

***La paradoja Harvey-Descartes y el proyecto
de una biología geométrica***

José Luis González Recio

Universidad Complutense de Madrid

Resumen

Tan pronto como el *De Motu Cordis* fue publicado, Descartes aceptó el descubrimiento de Harvey sobre la circulación de la sangre. La teoría de Harvey tenía un significado mecánico inequívoco, aunque la fuente primaria del movimiento del corazón - las cualidades esenciales de la sangre -no podía ser considerada causa real en una nueva física para la que tales cualidades debían ser expulsadas del lenguaje de la ciencia. El filósofo francés entendió que la física era reducible a la mecánica y que el cuerpo humano era análogo a una máquina. Sin embargo, de acuerdo con una antigua tradición fisiológica, pensó que la máquina humana se mantenía en funcionamiento por el calor generado en el corazón. El resultado fue lo que propongo denominar la *paradoja Harvey-Descartes*: un aristotélico creó el primer modelo mecánico para un proceso fisiológico; modelo que adquirió rasgos galénicos cuando fue asumido por el fundador del mecanicismo moderno.

Abstract

Descartes accepted Harvey's discovery of the circulation of the blood as soon as the *De Motu Cordis* was published. Harvey's theory had an unequivocal mechanical sense, although the primary source of heart's motion - blood's essential qualities -could not be considered a real cause by a new physics for which occult qualities were sterile and had to be expelled from the language of science. The french philosopher regarded physics as reducible to mechanics, and imagined the human body as being analogous to a machine. Nevertheless, he thought, according with an ancient physiological tradition, that the human machine was kept at work by the heat generated in the heart. The result was what I propose to name the *Harvey-Descartes paradox*: an Aristotelian created the first mechanical model for a physiological process; model that acquired Galenic features when was held by the founder of modern mechanicalism.

Introducción

La biología aristotélica vio en la capacidad de automoción el rasgo esencialmente definidor de los seres vivos. Habían existido anticipaciones que presagiaban esa identificación de la vida con la aptitud de ciertos seres para moverse a sí mismos -la medicina hipocrática constituyó un ejemplo destacado al respecto¹-, pero fue sin duda la teoría biológica de Aristóteles el lugar donde por primera vez se consiguió un conjunto sistemático de principios llamados a interpretar aquel modo de ser propio de las sustancias dotadas de vida, automutables.

El alma quedó consagrada como la forma sustancial del ser viviente. No fue propuesta tan sólo como un principio de carácter estático; servía como principio de un orden conquistado dinámicamente. Por medio de la capacidad automotriz de las sustancias animadas, se justificaba no ya el cambio, sino el cambio dirigido a un fin, la direccionalidad del movimiento fisiológico y la integración orgánica que manifiestan todos los seres que poseen vida². Organicismo y dinamismo se convirtieron, de este modo, en los ingredientes conceptuales básicos del pensamiento biológico aristotélico. La unidad propia de los organismos se hacía diferente de la yuxtaposición coordinada de elementos o partes que encontramos en la máquina. En esta última, siempre reconocemos una estructura recibida desde fuera, construida de manera exógena y que se aplica a un fin también impuesto. Aún más: las fuentes o causas del movimiento de la máquina no pertenecen a la máquina misma; actúan sobre ella, pero no nacen de ella. La máquina es simplemente heteromóvil; en cuanto producto del arte, es algo artificial, ajeno a la naturaleza, opuesto a todo lo que goza de vida. Lejos de la organización inerte de la máquina, el orden de funciones y la arquitectura anatómica de lo vivo se juzgaron expresión de una unidad sustancial basada en el alma como forma. Era el reconocimiento de que los principios de la actividad vital poseían un carácter inmanente. Cualquier acción biológica hallaba su raíz en la conformación esencial del cuerpo vivo y estaba dirigida a la actualización de un fin. Los movimientos vitales, en cuanto movimientos naturales, eran productos de causas naturales o, si se prefiere, de la naturaleza como causa. Hay en ello perfecta continuidad con el resto de la filosofía natural aristotélica. Los principios del movimiento están ubicados en el seno de cada cuerpo natural, y cada cambio, incluso cada mutación local, es una modificación que afecta al repertorio de formas accidentales de la sustancia. El término del movimiento no es una modificación referida a cierto sistema de relaciones abstractas o ideales, es la llegada a un nuevo estado de organización leído desde la propia sustancia. Los cambios del mundo sublunar cuentan con la reserva dinamizadora inagotable que guardan las formas sustanciales. En un mundo así, la disposición de las causas o su modo de acción no necesitan afrontar el problema de la conservación de sus efectos; en un

mundo así, afirmar que la naturaleza está en permanente *transformación* es enunciar una tautología, porque la naturaleza es antes que cualquier otra cosa un principio de movimiento³.

La biología de Aristóteles queda incorporada durante el siglo II d.C. a la medicina de Galeno en una síntesis que mantendrá su vigor nada menos que hasta el siglo XVII. La fisiología de Galeno, como el resto de su obra, cierra la visión científica que la antigüedad clásica ha sido capaz de elaborar sobre cuestiones biomédicas. Hay en las ideas fisiológicas galénicas cuatro nociones que merecen ser subrayadas: las nociones de *operación vital*, *naturaleza*, *causa* y *fin*⁴. El concepto de *operación* o *función vital* es completamente aristotélico. Reposo, por ello, en el encadenamiento potencia-acto y de él recibe su inteligibilidad. Es aristotélica, asimismo, la clasificación de los movimientos posibles. Encontramos movimientos sustanciales (como la transformación del alimento en sangre); cambios cualitativos (como los relativos a la temperatura del cuerpo); y también cambios de lugar. Distanciado de la fisiología de Erasístrato⁵, Galeno recupera la idea hipocrático-aristotélica de *naturaleza*. Su filosofía natural es de nuevo la de la *physis* como principio motor y organizador, como causa formal y final de los procesos observables en el mundo animado. *Physis* y *psykhé* adquieren el valor de causas con toda la carga ontológica que han acumulado en los siglos anteriores. Son causas que operan desde el plano más esencial de la sustancia. Otra vez, su tipología coincide con la fijada por Aristóteles⁶. Por último, Galeno vuelve a ser aristotélico en el momento de trazar el eje alrededor del cual va a componer su teoría sobre la vida. Será la noción de *fin* el polo que orientará la anatomía, la fisiología y la terapéutica del médico de Pérgamo.

Tales son los supuestos e ingredientes constitutivos de la fisiología galénica⁷. El límite del análisis de los procesos fisiológicos es la sustancia y sus principios entitativos. Los fundamentos de la explicación no pueden ir más allá, puesto que en la sustancia y sus principios entitativos se agotan los soportes de la actividad fisiológica. Se trata, por lo demás, de una fisiología descriptivo-comprehensiva que atiende al *cómo* y al *porqué* de las actividades del organismo. En virtud de las potencias operativas que la causa formal posee, cualquier distinción entre función y estructura aparece como algo artificioso. Debe hablarse también en Galeno, por lo tanto, de un punto de partida organicista-finalista que ilumina todo su empeño teórico y sistematizador. A partir de él, es posible desarrollar una fisiología que, sin dejar de estar atenta a la observación, se conforma como un saber deductivo; porque toda parte, toda función encuentra su sentido en el fin que cumple dentro de la organización general del ser vivo.

Por lo que atañe a la fisiología especial, es suficiente para nuestros propósitos un esbozo abreviado. El

estómago recibe el alimento, iniciándose allí una depuración que concluirá en el hígado. En efecto, el alimento se transforma en quilo a través de una primera cocción en el tubo digestivo, y el quilo es convertido en sangre dentro del hígado. Desde el hígado empieza a ramificarse la red venosa, uno de cuyos vasos, la vena cava, conduce la sangre a la aurícula derecha del corazón. A continuación, la sangre pasa al ventrículo derecho y luego sigue un doble recorrido: la mayor parte continúa hasta los pulmones por la arteria pulmonar, pero cierta cantidad atraviesa el tabique interventricular, ingresando en el ventrículo izquierdo, donde se convierte en sangre arterial. Para que dicha conversión pueda cumplirse, ha sido preciso que por la vena pulmonar también llegue aire al ventrículo izquierdo. Esta sangre *neumatizada* irrumpe en la aorta al producirse la diástole cardíaca, se reparte por la red arterial y actúa como nutriente en todo el organismo. Aquella porción de sangre que alcanza la *rete mirabile* del cerebro vuelve a ser depurada, hasta que se torna *espíritu animal*: sustancia que discurre por la médula y los nervios, y que es responsable de la actividad neurofisiológica⁸.

En este cuadro genérico de la economía vital, cabría repetir de nuevo, se manifiestan las potencias del alma. Cuando una facultad o potencia se actualiza, tiene lugar tal o cual operación fisiológica. En virtud de ello, las principales potencias se corresponden con las partes del alma y se concretan después en facultades secundarias. Galeno es fiel ahora a la inspiración dinamista del aristotelismo: todo acontecimiento natural es un cambio en el que una u otra potencia queda actualizada de acuerdo con el plan inmanente al ser de cada cosa. Ese plan está impreso en el alma de los vivientes y se concibe desde el horizonte sustancialista de la ciencia natural del Liceo. Lo que vive es la sustancia. Ahora bien, el alma es la forma de *cierto tipo* de cuerpo natural, "pues en cada caso la entelequia se produce en el sujeto que está en potencia y, por consiguiente, en la materia adecuada"⁹. Los humores son precisamente, las sustancias naturales adecuadas a la vida. Resultan de la mezcla -según ciertas proporciones- de los cuatro elementos: agua, aire, fuego y tierra. Entre ellos, la sangre tiene, por sus cualidades esenciales, un papel singular en la trama de funciones que se da en los animales. Viven las sustancias automutables, habíamos dicho; el alma es el principio de tales sustancias, pero el alma mueve y actúa como causa final, en los animales sanguíneos como el hombre, mediante los movimientos del corazón y de la sangre. Galeno comparte ciertos aspectos de la perspectiva cardiocéntrica que se dibuja en las obras biológicas de Aristóteles¹⁰. El corazón es el primer órgano que aparece en el embrión. Late y contiene sangre tan pronto como se forma¹¹. No puede decirse, como defiende Aristóteles, que "el principio del alma sensitiva está situado en este órgano"¹², si bien la vida del animal depende en un sentido mediato, pero necesario y radical, de la acción del corazón y de las propiedades naturales de la sangre. Las

diferentes partes del animal participan de un calor natural que irradia del corazón desde que se inicia el desarrollo morfogénico¹³. Es así que los animales se muestran calientes mientras están vivos y pierden el calor cuando quedan privados de vida. Parece forzoso, en consecuencia, que "la vida y la conservación del calor se den a la vez y que lo que llamamos 'muerte' sea la destrucción de ese calor"¹⁴. Todo ser vivo tiene alma, aunque "esta no existe sin calor natural"¹⁵, porque la vida y la posesión del alma implican aquél"¹⁶. El calor innato queda elevado, en suma, a la categoría de principio biológico casi absoluto. Con una larga historia en la medicina griega, dentro de la fisiología galénica su carga teórica se precisa de manera notable. Nutrición, reproducción, sensación, locomoción y hasta pensamiento tienen su origen en él. Habría que subrayar, simplemente, que es la manifestación más profunda y primaria del alma, en la medida en que el alma sí es el principio definitivamente absoluto de los seres vivos. Sobre esta triple apoyatura quedó formulada la visión que la biología antigua alcanzó de los fenómenos vitales: el alma, como principio de movimiento, que actúa a través de un calor congénito, cuya sede es el corazón en los animales sanguíneos.

La constelación de compromisos ontológicos asumidos por la ciencia del movimiento que se fundó en el siglo XVII tuvo consecuencias muy importantes para la biología. Aunque tales compromisos no se impusieron como un repertorio de supuestos aceptado con unanimidad¹⁷, fuera cual fuese su distinta concreción, afectaban de un modo capital a los cimientos más hondos de la teoría sobre la vida. La reducción de la naturaleza a materia en movimiento sugería un asalto inmediato a la fortaleza dinamista, organicista y finalista de la fisiología tradicional. El asalto se ensayó con prontitud. Descartes y algunos seguidores de Galileo inauguran la iatromatemática, con el propósito de desvelar los fundamentos geométricos de la organización biológica. Si la geometría celeste iba a tener su continuidad en una geometría universal de la naturaleza, era consecuente pensar en la necesidad de una geometría biológica. Para ello, hacía falta ampliar hasta las ciencias de la vida la completa preponderancia del movimiento local, llevar la matematización del espacio al *espacio-fisiológico* y prolongar las hipótesis materialistas - corpusculares o no-, haciéndolas entrar en el dominio de los cuerpos vivos.

Para la nueva ciencia del movimiento serán convocados leyes y modelos causales que apartan de la materia cualquier propiedad dinamizadora. El precio que el físico ha pagado al conseguir la matematización de su saber es la reducción de la materia a una realidad pasiva e inactiva. Las causas que producen o las leyes que sostienen el movimiento local no están en el móvil sino en otro movimiento o en el *campo*. Cada movimiento se explica -si nos ceñimos ya a la física cartesiana- mediante el choque, por su concatenación mecánica

con otros movimientos anteriores. El universo máquina es un inmenso sistema de engranajes cósmicos, mantenidos en acción por las leyes de inercia y de conservación de la cantidad de movimiento. Dentro de ese enorme sistema de piezas cuya esencia es la extensión, el movimiento sólo se transmite. No se crea, porque Dios es la única garantía metafísica en la mecánica de los cielos. El autómeta mundial tiene su relojero; simula ser capaz de moverse por sí mismo, pero ha quedado vacío de virtudes automotrices. La naturaleza, el nuevo orden geométrico, no admite el automovimiento. Ya no son necesarias las cualidades ocultas, gracias a que el desplazamiento local obedece a principios inexorables, que nada tienen que ver con los viejos principios entitativos de la sustancia. Sin embargo, la causa elemental y primaria del movimiento del mundo no está en el mundo, ha vuelto a quedar oculta. Aun así, quienes abanderan la física geométrica no dudan de la eficacia del enfoque por el que abogan. La máquina o el autómeta no son, sin duda, automóviles en sentido aristotélico, pero imitan los fenómenos que hicieron creer a los aristotélicos que la automovilidad existía.

La explicación mecánica del movimiento fisiológico empezó a practicarse con esta serie de supuestos y principios. Abandonados los conceptos dinamistas, había que defender, por ejemplo, el carácter involuntario de la locomoción animal. Los animales carecían de alma, eran considerados como mera estructura geométrica por la iatromecánica y, por lo tanto, sólo resultaban capaces de movimientos reflejos. Un agente externo al cuerpo del animal debía provocar la puesta en marcha de aquellas partes -nervios, músculos y huesos- responsables de la locomoción. Pero no sólo esto, pues todas las funciones fisiológicas tenían que hallar su correspondiente fundamento geométrico. Situar fuera del animal las causas de su locomoción planteaba dificultades, pero éstas se multiplicaban al intentar traducir mecánicamente las causas de fenómenos como la digestión, la circulación sanguínea o la respiración. Ello dio lugar a que, en algunas ocasiones, la justificación mecánica recayera tan sólo sobre cierto proceso concreto, integrado después en un entramado teórico abiertamente organicista. Era la clase de aportación que harían a la mecánica biológica los últimos aristotélicos. En otras ocasiones, antiguas hipótesis ajenas a la iatromatemática fueron introducidas dentro de lo que se entendió como una fisiología reduccionista. Harvey y Descartes vinieron a encarnar uno y otro estado de cosas.

De Motu Cordis et Sanguinis in Animalibus

Antes de ser aceptada, la teoría de Harvey sobre la circulación de la sangre tuvo que vencer la resistencia del venerable cuerpo doctrinal galénico, dotado aún de considerable influencia. Médicos y naturalistas veían en él un sistema bien articulado de conocimientos y una colección de

principios poco menos que incontestables. Las últimas ideas de Harvey relativas a los seres vivos tienen en el fondo un acentuado sello tradicional, lleno de resonancias aristotélicas¹⁸. Con todo, en el diseño de su teoría sobre la circulación de la sangre puso en juego resortes teóricos enteramente nuevos. La *Exercitatio Anatomica De Motu Cordis et Sanguinis in Animablibus*, de 1628, conjugó el espíritu experimentalista de la universidad de Padua con la capacidad personal de su autor para reordenar los datos de la investigación empírica dentro de una perspectiva profundamente innovadora¹⁹.

Los estudios de anatomía comparada dotaron a Harvey de un valioso elenco de observaciones que no podía ser interpretado en términos de la fisiología cardiovascular galénica. Por sus manos pasaron corazones de numerosos vertebrados e invertebrados, hasta que estuvo suficientemente familiarizado con la estructura que el músculo cardíaco tenía en diversas especies. Comprobó, de esta manera, que el problema de la comunicación interventricular en el corazón humano era sólo un aspecto accesorio del problema global a resolver, puesto que en muchos animales el corazón sólo poseía un ventrículo. Las incógnitas suscitadas por la circulación menor - de la que ya se habían ocupado Miguel Servet y Realdo Colombo- cobraron también una importancia secundaria, pues se trataba de ensayar una teoría sobre el movimiento de la sangre en especies con o sin pulmones. Harvey fue muy consciente de las ventajas que obtuvo del método comparativo y admitió que, de haberlo usado, los naturalistas del siglo anterior habrían encontrado respuesta a numerosas dificultades²⁰.

El análisis de la función que podían cumplir las válvulas venosas fue otro momento clave en la configuración del nuevo modelo teórico. Fabricio de Aquapendente -su maestro en Padua- había sido incapaz de interpretar la finalidad que pudieran tener. Así lo prueba el que su tratado de 1603²¹ no acierta a asignarles una misión específica. Según la fisiología de Galeno, la sangre circula por las venas con un movimiento de flujo y de reflujo, es decir, alejándose y acercándose al corazón sucesivamente. Hígado, venas y lado derecho del corazón forman un sistema básicamente independiente. El intercambio de sangre con la red arterial, según hemos señalado ya, se produce a través del tabique que separa los dos ventrículos - del derecho al izquierdo- y en cantidad mínima²². Dar un objetivo funcional a las válvulas del corazón y de las venas equivalía, por consiguiente, a trastocar muy en profundidad las principales hipótesis del esquema fisiológico clásico. Si se lograba confirmar mediante el experimento que aquéllas impedían el retorno de la sangre venosa - hacia las zonas del organismo más alejadas del corazón-, era patente entonces que el torrente circulatorio tenía dirección única. Pero ¿qué camino seguía, en ese caso, la sangre que la arteria pulmonar había hecho llegar a los pulmones? La contestación a esta pregunta tenía que ser una

respuesta llamada a desentrañar el misterioso curso de la circulación pulmonar.

Harvey llevó a cabo gran cantidad de pruebas encaminadas a contrastar en la experiencia la aceptabilidad de sus revolucionarias conjeturas. Tomaremos como muestra dos ejemplos: las punciones en los vasos sanguíneos y en cálculo del volumen de sangre bombeada por el corazón en unidades de tiempo. Al punzar en la aorta y en la arteria pulmonar, observó que la pérdida de sangre, por el lugar donde había perforado, se producía después de cada contracción de los ventrículos. Esto sugería que la sangre era bombeada por el corazón hacia las arterias. Como al ligar distintas venas pudo determinar que la sangre se acumulaba en el extremo más alejado del corazón, el cometido de una y otra clase de vasos, así como la dirección del flujo sanguíneo, aparecían cada vez más claros. Sin embargo, faltaba por solucionar un punto crucial: si la sangre era expelida continuamente desde el corazón, y la circulación tenía un solo sentido, las venas terminarían vaciándose y las arterias rompiéndose ante la presión acumulada. Además, la cantidad de sangre bombeada en una hora -susceptible de ser calculada a partir de la capacidad del corazón y de la frecuencia de su latido- resultaba tan grande, que hacía difícil entender cómo ingresaba en el sistema circulatorio y cómo *desaparecía* de él. La evidencia empírica necesitaba, en suma, acogerse a una propuesta teórica que el galenismo ya no podía brindar; la evidencia empírica confirmaba en realidad lo que Harvey adivinó como una explicación inevitable: el movimiento de la sangre tenía, sí, un solo sentido, pero tenía también un carácter continuo y circular²³.

El análisis comparativo, el diálogo con la naturaleza por medio del experimento, la traducción a magnitudes mensurables de ciertas vertientes del problema que examinaba, dieron un sesgo original a la indagación de Harvey. No hemos agotado la serie de comprobaciones empíricas que efectuó, ni tampoco la línea argumental exacta que siguió en sus deducciones²⁴. Es suficiente constatar que un capítulo central de la fisiología quedó abordado con recursos metodológicos olvidados por los tratadistas medievales. No obstante, la contribución más genuina del genial inglés a la biología se efectúa en otro plano: consiste en mostrar que bajo un patrón mecánico puede alcanzarse la plena interpretación de un proceso vital concreto. El corazón impele la sangre hacia las arterias y aspira aquella otra contenida en las venas. Su contracción y relajación provoca efectos mecánicos asimilables a los que se dan en una bomba hidráulica. El movimiento de la sangre se produce, así, conforme a principios que rigen en un orden fenoménico puramente físico-mecánico. Desde el ventrículo izquierdo, la sangre es enviada a las arterias por la aorta, consiguiéndose la irrigación de todo el cuerpo. La vena cava recoge la circulación de retorno para dirigirla a la aurícula derecha. Pasa la sangre luego al ventrículo derecho que, al

contraerse, la impulsa a través de la arteria pulmonar hacia los pulmones. Conducida por la vena pulmonar, regresa después a la aurícula izquierda y, finalmente, desde allí entra en el ventrículo izquierdo, iniciándose de nuevo el ciclo. La actuación del sistema se contempla, en síntesis, con la ayuda de unas nociones que rompen definitivamente con la descripción galénica.

Como cabía esperar, las objeciones más diversas fueron esgrimidas contra el nuevo marco teórico. Entre ellas, la que pedía una verificación del trasvase de sangre de las arterias a las venas era del todo razonable. Quienes permanecieron fieles a la teoría de Galeno explotaron con reiteración este tipo de crítica. Harvey sólo podía contestar que el lugar de ese trasvase permanecía por el momento tan inverificable como la existencia de los poros galénicos en el tabique interno del corazón²⁵. Sin embargo, si la capacidad predictiva de una teoría mide de algún modo su fecundidad, es obligado reconocer que el programa para la fisiología cardiovascular concebido por Harvey pronto manifestó ante sus oponentes poderosas razones para ser respetado: en 1661, Malpighi observa con el microscopio los desconocidos vasos que unían arterias y venas. Como el descubrimiento de Neptuno para la astronomía postnewtoniana dos siglos más tarde, la observación de los capilares en los pulmones de una rana supuso la confirmación de la apuesta especulativa más audaz de cuantas Harvey promovió.

Tomado de forma aislada, el movimiento del corazón permitía componer una explicación mecánica de la circulación de la sangre. Es verdad que se trataba de una explicación limitada en su alcance, pero incluso dentro de esos límites tenía un significado revolucionario. Reabría un espacio conceptual del que el pensamiento biológico había estado ausente muchos siglos. Confundidos por nuestra actual perspectiva científica, podríamos considerar que Harvey había resuelto un sencillo problema de hidrodinámica. No nos daríamos cuenta, en ese caso, de que la principal novedad que encerraban sus ideas consistía, precisamente, en tratar el movimiento de la sangre como una cuestión reducible a dinámica de fluidos²⁶.

El autor del *De Motu* fue, pues, un pionero de la fisiología moderna, un avanzado del argumento basado en la medida y el experimento, el artífice de la conceptualización mecánica escrupulosa de un proceso biológico; pero sus concepciones últimas sobre los seres vivos albergaban un inequívoco y confesado finalismo: en ellas se dibujan permanentes las sombras de Aristóteles y Galeno. Aunque no aceptó incondicionalmente la biología aristotélico-galénica, nunca creyó que ésta debiera alterar la orientación general en que se fundaba. La formación aristotélica que había recibido en Padua aflorará en cada página que escriba. A lo largo del capítulo octavo de su obra sobre el movimiento del corazón,

Harvey se refiere a éste como el sol del microcosmos; y a una sobria exposición basada en datos contrastados e hipótesis bien respaldadas por la experiencia, siguen un canto a la excelencia del movimiento circular y una serie de imágenes atestadas de correlaciones místicas. No es extraño, por todo ello, que recibiera el reconocimiento de un alquimista como Robert Fludd - quien entendió que confirmaba la huella del sistema planetario en los cuerpos vivientes²⁷-, y que sufriera los ataques de Marin Mersenne o Pierre Gassendi. De hecho, Harvey obtuvo la oposición de quienes entendieron que rectificaba a las grandes figuras de la antigüedad y la de quienes estimaban que era demasiado afecto a la biología peripatética. Pocos como él ejemplifican las contradicciones reunidas en la cultura de su tiempo, porque, a la postre, el mecanicismo había entrado en la fisiología de la mano de un aristotélico.

Es preciso revisar ahora la concepción general que Harvey tiene del movimiento fisiológico. Galeno había acudido a la noción de *vis pulsifica* para explicar el pulso arterial: la dilatación de los vasos era producida por una cualidad connatural de éstos; obedecía a cierta propiedad motriz inherente a las arterias²⁸. Harvey, por el contrario, concebirá los vasos arteriales como estructuras pasivas que el flujo de la sangre dilata. El corazón bombea sangre hacia la aorta en su fase sistólica, y a resultas de ello la red arterial se expande rítmicamente. Las contracciones del corazón son la causa mecánica del movimiento de la sangre. Así contemplada, la circulación se produce conforme a leyes que rigen el movimiento de cualquier fluido inorgánico impulsado por una bomba. La sangre en circulación resultaba ser, al final, materia en movimiento. El mecanicismo lograba con ello su primera victoria en la biología moderna. Victoria de gran significación, si pensamos que se producía en uno de los capítulos centrales de la fisiología, esto es, dentro de la fisiología cardiovascular. Pero victoria parcial y provisional, porque el sistema cardiorrelatorio, en un sentido más profundo, obedecía a principios *metamecánicos*, según Harvey; y porque las funciones de dicho sistema quedaban integradas en un todo orgánico sujeto a la teleología y al dinamismo²⁹.

Con objeto de establecer el papel desempeñado por el corazón, había sido necesario no llevar la investigación hemodinámica más allá de las causas del movimiento de la sangre. De no haberse efectuado esta simplificación, hubiera sido muy difícil alcanzar con éxito un análisis del problema en términos mecánicos. Sin embargo, la aptitud motora del corazón conducía a una nueva pregunta: ¿cuál era la causa de que el corazón se moviera?, ¿qué activaba, no ya el desplazamiento local de la sangre, sino las continuas contracciones del corazón? Harvey brindó dos respuestas a esta cuestión en diferentes etapas de su vida. En el *De Motu*, hace responsable del movimiento del corazón al calor vital³⁰: aquella manifestación originaria de la vitalidad imaginada por la biología griega. El músculo cardíaco

se mueve por sí mismo, porque, al cabo, es una estructura animada. Fiel a Aristóteles, acude a la antigua orientación sustancialista de la fisiología. Los animales sanguíneos son sustancias cuya forma -el alma- los capacita para el automovimiento, a través del calor innato que concentra en su corazón; a su vez, el corazón se mueve sin necesitar un impulso mecánico externo, porque es la sede de aquel principio activo. En su *Segunda carta a Riolano*³¹, la sangre ha pasado a convertirse en el medio humoral donde habita el calor vitalizante de los antiguos. Ella es el ámbito sustancial que acoge la forma de la especie concedida por Dios a los distintos animales superiores; ella genera la actividad contráctil del corazón; y en ella, en sus potencias, culmina la teoría fisiológica a que se entrega Harvey: el corazón es la causa mecánica del movimiento de la sangre, al tiempo que la sangre es la sustancia *animadora* del movimiento del corazón. En todo caso, elijamos el *De Motu* o la *Segunda carta a Riolano*, nos encontramos ya en un universo teórico ajeno al mecanicismo. Harvey ha explicitado los dos polos de su formación paduana: respeto al experimento y lealtad a Aristóteles. Gracias al primero, abrió el camino a la futura renovación de la fisiología; en virtud del segundo, entendió que la ciencia natural debía edificarse al amparo de una concepción teleológica y dinamista del movimiento.

La iatromatemática y el Tratado del Hombre

A Descartes correspondió la presentación histórica solemne del proyecto de mecanización de la fisiología. Descartes se propuso la reducción de toda la ciencia natural a la mecánica y, en tal medida, la edificación de una biología geométrica. Este vastísimo plan tendrá enormes consecuencias en la evolución posterior de las distintas disciplinas biológicas, si bien su promotor fue incapaz, en general, de aplicarlo con éxito a la resolución de problemas concretos. La ausencia de logros inmediatos en la extensión de aquel programa a la biología se debió a la precariedad teórica de la física geométrica cartesiana y a la inexistencia de una química experimental madura, capaz de desentrañar la naturaleza íntima de los procesos fisiológicos. Cuando Descartes pensaba en máquinas animales, no podía concebir algo demasiado alejado de los autómatas de un carillón o de los que existían en las fuentes de algunos palacios reales. De cualquier forma, esta clase de limitaciones no restaron en absoluto originalidad al núcleo de su estrategia, que podría enunciarse así: unificar la explicación de los fenómenos de la naturaleza, tanto animada como inanimada, mediante la utilización de una sola clase de principios y leyes.

En el curso del siglo XVII, un grupo de estudiosos de la fisiología animal -entre quienes se encontraban

Giovanni Borelli, Niels Stensen, Giorgio Baglivi y Lorenzo Bellini- se comprometió, asimismo, con el ideal de una biomedicina mecánica. Borelli -admirador de la nueva ciencia galileana- está convencido de que todo fenómeno vital se resuelve en movimiento:

"Y para proceder con orden y claridad explicaré primero algunos fenómenos fundamentales, el primero de los cuales será que las operaciones naturales, como son la concepción, maduración, nutrición [...], se suelen efectuar en el animal por medio del movimiento de los espíritus y de los humores y de las partes sólidas reducidas a partículas minutísimas; y como estas operaciones naturales se efectúan incesantemente, debe ser cierto que el ser y la vida animal no son más que un continuo movimiento; y la exactitud de esto se ve en que las partes del animal disminuyen sin cesar, pues de ellas transpira un flujo continuo de partes sólidas por los poros del cuerpo [...], y en que el animal tiene necesidad de un continuo alimento para reponer y colocar en los lugares que han quedado vacíos otras partes, en sustitución de las que se han eliminado: pues, para comprender este alimentarse es preciso suponer un continuo desplazamiento de partículas sólidas, agitadas no temerariamente, sino con mucho orden, situando cada parte en el lugar conveniente."

"En segundo lugar, diré que el principio y el origen de todos los movimientos naturales es, directa o indirectamente, el corazón, que, con su infatigable agitación, empuja con rápido recorrido la sangre hasta los extremos de las arterias y de aquí, recogida por los extremos de las venas, vuelve al corazón con giro veloz y no interrumpido (como ha demostrado sensatamente Herveo); en esta circulación es preciso que, mediante el impulso conferido por las pulsaciones de las arterias, salgan por los poros y por los extremos de aquellas innumerables partículas, que estaban en la sangre y que, con el ímpetu recibido, insinuándose en los espacios que han quedado vacíos tras la transpiración de otras partículas, conserven con un artificio maravilloso el flujo y reflujo de partes, el movimiento en que consiste la conservación y la vida del animal".³²

Es patente, pues, que Borelli entiende las funciones orgánicas como simples movimientos locales. El ser y la vida de los animales no son otra cosa que un movimiento incesante de corpúsculos que ciegamente obedecen los principios de la mecánica. La materia, para este galileano, tiene una estructura corpuscular que la física podrá esclarecer; y la materia viva no es sino un cierto orden matemático peculiar en el desplazamiento de aquellas partículas, porque la conservación de las estructuras anatómicas está supeditada al movimiento. La perspectiva aristotélica -según la cual el acto es anterior al cambio y la morfología es anterior a la fisiología³³- ha quedado invertida. En la iatrofísica de Borelli, el movimiento se

sustancializa como en la física de Galileo³⁴, y son las funciones las que sustentan el ser de los órganos. Sólo la matemática es apta para expresar el secreto código ontológico con el que los animales fueron creados. Dios quiso ser geómetra aquí también.

Pese a haber nacido en Copenhage, Niels Stensen desarrolló su trabajo fundamentalmente en Italia. Dedicó atención especial a la estructura de los músculos y a lo que entendió como su descripción geométrica -tarea en la que empleó los rudimentarios microscopios que se habían empezado a construir. Realizó un estudio detallado de la fibra muscular, estableció el principio de que el volumen del músculo no varía durante su contracción y defendió con firmeza la naturaleza muscular del corazón. La primera de estas tres contribuciones era la que más valor parecía tener para una biología geométrica. No es extraño que la fibra muscular terminara convirtiéndose en la unidad del análisis iatromecánico de la organización biológica. Si todo proceso vital descansaba en un movimiento, si el movimiento iba a ser justificado a través de leyes geométricas, si esta justificación se hacía posible gracias a la estructura geométrica de los músculos, nada cuesta imaginar que en los elementos más sencillos de la estructura muscular se vieran las unidades morfológicas de cualquier órgano y los centros movilizados de cualquier función. La mayor dificultad con que tropezaba esta física biológica era la salvaguarda de la autonomía mecánica del movimiento fisiológico. El modelo causal de que se servía no autorizaba sino la causación por contacto. Pero, una vez fijada ésta, cada movimiento, en cuanto efecto, dependía de un movimiento anterior. Puesto que no cabían las invocaciones vitalistas, se necesitaba conjeturar un sistema mecánico de carácter en alguna medida circular y automático.

Giorgio Baglivi aportó la hipótesis que cerraba circularmente la causalidad fisiológica; sugirió que los hematíes, intercalados como llegaban a estar en las fibras musculares, constituían su estímulo mecánico. En estado de reposo, los glóbulos rojos mantienen una forma esférica, mas cuando tiene lugar la llegada de espíritus a través de los nervios, esa forma cambia y desencadena la *crispación* muscular, causa inmediata del movimiento. Para agotar al límite la naturaleza mecánica de su teoría, Baglivi compara los espíritus nérveos con el éter de Newton³⁵. El corazón impulsa la sangre hacia las arterias y conduce los hematíes hasta las fibras musculares; la sangre, combinada con el aire ambiental, queda transformada -en el cerebro- en espíritus animales, que llegarán a los músculos por vía nerviosa; una vez allí, modificarán la forma de los glóbulos rojos, y esta alteración inducirá la excitación muscular productora de la locomoción animal, de los *movimientos vegetativos* o de los *movimientos sensitivos*. Como el corazón no es sino un músculo, su activación reproduce el mismo proceso: las fibras musculares que lo componen son estimuladas cuando los espíritus inundan sus paredes fibrosas y los hematíes

ven trastocada su *forma geométrica*. Decíamos que, en alguna medida, el automatismo del movimiento fisiológico se había conseguido. Los iatromecánicos podían trocar la autonomía dinamista de la fisiología aristotélico-galénica por su simulación mecánica. Pero, aun así, existían dos dificultades que ensombrecían el pleno tratamiento mecánico de las funciones vitales. De un lado, las máquinas animales no estaban constituidas como sistemas cerrados: intercambiaban materia con su entorno, recibían aire y materias nutrientes. Todo lo más, las máquinas animales eran sistemas de transmisión de impulsos mecánicos. Aparecían como micromundos cartesianos necesitados de una fuente motora externa. De otro lado, las transformaciones de sangre venosa en sangre arterial, de sangre arterial en espíritus animales o del alimento en sangre querían comprenderse desde razones geométricas, y ello deparaba grandes problemas. Si se aceptaba una teoría corpuscular de la materia -como la de Borelli, por ejemplo- las leyes del movimiento y combinación de los átomos tenían que explicar la constitución de los órganos, su preservación y la transmutación de los fluidos orgánicos. Si se aceptaba en su literalidad la idea cartesiana de materia, la solución de esas mismas cuestiones se enturbiaba todavía más. Las síntesis e interacciones de los fluidos fisiológicos terminaban refiriéndose al concepto de *elemento*, es decir, a la figura, el tamaño y el movimiento de sus *partes*. Con semejante aparato conceptual, cada generación de un ser vivo reclamaba casi tanta eficacia creadora a las leyes de la mecánica como la que se les atribuía para la constitución del mundo. Es fácil entender que Descartes terminara renunciando a la fundamentación mecánica de la ontogénesis³⁶ y que durante la Ilustración el mecanicismo se retirara hacia posiciones preformacionistas.

El autor del *Tratado del hombre* concibió una *maquinaria* cardiovascular que hacía cumplir a la sangre el mismo recorrido que Harvey había propuesto³⁷. Sin embargo, dado que éste no completa la reducción mecánica del movimiento de la sangre, se siente obligado a denunciar la debilidad teórica de la fisiología harveyana. El asunto a dirimir era, por supuesto, cómo se debía integrar la actividad del corazón en el orden general de las funciones vitales. Vincular dicha actividad a la presencia en los animales de fluidos que esconden cualidades ocultas suponía, para Descartes, permanecer en las tinieblas. Toda la teleología dinamista que cruza el *De Motu Cordis* o el *De Generatione Animalium*³⁸ es el lastre ontológico que hay que abandonar. La nueva ciencia natural no podía levantarse sobre tibias invitaciones al mecanicismo entretejidas con dogmas incuestionados de la biología aristotélica. El corazón no podía ser movido por dimensión cualitativa alguna de la sangre. En otras palabras: Harvey acertaba respecto al camino seguido por la sangre en su movimiento, pero se equivocaba al fijar las causas de éste.

Descartes se ocupó del problema de la circulación sanguínea en distintos lugares de su obra³⁹, aunque

las ideas que sobre esta cuestión expuso en el *Tratado del hombre* no sufrieron ninguna modificación con el paso del tiempo. Así pues, nos atendremos en lo que sigue a esta parte del *Tratado de la luz*, para presentar las tesis básicas de la fisiología cartesiana. Sostiene, Descartes, que el alimento ingerido es transformado en quilo a través de la digestión. Esta se inicia en el estómago y continúa en el intestino. El quilo resulta depositado en el hígado por la vena porta, y dentro de este órgano sufre un proceso de refinamiento a partir del cual se forma la sangre⁴⁰. Después de haber sido sintetizada, las venas cavas superior e inferior conducen la sangre a la aurícula derecha del corazón, desde donde pasa al ventrículo derecho por la válvula tricúspide. De allí, siguiendo la arteria pulmonar, parte hacia los pulmones que actuarán como estructuras refrigeradoras. La vena pulmonar transporta luego a la aurícula izquierda esta sangre refrigerada, que finalmente alcanzará el ventrículo de ese mismo lado del corazón al abrirse la válvula mitral. A continuación, la sangre es introducida en la red arterial, se distribuye por todo el cuerpo y algunas de sus partes se unen a los distintos miembros sólidos de esta máquina viviente, para preservar la materia de los huesos, la carne o los nervios. No obstante, casi toda la sangre reingresa en la red venosa, gracias a que las extremidades de las arterias están unidas a las extremidades de las venas. El movimiento de la sangre es en definitiva un movimiento circular⁴¹.

Las arterias carótidas llevan la sangre arterial menos densa al cerebro. En el momento de alcanzar el encéfalo, las carótidas se dividen y ramifican en vasos más pequeños que reparten la sangre en todas direcciones. Las diminutas arterias que rodean la epífisis permiten el paso de las partes más finas de la sangre a la glándula pineal. Dentro de la epífisis se generan los espíritus animales, capaces de ingresar en los nervios craneales cuando esta glándula los deposita en el tercer ventrículo cerebral. Descartes piensa que el movimiento de las articulaciones está regido por la acción antagónica de músculos flexores y extensores; que el movimiento de cualquier músculo está supeditado a la actividad de un nervio; y que el cerebro es responsable de la coordinación mecánica del sistema neuromuscular. Ahora bien, los espíritus animales tienen asignada, precisamente, una función primordial en la integración motora, porque son el medio mecánico que permite al cerebro -a la glándula pineal- estimular las fibras musculares. La condición requerida para que los espíritus animales pudieran desplazarse desde el tercer ventrículo hasta los músculos era que los nervios se considerasen cordones o tubos huecos, y así se sostiene, en efecto⁴².

Son analizados después los fenómenos perceptuales, en una ordenación deliberadamente paralela a la división tripartita del alma que hacía Aristóteles. Tras el examen de los procesos vegetativos como la nutrición o la circulación de la sangre, el *Tratado* inicia la descripción de

los fenómenos correspondientes al alma sensitiva. La meta de Descartes es convertir cada función orgánica perteneciente a una y otra esfera de la vida animal en un sistema de relaciones mecánicas. Los nervios son también vehículos mecánicos de las sensaciones. Su aptitud motora descansaba en que, como conductos huecos, servían de vías de paso a los espíritus animales. Pero, además, un supuesto filamento interno es el enlace *sensitivo-mecánico* entre el órgano sensorial y el cerebro. Ante cualquier estímulo, esa médula se tensa en todo su recorrido, obligando a que se abra una válvula a la que está conectada en la pared del ventrículo cerebral. Los espíritus contenidos en el cerebro comienzan a salir entonces hacia el nervio, recorren éste, inflan el músculo correspondiente y producen un movimiento reflejo. Pues bien, la salida de espíritus del cerebro constituye el soporte mecánico de la sensación, porque es la apertura del poro o válvula, con el consiguiente descenso de la presión de los espíritus sobre la epífisis, lo que la provoca⁴³.

Regresemos, ahora, al centro de la fisiología cartesiana. La sangre -ha admitido Descartes- sigue el trayecto que Harvey señala, pero la teoría de Harvey es insuficiente, porque en ella no se encuentran las razones geométricas del movimiento del corazón. Como cualquier movimiento, el movimiento del corazón ha de producirse en virtud de la acción de agentes mecánicos, y no hay ninguna duda de que Harvey ha entregado su descubrimiento a la vieja ontología. Es preciso culminar la articulación mecánica de la fisiología cardiovascular con una explicación del movimiento del corazón que repose de forma completa en los esquemas causales del nuevo conocimiento científico. Inesperadamente, Descartes acude entonces a la idea de aquel calor natural que la tradición fisiológica griega localizaba en el corazón y aporta una descripción de la actividad cardíaca llena de ecos galénicos. En el ventrículo derecho, la sangre ha pasado a estado gaseoso, haciendo que aumente en él la presión y que las válvulas semilunares pulmonares se abran. Es el fuego que habita en los ventrículos el responsable del calentamiento, ebullición y expansión de la sangre. Esta se dirige por la arteria pulmonar hacia los pulmones, donde, refrigerada, vuelve a adquirir un estado líquido. La vena pulmonar lleva la sangre después al lado izquierdo del corazón, y allí, de nuevo en el ventrículo, pasará a estado de vapor, produciéndose un aumento de la presión que terminará por abrir las válvulas aórticas y que permitirá el ingreso de esta sangre vaporizada en la arteria magna. Lo importante es que el corazón queda asimilado a una estructura pasiva; no impulsa la sangre sino que es dilatado por ella. En la fisiología de Descartes, como en la de Galeno, la sangre penetra en la red arterial durante la fase diastólica. Dicho de otro modo: el corazón no bombea sangre sino que, al poseer una elasticidad limitada, obliga a que las válvulas situadas en los ventrículos se abran bajo el aumento de la presión⁴⁴. Descartes piensa que la observación y las pruebas experimentales están de su parte⁴⁵. La causa del movimiento de la sangre es el calor que

anida en el interior del corazón y no la contracción de éste. No existe en realidad tal contracción. Conviene recordar, a su vez, que la actividad cardiorespiratoria es en la iatrofísica la esfera funcional de la que dependen todos los movimientos. Como consecuencia de ello, el conjunto de la mecánica vital termina siendo transferido al principio activador de la distribución de la sangre. En *Las pasiones del alma* y en *La descripción del cuerpo humano* se nos ratifica que el calor del corazón es el principio de todos los movimientos de nuestros miembros⁴⁶. Descartes, que ha querido desenmascarar la inconsistencia mecánica de la fisiología de Harvey, se pierde en los viejos errores apuntalados por el animismo galénico. Es lo que podríamos llamar la *paradoja Harvey-Descartes*: la biología geométrica se aparta de la correcta exposición mecánica del movimiento del corazón y de la sangre, para sustituirla por un haz de procesos inexistentes vinculados al organicismo antiguo. Se trata, sin embargo, de una paradoja que es preciso situar en sus justas coordenadas. La fisiología cartesiana no se acerca en ningún caso a la interpretación dinamista del movimiento vital. El calor congénito no es ya una manifestación elemental y espontánea de la forma de los animales, del alma. Los cuerpos muertos, carentes de calor y movimiento, no han perdido una y otra cosa al estar desprovistos de alma⁴⁷. Calor y movimiento son fenómenos que directa o indirectamente tienen un fundamento mecánico. Descartes concluye el *Tratado del hombre* con una advertencia precisa: el fuego que arde en el interior de nuestros corazones tiene la misma naturaleza que aquellos otros que existen en los cuerpos inanimados⁴⁸. En consecuencia, las funciones de la máquina animal dependen con exclusividad de la disposición de sus órganos. No hace falta concebir ningún otro principio de movimiento en ella que no sea el referido calor, perfectamente semejante al que acompaña a los fuegos del mundo inorgánico. De Galeno no se toma ninguna sugerencia sustancialista, por consiguiente; se recogen sólo ciertas ideas relativas al modo como el corazón modifica su tamaño y al significado mecánico de esa modificación. Harvey no es mecanicista, a pesar de que completa mejor que Descartes el análisis mecánico del movimiento de la sangre, y Descartes no emplea nociones vitalistas, aun cuando acuda al concepto de *calor innato*.

La principal dificultad que tuvo que afrontar la iatromecánica cartesiana fue de carácter propiamente físico. El modelo causal del choque explicaba la diástole cardíaca mejor que la sístole. ¿Cuál podía ser la causa de la contracción ventricular en términos mecánicos? El calor no es una cualidad irreductible o primaria. Como el resto de las cualidades, agota su realidad en un movimiento de partes de materia⁴⁹. La compresión del corazón y su consiguiente funcionamiento como bomba hubiera exigido que el calor -es decir, esa clase de movimiento que suscita en nosotros la idea de calor- actuase desde fuera, obligándolo a contraerse. Pero Descartes acepta como un hecho que el movimiento de partes que llamamos calor

vital actúa desde el interior del órgano. Es forzoso, además, que el movimiento cardíaco no sea un automovimiento. Por lo tanto, el movimiento de partes en que consiste el calor produce el movimiento expansivo de la sangre y éste la dilatación del corazón. Se ha dicho en ocasiones que Descartes entiende el corazón como una máquina térmica. Nosotros diríamos, por el contrario, que la gran dificultad con que tropieza su biología matemática es la imposibilidad de ofrecer una adecuada teoría mecánica del calor. Era un hecho que el corazón no poseía mayor temperatura que el resto de los órganos corporales. No obstante, admitida esa diferencia de temperatura, había que darle un valor mecánico. Ya que ninguna parte de materia mueve a otra sin estar ella misma en movimiento; dado que las partes más agitadas chocan y mueven a las menos agitadas, era adecuado ver en el calor un tipo de movimiento que correspondía a *partes* muy pequeñas dotadas de una enorme velocidad. Dotadas de alta velocidad, porque al ser tan pequeñas, su gran cantidad de movimiento dependía primordialmente de aquella. Mas la transferencia de cantidad de movimiento debería dar lugar al enfriamiento progresivo del corazón. ¿Cómo se mantenía constante el calor, pues? Descartes repite que es un fuego alimentado por la sangre⁵⁰. Pasa de la mecánica a la metáfora, pero sin ser capaz de resolver el problema: la sangre llega fría a las aurículas y no puede aumentar la cantidad de movimiento que existe en las fibras del corazón. Es la fibra cardíaca la que calienta y transfiere movimiento a la sangre. No hay que olvidar que en su vaporización y aumento de volumen el líquido hemático podría tal vez restaurar la cantidad de movimiento que el corazón ha perdido, pero entonces ¿de dónde obtiene la sangre la potencia motriz necesaria para abrir las válvulas semilunares y aórticas?, ¿por qué mantiene su estado de vapor, si vuelve a tener la misma cantidad de movimiento que cuando penetró en las aurículas? Las nociones de *cambio de estado*, *presión* o *temperatura* hallaron una vaga traducción imaginativa en la mecánica de Descartes, que resultaría poco fértil. El postulado de la inexistencia del vacío y la ausencia de una teoría atómica de la materia ensombrecían conceptos simples como los citados o como el de *aumento de volumen*. Los microcosmos mecánicos que los animales eran *imitaban* cierta autonomía mecánico-fisiológica. Aun así, el principio de conservación de la cantidad de movimiento dictaba en última instancia una absoluta heteronomía causal. El animal-máquina quedaba reducido a una excrecencia más en el abigarrado sistema de resortes cósmicos.

En los trabajos de Harvey y Descartes empieza a constituirse un nuevo programa de investigación para la biología. Harvey piensa aún en una dinámica fisiológica basada en las potencias de la sustancia y la ordenación teleológica de la actividad vital. A pesar de ello, es quien por vez primera consigue la reducción mecánica de un proceso fisiológico. En suma, contribuye de manera decisiva al nacimiento de una fisiología que romperá con el aristotelismo, aunque no sospecha que la biología pueda acogerse a una cobertura teórica o

enraizarse en un fondo ontológico distintos a los que propusieron Aristóteles y Galeno. Descartes, por su parte, inaugura de forma consciente la nueva era de la fisiología matemática, pero tiene que enfrentarse a problemas que no puede resolver con los conceptos y principios de que dispone. Su mecanicismo biológico, su termomecánica, estaban obligados a estructurarse en un esquema causal demasiado elemental. La biología geométrica no fue, sin embargo, una orientación completamente unificada. Aunque Descartes y el resto de los iatromecánicos compartieron la idea de una naturaleza gobernada por leyes matemáticas, pronto se escindieron entre quienes sostenían una teoría de la materia como mera extensión y quienes adivinaban imprescindible el recurso al corpuscularismo. Defender una u otra perspectiva era muy relevante, debido a que poseían diferente valor heurístico y no armonizaban igual con la iatroquímica, llamada a jugar un gran papel en la futura fisiología. El principal obstáculo para Descartes no fue la explicación de los movimientos voluntarios del hombre, que podía atribuir al alma -como refiere a Dios el origen último del movimiento que el mundo conserva; en ambos casos, y al margen de la cuestión del interaccionismo, es consecuente con su dualismo metafísico. El auténtico problema se suscitó, según hemos visto, en el núcleo mismo de la mecánica del movimiento fisiológico. Harvey topó con dificultades no menores, si bien pudo darles solución manteniendo la consistencia de su concepción aristotélica de la vida.

* * * * *

Notas

1. La labor del médico hipocrático consistía en apoyar el proceso de curación puesto en marcha autónoma y teleológicamente por la *physis* humana. Al romperse el equilibrio orgánico sustentado por la proporción y el movimiento de los humores, sobrevénia la enfermedad. Pero el restablecimiento de la salud partía del propio cuerpo enfermo, capaz de reimplantar por sí mismo la adecuada dinámica fisiológica. Cfr. *Epid.*, VI, 5, 1.
2. Cfr. *De Anima*, II, 4, 415b-415b25
3. Cfr. *Phys.*, II, 1, 192b-193a.
4. Sigo en este momento los comentarios que Luis García Ballester dedica a estas nociones en su obra *Galeno* (Madrid, Guadarrama, 1972). Véase también: Luis García Ballester, "Galeno", en Pedro Laín Entralgo (ed.), *Historia universal de la medicina. Vol.II.*, Barcelona, Salvat, 1972, pp.209-267.
5. Erasístrato representa el esplendor de la medicina

alejandrina del siglo II a.C. Su concepción de la naturaleza es conscientemente antiaristotélica. Cfr. Pedro Laín Entralgo, *Historia de la medicina*, Barcelona, Salvat, 1978, p.62.

6. Cfr. *Phys.*, II, 7, 198a.

7. Cfr. Luis García Ballester, *Galeno*, pp.118-124.

8. Sobre la fisiología especial de Galeno, véase Christopher Smith, *El problema de la vida. Ensayo sobre los orígenes del pensamiento biológico*, Trad. de Natividad Sánchez, Madrid, Alianza, 1977, pp.159-166, y Luis García Ballester, "Galeno", en Pedro Laín Entralgo (ed.), *Historia universal de la medicina. Vol. II.*, pp. 241-245.

9. Cfr. *De Anima*, II, 2, 414a25.

10. La fisiología galénica retoma la dirección cerebrocéntrica que iluminó las investigaciones de Alcemeón de Crotona. El cerebro no es, para Galeno, el órgano meramente refrigerador de la sangre que concibe Aristóteles.

11. *De Part. Animal.*, III, 4, 666a10.

12. *De Iuventute et Senectute*, IV, 469a25.

13. Cfr. *De gen. Animal.*, II, 4, 740a-740b.

14. *De Iuventute et Senectute*, 469b5-20.

15. *Ibid.*

16. *De Iuventute et Senectute*, XIX, 474a25.

17. La ontología matematizante de la nueva ciencia diversificó y matizó sus propuestas. Bajo su influencia trabajan tanto Descartes como Newton y, no obstante, está justificado hablar de dos tradiciones dentro de la mecánica.

18. Cfr. Allen G. Debus, *Man and Nature in the Renaissance*, Cambridge, Cambridge University Press, 1978, p.72.

19. Harvey estudió en Padua entre 1597 y 1608.

20. Sobre el curso de la fisiología cardiovascular previo a los trabajos de Harvey, véase Herbert Butterfield, "El estudio del corazón hasta William Harvey", en *Los orígenes de la ciencia moderna*, Trad. de Luis Castro, Madrid, Taurus, 1958, pp.45-60.

21. *De Ostiolis*.

22. Cfr. K. III, pp.495-498.

23. Cfr. William Harvey, *Exercitatio Anatomica De Motu Cordis et Sanguinis in Animalibus*, Trad. al inglés y notas de Chauncey D. Lake, Springfield, Charles Thomas, 3ª edición, 1941, pp.89 y ss.

24. Para un seguimiento en detalle de la estructura deductiva del *De Motu*, cfr. John H. Woodger, "Un análisis de la obra de Harvey *De Motu Cordis et Sanguinis*", en *Biología y conocimiento*, Trad. de Manuel Garrido, Madrid, Tecnos, 1978, pp.55-67.

25. Cfr. William Harvey, *o.c.*, cap. 9.

26. En relación con los aspectos metodológicos y epistemológicos del trabajo de Harvey, pueden consultarse: Walter Pagel, *William Harvey's Biological Ideas: Selected Aspects and Historical Background*, Basilea-Nueva York, Karger, 1978 y Gweneth Whitteridge, *William Harvey and the Circulation of the Blood*, Londres, Macdonald, 1971.

27. La reacción de Robert Fludd ante la obra de Harvey ha sido analizada en Allan G. Debus, "Harvey and Fludd: The Irrational Factor in the Rational Science of the Seventeenth Century", *Journal of the History of Biology*, 3 (1970), pp.81-105.

28. Cfr. K. III, p.321.
29. Cfr. Pedro Laín Entralgo, "La obra de William Harvey y sus consecuencias", en *Historia universal de la medicina. Vol.IV.*, pp.235-249.
30. Cfr. William Harvey, *o.c.*, p.71.
31. Cfr. *Second Letter to Riolan*, en William Harvey, *The Circulation of the Blood: Two Anatomical Essays Together With Nine Letters*, Trad. al inglés de Kenneth J. Franklin, Oxford, Blackwell, 1958.
32. Las palabras de Borelli pertenecen a un discurso sobre las fiebres malignas (tal vez tifoideas) que se declararon en Mesina entre 1647 y 1648. Están recogidas en Vincenzo Busachi, "La iatromecánica", *Historia Universal de la medicina.Vol.IV.*, p.256.
33. Cfr. *Met.*, XI, 8, 1050a5-10 y *Phys.*, III, 3, 202a10-20.
34. Cfr. Alexandre Koyré, *Estudios de historia del pensamiento científico*, Trad. de Encarnación Pérez Sedeño y Eduardo Bustos, Madrid, Siglo XXI, 10ª edición, 1990, p.184.
35. Cfr. Vincenzo Busachi, *l.c.*, p.259.
36. Carta a Mersenne de junio de 1632. Cfr. A-T, I, p.254.
37. Descartes dice haberse ocupado de la circulación de la sangre y haber llegado a conclusiones similares a las de Harvey antes de leer el *De Motu Cordis* (carta a Mersenne de noviembre o diciembre de 1632, A-T, I, p.263). Pese a ello, cuando lee el trabajo del médico inglés reconoce en él al auténtico descubridor de la circulación sanguínea: cfr. A-T, VI, p.50.
38. Tratado publicado por Harvey en 1651.
39. Lo hizo en el *Tratado del hombre* (A-T, XI, pp.123-129), el *Discurso del método* (A-T, VI, pp.46-55), *Las pasiones del alma* (A-T, XI, pp.331-334) y *La descripción del cuerpo humano* (A-T, XI, pp.228-245).
40. Cfr. A-T, XI, pp.121-123.
41. Cfr. A-T, XI, pp.123-127.
42. Cfr. A-T, XI, pp.128-136.
43. Cfr. A-T, XI, pp.141 y ss.
44. "Puis ces gouttes de sang se rarefiant, et s'étendant tout d'un coup dans un espace plus grand sans comparaison que celui qu'elles occupoient auparavant, poussent et ferment ces petites portes qui sont aux entrées des deux venes, empeschant par ce moyen qu'il ne descende davantage de sang dans le coeur, et poussent et ouvrent celles des deux arteres, par où elles entrent promptement et avec effort, faisant ainsi enfler le coeur et toutes les arteres du corps en mesme temps." (A-T, XI, p.125).
45. Cfr. La descripción del cuerpo humano, A-T, XI, pp.242-244.
46. "... je ne lairray pas de dire icy succinctement que, pendant que nous vivons, il y a une chaleur continuelle en nostre coeur, qui est une espece de feu que le sang des venes y entretient, et que ce feu est le principe corporel de tous les mouvemens de nos membres." (*Las pasiones del alma*, A-T, XI, p.333). "Je diray ici que c'est la chaleur qu'elle [la máquina corporal humana] a dans le coeur, qui est comme le grand ressort, et le principe de tous les mouvemens qui sont en elle." (*La descripción del cuerpo*

humano, A-T, XI, p.226).

47. "Au moyen de quoy nous eviterons une erreur tres considerable, en laquelle plusieurs sont tombez, en sorte que j'estime qu'elle est la premiere cause qui a empesché qu'on n'ait pû bien expliquer jusques icy les Passions, et autres choses qui appartient à l'ame. Elle consiste en ce que, voyant que tous les corps morts sont privez de chaleur, et ensuite de mouvement, on s'est imaginé que c'estoit l'absence de l'ame qui fasoit cesser ces movemens et cette chaleur. Et ainsi on a creu, sans raison, que nostre chaleur naturelle et tous les movemens de nos corps dépendent de l'ame." (*Las pasiones del alma*, A-T, XI, p.330).

48. "Je desire, dis-je, que vous consideriez que ces fonctions fuiuent toutes naturellement, en cette Machine, de la seule disposition de ses organes, ne plus ne moins que sont les movemens d'une horloge, ou autre automate, de celle de ses contrepoids et de ses roües; en sorte qu'il ne faut point à leur occasion concevoir en elle aucune autre Ame vegetative, ny sensitive, ny aucun autre principe de mouvement et de vie, que son sang et ses esprits, agitez par la chaleur du feu qui brûle continuellement dans son coeur, et qui n'est point d'autre nature que tous les feux qui sont dans les corps inanimez." (*Tratado del hombre*, A-T-, XI, p.202).

49. Cfr. *El mundo*, A-T, XI, pp.7-10.

50. Cfr. A-T, XI, p.333.

Bibliografía

Aristóteles, *The Complete Works of Aristotle*. The Revised Oxford Translation Edited by Jonathan Barnes, Princeton, Princeton University Press, 1984.

Herbert Butterfield, "El estudio del corazón hasta William Harvey", en *Los orígenes de la ciencia moderna*, Trad. de Luis Castro, Madrid, Taurus, 1958, pp.45-60.

Allen G. Debus, "Harvey and Fludd: The Irrational Factor in the Rational Science of the Seventeenth Century", *Journal of History of Biology*, 3 (1970), pp.81-105.

Allen G. Debus, *Man and Nature in the Renaissance*, Cambridge, Cambridge University Press, 1978.

Descartes, *Oeuvres de Descartes*. Publiées par Charles Adan & Paul Tannery, Paris, Librairie Philosophique J.

Vrin, 1964-1974.

Claudii Galeni, *Opera Omnia Vols. III, IV y IX*. Editionem Curavit C.G.Kühn, Hildesheim, Georg Olms Verlagsbuchhandlung, 1964-1965.

Luis García Ballester, *Galeno*, Madrid, Guadarrama, 1972.

Carlos García Gual (ed.), *Tratados hipocráticos*, Madrid, Gredos, 1983-1989.

William Harvey, *Exercitatio Anatomica De Motu Cordis et Sanguinis in Animalibus*, Trad. al inglés y notas de Chauncey D. Lake, Springfield, Charles Thomas, 3ª edición, 1941.

William Harvey, *The Circulation of the Blood: Two Anatomical Essays Together with Nine Letters*, Trad. al inglés de Kenneth J. Franklin, Oxford, Blackwell, 1958.

Alexandre Koyré, *Estudios de historia del pensamiento científico*, Trad. de Encarnación Pérez Sedeño y Eduardo Bustos, Madrid, Siglo XXI, 10ª edición, 1990.

Pedro Laín Entralgo (ed.), *Historia universal de la medicina*, Barcelona, Salvat, 1972-1975.

Pedro Laín Entralgo, *Historia de la medicina*, Barcelona, Salvat, 1978.

Walter Pagel, *William Harvey's Biological Ideas: Selected Aspects and Historical Background*, Basilea-Nueva York, 1978.

Christopher Smith, *El problema de la vida. Ensayo sobre los orígenes del pensamiento biológico*, Trad. de Natividad Sánchez, Madrid, Alianza, 1977.

Gweneth Whitteridge, *William Harvey and the Circulation of the Blood*, Londres, Macdonald, 1971.

John Woodger, "Un análisis de la obra de Harvey *De Motu Cordis et Sanguinis*", en *Biología y conocimiento*, Trad. de Manuel Garrido, Madrid, Tecnos, 1978, pp.55-67.