin embargo, las teorías suelen identificarse con más de un elemento teórico. Teorías únicas en un sentido intuitivo deben ser concebidas como agregados de varios (a veces un gran número de) elementos teóricos, y ello es consecuencia de la existencia de distintas leyes con diferentes niveles de generalidad, dentro de la misma teoría. Esos agregados son llamados *redes teóricas*. Las leyes que valen para todas las aplicaciones pretendidas se denominan *leyes fundamentales*, y las que valen sólo para un subconjunto de aquellas se denominan *leyes especiales*. Al elemento teórico que contiene a la(s) ley(es) fundamental(es) de la teoría se le llama *elemento teórico básico*, mientras que los que poseen leyes especiales se denominan *elementos teóricos especializados* o, simplemente, *especializaciones* de la teoría. Las especializaciones, por lo tanto, se obtienen mediante la introducción de sucesivas restricciones a la ley fundamental, que especifican sus componentes aumentando su contenido empírico. Una *red teórica*  $\mathbf{N}$  es

un conjunto de elementos teóricos conectados mediante la relación de especialización. Por lo general, las redes teóricas poseen un elemento teórico básico en la “cúspide” y distintas “ramas” o “líneas de especialización”, siendo denominadas “redes teóricas *arbóreas*” o, simplemente, “árboles teóricos”.

A continuación nos ocuparemos del elemento teórico básico de la teoría del movimiento circular de la sangre de Harvey y, en la sección 2.3, identificaremos sus especializaciones y el árbol teórico.

### 3 EL ELEMENTO TEÓRICO BÁSICO DE CSH

Aquí introducimos los distintos componentes del núcleo teórico de la teoría del movimiento circular de la sangre de Harvey  $\mathbf{K}(\text{CSH})$  – la clase de los modelos potenciales  $\mathbf{M}_p(\text{CSH})$ , la clase de los modelos  $\mathbf{M}(\text{CSH})$ , la clase de los modelos parciales  $\mathbf{M}_{pp}(\text{CSH})$ , la clase de las condiciones de ligadura  $\mathbf{C}(\text{CSH})$  y la clase de los vínculos interteóricos  $\mathbf{L}(\text{CSH})$  – y se caracteriza su campo de aplicaciones propuestas  $\mathbf{I}(\text{CSH})$  y su aserción empírica.

#### 3.1 EL NÚCLEO TEÓRICO DE CSH

##### 3.1.1 LOS MODELOS POTENCIALES DE CSH

La teoría del movimiento circular de la sangre de Harvey trata sobre el recorrido que realiza la sangre en el interior de los órganos cardiovasculares y de las comunicaciones arteriovenosas. Necesitamos, por lo tanto, identificar a la sangre cuyo movimiento deseamos conocer por medio de la teoría, la que representaremos por medio del conjunto  $SA$ . Además, el desplazamiento de la sangre tiene lugar en el interior de las aurículas – representadas por el conjunto  $AU$  –, los ventrículos – representados por el conjunto  $VE$  –, las arterias – representadas por el conjunto  $AR$  –, las venas – representados por el conjunto  $VI$  – y los tipos de comunicaciones arteriovenosas, que representaremos por medio del conjunto  $(CO_j)_{j \leq m}$ . Cada  $CO_j$  debe ser interpretado como un conjunto de un tipo particular de comunicación arteriovenosa y cada elemento  $c_j \in (CO_j)_{j \leq m}$  es una comunicación arteriovenosa de cierto tipo. Podemos introducir ahora nuestra primera definición auxiliar. A través de ella obtenemos el conjunto de los órganos cardiovasculares – representado mediante  $OR$  – definido como la unión de los conjuntos de las aurículas, de los ventrículos, de las arterias y de las venas. Decimos entonces que  $OR =_{\text{def}} AU \cup VE \cup AR \cup VI$ . Por lo tanto,  $OR$  cumple con los criterios de eliminabilidad y de no creatividad característicos de los términos definidos, pues todo

lo que se dice mediante  $OR$  puede decirse prescindiendo de él, por medio de  $AU$ ,  $VE$ ,  $AR$  y  $VI$ . Su función es la de una mera abreviatura.

Hasta aquí, tenemos prácticamente todos los conjuntos base a partir de los cuales podemos caracterizar a las relaciones (y funciones) de la teoría. No obstante, la ley fundamental de la teoría del movimiento circular de la sangre es una ley de sucesión, pues el movimiento de la sangre se produce en algún intervalo de tiempo. Por lo tanto, tenemos que introducir también el tiempo, que representaremos a través del conjunto  $TI$ . Éste viene dado por el par ordenado  $\langle IN, < \rangle$ , que constituye un orden lineal sobre el conjunto  $IN$  de instantes, en donde  $<$  representa la relación temporal “es anterior a” (siendo el par  $\langle IN, < \rangle$  isomórfico con el par  $\langle \mathbb{N}, < \rangle$ , consistente en el conjunto de los números naturales  $\mathbb{N}$  y en la relación-menor-que sobre los números naturales  $<$ ). De esta forma,  $ti$  representa cualquier instante o momento,  $ti_{+1}$  el instante o momento inmediatamente posterior y  $ti_{+n}$  cualquier instante o momento posterior a  $ti$ .

Para conocer cómo se mueve la sangre a través de la secuencia de los órganos cardiovasculares y de las comunicaciones arteriovenosas, necesitamos determinar también cuál es la localización de la sangre en cada instante. Para ello introducimos dos funciones. Una de ellas – a la que simbolizamos mediante  $LOR$  – localiza a la sangre en los órganos cardiovasculares, y la otra – a la que representamos a través de  $LCO$  – localiza a la sangre en las comunicaciones arteriovenosas. En el primer caso, lo simbolizamos mediante  $LOR: SA \times TI \rightarrow OR$ , mientras que en el segundo caso escribimos  $LCO: SA \times TI \rightarrow CO_j$ . La razón por la cual identificamos dos funciones distintas de localización de la sangre, en lugar de una sola, es que los métodos de determinación de cada una de estas funciones dependen de teorías distintas, y ésta es una distinción que resultará imprescindible cuando identifiquemos a los modelos parciales de la teoría.

Los órganos cardiovasculares y las comunicaciones arteriovenosas se encuentran ordenados por una relación de sucesión inmediata entre ellos. Podemos distinguir entre una relación de sucesión inmediata de los órganos cardiovasculares por las comunicaciones arteriovenosas – a la que simbolizamos mediante  $SOC$  – y una relación de sucesión inmediata de las comunicaciones arteriovenosas por los órganos cardiovasculares, a la que simbolizamos mediante  $SCO$ . Estas relaciones están definidas por el cambio de localización de la sangre en dos instantes consecutivos  $ti$  y  $ti_{+1}$ , y nos permiten afirmar que en caso de que la sangre se localice en un “órgano”  $o$  en  $ti$  y en otro “órgano”  $o'$  en  $ti_{+1}$ , entonces  $o'$  es el sucesor inmediato de  $o$ . La relación de sucesión de los órganos cardiovasculares por las comunicaciones arteriovenosas será nuestra segunda definición auxiliar, y decimos entonces que:  $\forall o \in OR \wedge \forall cj \in (CO_j)_{j \leq m}: SOC(o, cj) =_{\text{def}} \exists s \in SA \wedge \exists ti, ti_{+1} \in TI \wedge \exists LOR \wedge \exists LCO (LOR(s, ti) = o \wedge LCO(s, ti_{+1}) = cj)$ . La relación de sucesión de las comunicaciones arteriovenosas por los órganos cardio-

vasculares será nuestra tercera definición auxiliar, y decimos entonces que:  $\forall o \in OR \wedge \forall ci \in (COj)_{j \leq m}: SCO(cj, o) =_{\text{def}} \exists s \in SA \wedge \exists ti, ti_{+1} \in TI \wedge \exists LOR \wedge \exists LCO(LCO(s, ti) = cj \wedge LOR(s, ti_{+1}) = o)$ . Las relaciones de sucesión inmediata, por lo tanto, son términos definidos a partir de  $LOR$  y de  $LCO$ . Ello significa que, al igual que  $OR$ , cumplen con los criterios de eliminabilidad y de no creatividad, pues todo lo que se dice mediante  $SOC$  y  $SCO$  puede decirse prescindiendo de ellos, por medio de  $LOR$  y de  $LCO$ .

Caracterizar a los modelos potenciales de este modo implica que sólo tiene sentido preguntarnos si son modelos de la teoría aquellos sistemas que se componen de sangre, de órganos cardiovasculares – es decir, aurículas, ventrículos, arterias y venas –, de comunicaciones arteriovenosas, de un intervalo temporal, de una función de localización de la sangre en los órganos cardiovasculares y de una función de localización de la sangre en las comunicaciones arteriovenosas. Nótese que, como dijimos más arriba, estos axiomas son todos ellos axiomas impropios, o no legaliformes, pues aunque poseen ya cierto contenido fáctico – reflejan ciertos hechos que podríamos imaginarnos que fueran de otra manera – son meras caracterizaciones del aparato conceptual de la teoría. En efecto, no hemos dicho nada aún sobre el recorrido que debe realizar la sangre en el interior de los órganos cardiovasculares y de las comunicaciones arteriovenosas, de manera que los modelos potenciales sean, además, modelos de la teoría.

Podemos definir mediante la introducción de un predicado conjuntista a los modelos potenciales de la teoría del movimiento circular de la sangre, del siguiente modo:

#### Definición 1

**Mp(CSH)**:  $x$  es un modelo potencial de la teoría del movimiento circular de la sangre de Harvey ( $x \in \mathbf{Mp}(\mathbf{CSH})$ ) syss existen  $SA, AU, VE, AR, VI, (COj)_{j \leq m}, TI, IN, <, LOR, LCO$ , tal que

$$(o) x = \langle SA, AU, VE, AR, VI, (COj)_{j \leq m}, TI, IN, <, LOR, LCO \rangle,$$

$$(1) SA = \{s\},$$

$$(2) AU < \aleph_0 \wedge AU \neq \emptyset,$$

$$(3) VE < \aleph_0 \wedge VE \neq \emptyset \wedge VE \cap AU = \emptyset,$$

$$(4) AR < \aleph_0 \wedge AR \neq \emptyset \wedge AR \cap AU = \emptyset \wedge AR \cap VE = \emptyset,$$

$$(5) VI < \aleph_0 \wedge VI \neq \emptyset \wedge VI \cap AU = \emptyset \wedge VI \cap VE = \emptyset \wedge VI \cap AR = \emptyset,$$

$$(6) (COj)_{j \leq m} < \aleph_0 \wedge (COj)_{j \leq m} \neq \emptyset \wedge (COj)_{j \leq m} \cap OR = \emptyset,$$

$$(7) TI = \langle IN, < \rangle \text{ es un orden lineal,}$$

$$(8) LOR: SA \times TI \rightarrow OR,$$

$$(9) LCO: SA \times TI \rightarrow COj.$$

### 3.1.2 LOS MODELOS DE CSH

Al introducir el predicado conjuntista mediante el cual definimos a los modelos potenciales de la teoría del movimiento circular de la sangre de Harvey, todo lo que hicimos fue caracterizar a los dominios de objetos y a las funciones de la teoría. De este modo, definimos los modelos de los que tiene sentido preguntarnos si cumplen también con los axiomas propios o legaliformes de la teoría. Las estructuras que, además de cumplir con los axiomas impropios, es decir, además de ser modelos potenciales – que se componen de la sangre cuyo movimiento deseamos conocer, los órganos cardiovasculares, las comunicaciones arteriovenosas, un orden temporal y dos funciones de localización de la sangre –, cumplen también con los axiomas propios, o leyes, de la teoría se denominan *modelos actuales* o, simplemente, *modelos*  $\mathbf{M}(\text{CSH})$ .

Podemos introducir el predicado conjuntista que define qué es ser un modelo de esta teoría de la siguiente manera.

#### Definición 2

$\mathbf{M}(\text{CSH})$ :  $x$  es un *modelo de la teoría del movimiento circular de la sangre de Harvey* ( $x \in \mathbf{M}(\text{CSH})$ ) syss existen  $SA, AU, VE, AR, VI, (CO_j)_{j \leq m}, TI, IN, <, LOR, LCO$ , tal que

- (1)  $x \in \mathbf{Mp}(\text{CSH})$ ,
- (2a)  $\forall o, o' \in OR \forall s \in SA \forall ti, ti_{+1}, ti_{+n_1}, ti_{+m}, n \forall LOR(LOR(s, ti) = o \wedge LOR(s, ti_{+1}) = o') \exists cj \in (CO_j)_{j \leq m} \exists LCO(LCO(s, ti_{+n_1}) = cj): LOR(s, ti_{+m}, n) = o$ ,
- (2b)  $\forall a \in AR \forall v \in VE \forall s \in SA \forall ti, ti_{+1}, ti_{+2} \forall LOR(LOR(s, ti) = a) \exists cj \in (CO_j)_{j \leq m} \exists LCO(LCO(s, ti_{+1}) = cj): LOR(s, ti_{+2}) = v$ .

El axioma propio, o ley fundamental, de la teoría del movimiento circular de la sangre establece que (a) siempre que la sangre se mueve – es decir, cambia de localización – desde un órgano cardiovascular cualquiera al que le sucede inmediatamente, más adelante la misma sangre regresará al órgano de partida atravesando previamente alguna comunicación arteriovenosa (axioma 2a de la definición 2); y ello se debe a que (b) siempre que la sangre se localiza en una arteria, a continuación atraviesa alguna comunicación arteriovenosa y pasa luego a una vena (axioma 2b de la definición 2).

Podría mostrarse fácilmente que lo que hemos identificado aquí como la ley fundamental de la teoría, si bien no satisface los requisitos impuestos por el concepto clásico de ley fundamental (cf. Hempel & Oppenheim, 1948) – requisitos que, por otra parte, son excesivamente restrictivos y dejan de lado numerosos enunciados (si no todos los) que las distintas comunidades científicas han aceptado como “leyes” –, sí satisface aquellos requisitos (“condiciones necesarias”, “condiciones necesarias *débiles*” o “síntomas”) señalados por la concepción estructuralista para que un enunciado

sea considerado una ley fundamental (cf. Moulines, 1982, 1991; para un análisis de esta cuestión, atendiendo en particular la situación de las leyes en las ciencias biológicas, cf. Lorenzano, 2007).

### 3.1.3 LOS MODELOS PARCIALES DE CSH

Tenemos identificadas hasta ahora a dos de las estructuras del núcleo **K**: los modelos potenciales **Mp(CSH)** y los modelos **M(CSH)**. Para poder caracterizar la clase de los *modelos parciales* de la teoría **Mpp(CSH)** es necesario establecer la distinción entre conceptos teóricos y conceptos no-teóricos en el interior de dicha teoría, es decir, entre los conceptos específicos, los “**CSH-teóricos**”, y aquellos tomados de otras teorías, los “**CSH-no-teóricos**”.

Examinemos ahora los conceptos básicos de **CSH**, a saber: *SA, AU, VE, AR, VI, (CO)<sub>j</sub> ≤ m, TI, IN, <, LOR, LCO*, a fines de determinar cuáles de estos conceptos son **CSH-teóricos** y cuáles **CSH-no-teóricos**.

La teoría del movimiento circular de la sangre no es necesaria para determinar la extensión del término “sangre”. Como sostienen Balzer y Eleftheriadis (1991) al reconstruir la teoría humoral hipocrática, los humores – entre los cuales se incluye la sangre – “deben ser determinados antes de ser aplicada la teoría, ya sea mediante métodos cualitativos como la sensación humana directa, o por medio de algún dispositivo de medición primitivo” (Balzer & Eleftheriadis, 1991, p. 219). Decimos entonces que la sangre es **CSH-no-teórica**.

Tampoco es necesaria esta teoría para determinar la extensión del conjunto de los órganos cardiovasculares. Las aurículas, los ventrículos, las arterias y las venas pueden identificarse con independencia de la teoría. La extensión de estos órganos podría determinarse, por ejemplo, a través de una teoría anatómica, posiblemente por medio de métodos cualitativos combinados con la técnica de la disección. Lo mismo ocurre con el orden temporal, que puede determinarse con independencia de esta teoría a través de una teoría de la cronometría.

Por lo tanto, la sangre (*SA*), los órganos cardiovasculares (*OR*) y el tiempo (*TI*) son términos **CSH-no-teóricos**.

En el caso de las comunicaciones arteriovenosas (*à la Harvey*), no ocurre lo mismo, pues su extensión se determina a través de una aplicación exitosa de la teoría. En el momento en que Harvey elabora su teoría del movimiento circular de la sangre, él no dispone de otro medio para determinar que estas comunicaciones existen que no sea acudiendo a su teoría. Ello quedará más claro unos párrafos más abajo, cuando analicemos el método de determinación que él utiliza en el *De motu cordis*. Años después de su muerte, el médico holandés Anthony van Leeuwenhoek y el médico italiano

Marcello Malpighi observaron, a través del microscopio, unas estructuras que podrían corresponderse (aunque sólo aproximadamente) con las comunicaciones arteriovenosas de las que hablaba Harvey. Leeuwenhoek dio a conocer sus observaciones en 1688, a través de una carta que envió a la Royal Society. Malpighi, por su parte, publicó sus observaciones sobre las comunicaciones arteriovenosas pulmonares en su obra *De pulmones*, en 1691.

Las funciones de localización de la sangre y las relaciones de sucesión inmediata merecen algunos comentarios particulares. De haber introducido una única función de localización, cuyo rango fueran tanto los órganos cardiovasculares como los tipos de comunicaciones arteriovenosas, habría resultado insatisfactorio nuestro análisis de la **T**-teoricidad. El motivo de ello es que algunas de las instancias de localización de la sangre son determinadas con independencia de la teoría del movimiento circular de la sangre, a saber, la localización de la sangre en los órganos cardiovasculares (*LOR*). Sin embargo, como veremos a continuación, el medio del que dispone Harvey para determinar la localización de la sangre en las comunicaciones arteriovenosas (*LCO*) es a través de una aplicación exitosa de su teoría. Por lo tanto, podemos estar seguros de que *LOR* es un término **CSH**-no-teórico, mientras que *LCO* es un término **CSH**-teórico.

Lo mismo sucede con las relaciones de sucesión inmediata entre los órganos cardiovasculares y las comunicaciones arteriovenosas (*SOC* y *SCO*). Ambas están definidas a partir tanto de *LOR* como de *LCO* y, por lo tanto, son **CSH**-teóricas. Es decir, para determinar la extensión de *SOC* y de *SCO* es necesario determinar también la extensión de *LCO* y, por lo tanto, de  $\langle CO_j \rangle_{j \leq m}$ . Debido a que tanto *LCO* como  $\langle CO_j \rangle_{j \leq m}$  son **CSH**-teóricos, *SOC* y *SCO* heredan de ellas su **CSH**-teoricidad.<sup>4</sup>

Para comprender más claramente la razón de que los tipos de comunicaciones arteriovenosas ( $\langle CO_j \rangle_{j \leq m}$ ) y la localización de la sangre en su interior (*LOC*) sean **CSH**-teóricos, debemos analizar el método de determinación que utiliza Harvey. Él puede determinar por medio de ligaduras arteriales y venosas, que la sangre en las arterias se mueve desde el corazón hacia los órganos mientras que en las venas se desplaza desde los órganos hacia el corazón. No obstante, Harvey sabe también que si ligamos una vena, ésta se distiende distalmente solo en el caso de que mantengamos permeable la arteria que irriga el mismo órgano del cual ella procede. Es decir, si ligamos simultáneamente a la vena y su correspondiente arteria, entonces la sangre deja de acumularse distalmente a la ligadura en el interior de la vena. Según él sostiene, ésta es una clara

<sup>4</sup> Como se ve, aquí se identifica un conjunto base de la teoría como concepto **CSH**-teórico, a saber, el conjunto de las comunicaciones arteriovenosas, de manera similar a los análisis de la genética clásica (cf. Balzer & Lorenzano, 2000; Lorenzano, 2000; 2002) y de poblaciones (cf. Lorenzano, 2008), en que también se atribuye **T**-teoricidad a términos no relacionales ni funcionales, a pesar de que lo habitual sea que la **T**-teoricidad se restrinja a ellos, al menos dentro de las teorías de la física.

prueba de la existencia de comunicaciones arteriovenosas que permiten el paso de la sangre desde las arterias a las venas. Sin embargo, este método de determinación de las comunicaciones arteriovenosas, y de la sangre localizada en su interior, presupone una aplicación exitosa de la teoría.

La razón es que el fenómeno de las ligaduras admite más de una explicación posible. No se *deduce* de éste la existencia de comunicaciones arteriovenosas que permiten que toda la sangre arterial (procedente del corazón) sea transmitida a las venas (de regreso hacia el corazón). En cambio, Harvey está interpretando el fenómeno de las ligaduras a la luz de su propia teoría, que él ya ha aceptado. Al hacerlo, introduce su concepto de las comunicaciones arteriovenosas y convierte al fenómeno en una aplicación exitosa de su teoría. En otras palabras, para probar que las comunicaciones arteriovenosas están ahí, y que se comportan como él dice que lo hacen, Harvey debe probar simultáneamente que la sangre está circulando.

Podemos introducir ahora el predicado conjuntista que define lo que es ser un modelo parcial de la teoría del movimiento circular de la sangre.

### Definición 3

**Mpp(CSH):**  $y$  es un modelo parcial de la teoría del movimiento circular de la sangre de Harvey ( $y \in \mathbf{Mpp}(\mathbf{CSH})$ ) si y sólo si existen  $SA, AU, VE, AR, VI, (CO_j)_{j \leq m}, TI, IN, <, LOR, LCO$ , tal que

- (1)  $x = \langle SA, AU, VE, AR, VI, (CO_j)_{j \leq m}, TI, IN, <, LOR, LCO \rangle \in \mathbf{Mp}(\mathbf{CSH})$ ,
- (2)  $y = \langle SA, AU, VE, AR, VI, TI, IN, <, LOR \rangle$ .

#### 3.1.4 LAS CONDICIONES DE LIGADURA DE CSH

Los modelos de esta teoría no se dan en forma aislada, sino que están conectados entre sí por medio de las *condiciones de ligadura*  $\mathbf{C}(\mathbf{CSH})$ .

En esta teoría encontramos una condición de ligadura del tipo de la igualdad. En estos casos, considerada una función, se exige que los objetos que ocurren en aplicaciones distintas posean el mismo “valor” en todas las aplicaciones en las que aparecen.

En la teoría del movimiento circular de la sangre se espera que siempre que determinemos la presencia de alguna comunicación arteriovenosa, la relación de sucesión que mantiene con una arteria, a la cual sucede, y con una vena, a la que ella precede, sea la misma en todas las aplicaciones de la teoría. Esto es, las relaciones de sucesión inmediata entre los órganos cardiovasculares y las comunicaciones arteriovenosas ( $SOC$  y  $SCO$ ) no pueden variar cuando una misma comunicación arteriovenosa aparece en diferentes aplicaciones. Si así ocurriera, nuestras aserciones empíricas serían triviales, pues no podríamos utilizar nuestro conocimiento sobre la relación de sucesión

inmediata entre los órganos cardiovasculares y las comunicaciones arteriovenosas en aplicaciones distintas. A esta condición de igualdad podemos expresarla de la siguiente manera.

Definición 4

**C(CSH)**: la *condición de ligadura de igualdad CSOC* para *SOC* está definida por  $X \in \text{CSOC}$   
 $\text{sys} \emptyset \neq X \subseteq \mathbf{Mp}(\text{CSH}) \wedge \forall x, y \in X \wedge \forall cj: cj \in \text{CO}jx \cap \text{CO}jy \wedge \exists a \in \text{AR}x \cap \text{AR}y$   
 $\wedge \exists v \in \text{VI}x \cap \text{VI}y \wedge \exists \text{SOC}(\text{SOC}x(a, cj)) \wedge \exists \text{SCO}(\text{SCO}x(cj, v)): \text{SOC}y(a, cj) \wedge$   
 $\text{SCO}y(cj, v).$

3.1.5. LOS VÍNCULOS INTERTEÓRICOS DE CSH

Además de las condiciones de ligadura, que conectan a los modelos dentro de una misma teoría, los elementos teóricos no se encuentran aislados del resto de las teorías. Los modelos de la teoría en cuestión están relacionados con modelos de teorías diferentes a través de los *vínculos interteóricos* **L(CSH)**.

Los vínculos interteóricos de la teoría del movimiento circular de la sangre de Harvey, que conectan la teoría de la circulación de la sangre de Harvey con otras teorías, a través los términos **CSH**-no-teóricos provenientes de esas otras teorías, son:

- (1)  $\mathbf{L}_1(\text{CSH}) \subseteq \mathbf{Mp}(\text{CSH}) \times \mathbf{M}(\text{SA}) ?$ ,
- (2)  $\mathbf{L}_2(\text{CSH}) \subseteq \mathbf{Mp}(\text{CSH}) \times \mathbf{M}(\text{OR}) ?$ ,
- (3)  $\mathbf{L}_3(\text{CSH}) \subseteq \mathbf{Mp}(\text{CSH}) \times \mathbf{M}(\text{CR})$ ,
- (4)  $\mathbf{L}_4(\text{CSH}) \subseteq \mathbf{Mp}(\text{CSH}) \times \mathbf{M}(\text{LOR}) ?$ .

El signo de interrogación significa que se supone que ese sería un vínculo, solo que, hasta donde se sabe, dicha teoría no ha sido reconstruida aún. El primero de ellos conecta al conjunto base de la sangre con una teoría que trate sobre esta entidad. El segundo conecta al conjunto base de los órganos cardiovasculares – es decir, a las aurículas, los ventrículos, las arterias y las venas – con una teoría anatómica sobre estos órganos. El tercero conecta al tiempo con una teoría de la cronometría. El último de los vínculos interteóricos conecta a la función de localización de la sangre en los órganos cardiovasculares con una teoría que permita conocer en qué órgano cardiovascular se localiza la sangre en cada instante; esto se logra mediante procedimientos muy simples, tales como la ligadura de los vasos sanguíneos.

Ahora estamos en condiciones de caracterizar el *núcleo teórico de la teoría del movimiento circular de la sangre de Harvey* ( $\mathbf{K}(\text{CSH})$ ) como sigue:

$$\mathbf{K}(\text{CSH}) = \langle \mathbf{M}_p(\text{CSH}), \mathbf{M}(\text{CSH}), \mathbf{M}_{pp}(\text{CSH}), \mathbf{C}(\text{CSH}), \mathbf{L}(\text{CSH}) \rangle.$$

### 3.2 LAS APLICACIONES INTENCIONALES DE CSH

El dominio de las *aplicaciones pretendidas o intencionales* de la teoría del movimiento circular de la sangre de Harvey  $\mathbf{I}(\text{CSH})$  es el conjunto de los sistemas empíricos a los que se quiere aplicar la teoría. Todo lo que podemos decir desde un punto de vista puramente formal es:

$$\mathbf{I}(\text{CSH}) \subseteq \mathbf{M}_{pp}(\text{CSH}).$$

Ello significa que los sistemas empíricos a los que deseamos aplicar la teoría son aquellos sistemas que se componen de sangre, aurículas, ventrículos, arterias, venas, un orden temporal y una función de localización de la sangre en los órganos cardiovasculares. La determinación informal de las aplicaciones pretendidas se consigue intencionalmente a través de sus ejemplos paradigmáticos ( $\mathbf{I}_o$ ). En este caso, se trata de las primeras aplicaciones de la teoría que fueron consideradas exitosas:

$$\mathbf{I}_o(\text{CSH}) = \{ \text{humanos, bueyes, perros, sapos, ranas, lagartijas, serpientes, peces} \}.$$

Sabemos además que:

$$\mathbf{I}_o(\text{CSH}) \subseteq \mathbf{I}(\text{CSH}).$$

Una vez que hemos identificado al conjunto de las aplicaciones paradigmáticas, podemos emplear el método de la determinación paradigmática. Éste consiste en identificar al conjunto de las aplicaciones intencionales enriqueciendo el conjunto de las aplicaciones paradigmáticas, mediante relaciones de analogía.

El *elemento teórico básico de la teoría del movimiento circular de la sangre de Harvey* ( $\mathbf{T}(\text{CSH})$ ) puede ahora ser caracterizado como sigue:

$$\mathbf{T}(\text{CSH}) = \langle \mathbf{K}(\text{CSH}), \mathbf{I}(\text{CSH}) \rangle.$$

### 3.3 LA ASERCIÓN EMPÍRICA DE CSH

De lo dicho en la sección anterior podemos concluir que la teoría del movimiento circular de la sangre de Harvey dispone de un vocabulario **CSH**-no-teórico – a saber, la sangre, los órganos cardiovasculares, un orden temporal y una función de localización de la sangre en los órganos cardiovasculares – mediante el cual se pueden hacer aserciones que sean contrastables, a pesar de la ocurrencia esencial de términos **T**-teóricos, evitando la circularidad o el regreso al infinito. Es decir, se puede decir algo sobre su base empírica relativa independientemente de la teoría y, por lo tanto, sin su intervención. La razón es que, aun cuando la contrastación se lleve a cabo sobre una base empírica descrita mediante términos que pueden ser **T**-teóricos dentro de alguna teoría, éstos no son **T**-teóricos dentro de la teoría que se está contrastando, o sea, **CSH**-teóricos.

La aserción empírica establece que al ampliar teóricamente, mediante la adición de los términos **CSH**-teóricos, los modelos parciales de **K(CSH)**, los sistemas empíricos a los que deseamos aplicar la teoría, pueden ser extendidos a, o incrustado en, un modelo de **M(CSH)** (o, mejor: extendido a un **M<sub>p</sub>(CSH)** e incrustado en un modelo de **M(CSH)**), que también cumpla con las condiciones de ligadura **C(CSH)** y con los vínculos interteóricos **L(CSH)**.

Es decir, si a los sistemas empíricos a los que queremos aplicar la teoría – integrados por la sangre, las aurículas, los ventrículos, las arterias, las venas, un orden temporal y una función de localización de la sangre en los órganos cardiovasculares, todos ellos **CSH**-no-teóricos – les añadimos los términos **CSH**-teóricos – es decir, las comunicaciones arteriovenosas y la función que localiza a la sangre en su interior –, y en donde se cumplen las condiciones de ligadura y los vínculos interteóricos, entonces se cumple que en dichos sistemas la sangre circula.

### 3.4 LAS ESPECIALIZACIONES DE CSH Y SU ÁRBOL TEÓRICO

La teoría del movimiento circular de la sangre de Harvey introduce restricciones adicionales a la ley fundamental identificada con anterioridad. Consistentemente con la interpretación que hace Entralgo (1948), y que comentamos más arriba, Harvey distingue entre dos tipos de circulación de la sangre: aquellos casos en que la sangre atraviesa los pulmones durante su recorrido y los casos en que la circulación de la sangre omite el tránsito pulmonar. El primero se da en los animales adultos con pulmón, mientras que el segundo ocurre en los animales adultos sin pulmón y en los animales adul-

tos con pulmón durante el período embrionario. Las restricciones impuestas a la ley fundamental en cada caso se deben a la especificación del tipo de comunicaciones arteriovenosas involucradas y, en consecuencia, de la sucesión existente entre éstas y los órganos cardiovasculares. En cambio, como ya hemos explicado, tanto los órganos cardiovasculares como la localización de la sangre en su interior se determinan por medio de teorías presupuestas.

### 3.4.1 CIRCULACIÓN DE LA SANGRE CON PARTICIPACIÓN DEL PULMÓN

La primera rama de especialización especifica los componentes **CSH**-teóricos en el caso del *movimiento circular de la sangre con participación del pulmón*. En esta situación, hay al menos una comunicación arteriovenosa periférica – representada por  $ce \in COe$  – que sucede a alguna arteria – representada por  $ae \in AR$  – y que precede a alguna vena – representada por  $ve \in VI$  –, y al menos una comunicación arteriovenosa pulmonar – representada por  $cu \in COu$  – que sucede a alguna arteria – representada por  $au \in AR$  – y que precede a alguna vena, representada por  $vu \in VI$ .

#### Definición 5

**M(CSHP)**:  $x$  es un modelo de la teoría del movimiento circular de la sangre de Harvey con participación del pulmón ( $x \in \mathbf{M}(\mathbf{CSHP})$ ) syss

(1)  $x \in \mathbf{M}(\mathbf{CSH})$ ,

(2)  $\exists ae, au \in AR \exists ve, vu \in VI \exists ce \in COe \exists cu \in COu: SOC = \{ \langle ae, ce \rangle, \langle au, cu \rangle \} \wedge SCO = \{ \langle ce, ve \rangle, \langle cu, vu \rangle \}$ .

Entre las aplicaciones pretendidas de esta especialización, Harvey incluye a los humanos, los perros, los bueyes, los sapos, las ranas, las lagartijas y las serpientes, después de su nacimiento.

### 3.4.2 CIRCULACIÓN DE LA SANGRE SIN PARTICIPACIÓN DEL PULMÓN

La segunda rama de especialización especifica los componentes **CSH**-teóricos en el caso del *movimiento circular de la sangre sin participación del pulmón*. En esta situación hay al menos una comunicación arteriovenosa periférica – representada por  $ce \in COe$  – que sucede a alguna arteria – representada por  $ae \in AR$  – y que precede a alguna vena, representada por  $ve \in VI$ .

Definición 6

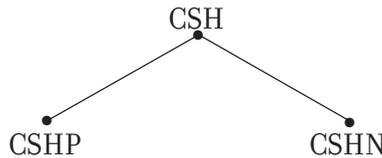
**M(CSHN)**:  $x$  es un modelo de la teoría del movimiento circular de la sangre de Harvey sin participación del pulmón ( $x \in \mathbf{M}(\text{CSHN})$ ) syss

- (1)  $x \in \mathbf{M}(\text{CSH})$ ,
- (2)  $\exists ae \in AR \exists ve \in VI \exists ce \in COe: SOC = \{\langle ae, ce \rangle\} \wedge SCO = \{\langle ce, ve \rangle\}$ .

Entre las aplicaciones pretendidas de esta especialización, Harvey incluye a los peces y a los humanos, bueyes y perros, antes de su nacimiento.

3.4.3 LA RED TEÓRICA DE CSH

Si representamos a la red teórica de la teoría del movimiento circular de la sangre de Harvey por medio de un gráfico en donde los nodos representan a los elementos teóricos y las líneas simbolizan a las relaciones de especialización entre ellos, entonces obtenemos la siguiente imagen:



CONCLUSIONES

En el presente artículo, realizamos una distinción entre dos teorías presentes en el *De motu cordis*, aunque estrechamente vinculadas entre sí, y no siempre claramente distinguidas: la teoría sobre el movimiento circular de la sangre – que trata sobre el recorrido que realiza la sangre en el interior de los órganos cardiovasculares y de las comunicaciones arteriovenosas – y la teoría sobre las causas del movimiento de la sangre. A continuación, y luego de presentar intuitivamente a la primera de las teorías y los conceptos básicos de la concepción estructuralista de las teorías, llevamos a cabo una reconstrucción de ella. Para ello, identificamos en primer término el elemento teórico básico de la teoría sobre el movimiento circular de la sangre de Harvey (**CSH**) – las clases de sus modelos potenciales, de sus modelos, de sus modelos parciales, de sus condiciones de ligadura, de sus vínculos interteóricos y de sus aplicaciones intencionales –, así como la aserción empírica asociada a él. Por último, identificamos las ma-

neras en que puede especializarse dicho elemento teórico y presentamos la red teórica arbórea a la que dan lugar tales especializaciones. De este modo, mostramos que la teoría sobre el movimiento circular de la sangre de Harvey (CSH) posee todos los componentes característicos que han sido considerados esenciales de una teoría (elemento teórico, red teórica), de acuerdo con la metateoría estructuralista. Queda pendiente para un trabajo posterior intentar llevar a cabo un análisis similar de la otra teoría contenida en el *De motu cordis* de Harvey, la teoría sobre las causas del movimiento de la sangre, y un tratamiento sistemático de la relación interteórica – solo supuesta en el comienzo de este trabajo como de teorización en sentido fuerte – entre dicha teoría y la aquí analizada. ④

AGRADECIMIENTOS. Este trabajo ha sido realizado con la ayuda de los proyectos de investigación PICT2007 N° 1558 de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (Argentina) y FFI2008-01580 y FFI2009-08828 del Ministerio de Ciencia e Innovación (España).

*Joaquín* BARUTTA

Universidad del Hospital Italiano de Buenos Aires,  
Universidad Nacional de Quilmes,  
Buenos Aires, Argentina.  
*joaquin.barutta@hospitalitaliano.org.ar*

*Pablo* LORENZANO

Universidad Nacional de Quilmes,  
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas,  
Buenos Aires, Argentina.  
*pablol@unq.edu.ar*

#### ABSTRACT

In the researches on cardiovascular physiology conducted by William Harvey it is possible to distinguish between two theories answering to different questions. The first, which we call the theory of the circular motion of the blood, tries to give a solution to the problem of the quantity of blood that moves within the system. The second attempts to give an account of the causes that makes the blood move, and we call it the theory of the causes of blood movement. In this article, we present a structuralist reconstruction of the first theory, and show that it possesses all the components that are considered essential for any theory, according to the structuralist view of science.

KEYWORDS • Structuralist view. Blood circulation. William Harvey. Basic theory-element. Theory-net.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCHIN, D. William Harvey and capillaries. *The American Biology Teacher*, 67, 1, p. 56-9, 2005.
- BALZER, W.; MOULINES, C. U. & SNEED, J. D. *An architectonic for science*. Dordrecht: Reidel, 1987.
- BALZER, W. et al. (Ed.). *Structuralist knowledge representation: paradigmatic examples*. Amsterdam: Rodopi, 2000.
- BALZER, W. & ELEFTHERIADIS, A. A reconstruction of the hippocratic humoral theory of health. *Journal for General Philosophy of Science*, 22, p. 207-27, 1991.
- BALZER, W. & LORENZANO, P. The logical structure of classical genetics. *Zeitschrift für allgemeine Wissenschaftstheorie*, 31, p. 243-66, 2000.
- CARTWRIGHT, N. Reply to Ulrich Gähde. In: HARTMANN, S. et al. (Ed.). *Nancy Cartwright's philosophy of science*. New York: Routledge, 2008. p. 65-6.
- DÍEZ, J. A. & MOULINES, C. U. *Fundamentos de filosofía de la ciencia*. Barcelona: Ariel, 1999.
- DÍEZ, J. A. & LORENZANO, P. La concepción estructuralista en el contexto de la filosofía de la ciencia del siglo xx. In: DÍEZ, J. A. & LORENZANO, P. (Ed.). *Desarrollos actuales de la metateoría estructuralista: problemas y discusiones*. Quilmes: Universidad Nacional de Quilmes/Universidad Autónoma de Zacatecas/Universidad Rovira i Virgili, 2002. p. 13-78.
- DÍEZ, J. A. & LORENZANO, P. (Ed.). *Desarrollos actuales de la metateoría estructuralista: problemas y discusiones*. Quilmes: Universidad Nacional de Quilmes/Universidad Autónoma de Zacatecas/Universidad Rovira i Virgili, 2002.
- ELIOT, C. W. (Ed.). *Scientific papers: physiology, medicine, surgery, geology, with introductions, notes and illustrations*. New York: P. F. Collier and Son, 1910.
- ENTRALGO, P. L. *Vida y obra de Guillermo Harvey*. Buenos Aires: Espasa-Calpe, 1948.
- \_\_\_\_\_. (Ed.). *Historia universal de la medicina*. Barcelona: Salvat, 1976.
- ENQVIST, S. A. Structuralist framework for the logic of theory change. In: OLSSON, E. J. & ENQVIST, S. (Ed.). *Belief revision meets philosophy of science*. Dordrecht: Springer, 2011. p. 105-35.
- FRENCH, R. K. The thorax in history, 1. From ancient times to Aristotle. *Thorax*, 33, p. 10-8, 1978a.
- \_\_\_\_\_. The thorax in history, 2. Hellenistic experiment and human dissection. *Thorax*, 33, p. 153-66, 1978b.
- \_\_\_\_\_. The thorax in history, 5. Discovery of the pulmonary transit. *Thorax*, 33, p. 555-64, 1978c.
- \_\_\_\_\_. The thorax in history, 6. Circulation of the blood. *Thorax*, 33, p. 714-27, 1978d.
- \_\_\_\_\_. *William Harvey's natural philosophy*. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.
- \_\_\_\_\_. Harvey, clinical medicine and the College of physicians. *Clinical Medicina*, 2, p. 584-90, 2002.
- HARRIS, C. R. S. *The heart and the vascular system in ancient greek medicine*. New York: Oxford University Press, 1973.
- HARTMANN, S. et al. (Ed.). *Nancy Cartwright's philosophy of science*. New York: Routledge, 2008.
- HARVEY, W. On the motion of the heart and blood in animals. In: ELIOT, C. W. (Ed.). *Scientific papers: physiology, medicine, surgery, geology, with introductions, notes and illustrations*. New York: P. F. Collier and Son, 1910. p. 62-147.
- HEMPEL, C. G. & OPPENHEIM, P. Studies in the logic of explanation. *Philosophy of Science*, 15, p. 135-75, 1948.
- LAWSON, A. E. The generality of hypothetico-deductive reasoning: making scientific thinking explicit. *The American Biology Teacher*, 62, 7, p. 482-95, 2000.
- LEWIS, R. W. Biology: a hypothetico-deductive science. *The American Biology Teacher*, 50, 6, p. 362-6, 1988.
- LORENZANO, P. Classical genetics and the theory-net of genetics. In: BALZER, W. et al. (Ed.). *Structuralist knowledge representation: paradigmatic examples*. Amsterdam: Rodopi, 2000. p. 251-84.

- LORENZANO, P. La teoría de gen y la red teórica de la genética. In: Díez, J. A. & LORENZANO, P. (Ed.). *Desarrollos actuales de la metateoría estructuralista: problemas y discusiones*. Quilmes: Universidad Nacional de Quilmes/Universidad Autónoma de Zacatecas/Universidad Rovira i Virgili, 2002. p. 285-330.
- \_\_\_\_\_. Leyes fundamentales y leyes de la biología. *Scientiae Studia*, 5, 2, p. 185-214, 2007.
- \_\_\_\_\_. Bas van Fraassen y la ley de Hardy-Weinberg: una discusión y desarrollo de su diagnóstico. *Principia*, 12, 2, p. 121-54, 2008.
- MAY, M. T. *Galen on the usefulness of the parts of the body*. New York: Cornell University Press, 1968.
- McMULLEN, E. T. Anatomy of a physiological discovery: William Harvey and the circulation of the blood. *Journal of the Royal Society of Medicine*, 88, p. 491-8, 1995.
- MOULINES, C. U. *Exploraciones metacientíficas*. Madrid: Alianza, 1982.
- \_\_\_\_\_. *Pluralidad y recursión*. Madrid: Alianza, 1991.
- OLSSON, E. J. & ENQVIST, S. (Ed.). *Belief revision meets philosophy of science*. Dordrecht: Springer, 2011.
- PAGEL, W. *New light on William Harvey*. New York: Karger, 1976.
- PORTER, R. *The greatest benefit to mankind*. New York: W.W. Norton & Company, 1999.
- SMART, J. J. C. Can biology be an exact science? *Synthese*, 11, 4, p. 359-68, 1959.
- SNEED, J. *The logical structure of mathematical physics*. Dordrecht-Holland: Reidel, 1971.
- STEFANADIS, C. et al. Michael Servetus (1511-1553) and the discovery of the pulmonary circulation. *Hellenic Journal of Cardiology*, 50, p. 373-8, 2009.
- STEGMÜLLER, W. *Probleme und Resultate der Wissenschaftstheorie und Analytischen Philosophie. Band II: Theorie und Erfahrung, Zweiter Halbband: Theorienstrukturen und Theoriendynamik*. Berlin-Heidelberg: Springer, 1973.
- TEMKIN, O. Was Servetus influenced by Ibn al-Nafis? *Bulletin of the History of Medicine*, 8, 731-4, 1940.
- WILSON, L. G. The problem of the discovery of the pulmonary circulation. *Journal of the History of Medicine and Allied Sciences*, 17, 2, p. 229-44, 1962.

