

PROTOIDEAS DE TERMODINÁMICA Y EVOLUCIÓN EN LA OBRA BIOLÓGICA DE ARISTÓTELES*

THERMODYNAMICS AND EVOLUTION PROTO-IDEAS IN ARISTOTLE'S BIOLOGY

HORACIO SERNA
Instituto de Físico-Química
de la Academia Polaca de Ciencias
Varsovia, Polonia
hasernas@unal.edu.co

CARLOS EDUARDO DE JESÚS
SIERRA CUARTAS
Universidad Nacional de Colombia
Medellín, Colombia.
cesierra@unal.edu.co

RESUMEN

Las ideas gestadas en la Antigua Grecia son un mar de contrastes. Si bien muchas de ellas propiciaron a la postre el desarrollo de la ciencia y la filosofía, algunas otras fueron verdaderos obstáculos epistemológicos que retrasaron y entorpecieron su desarrollo. Este artículo tiene como principal objetivo realizar un recorrido crítico por algunos de los textos más relevantes de la obra biológica de Aristóteles en busca de protoideas sobre termodinámica y evolución. En particular, se revisarán los tratados *Sobre las partes de los animales* y *Sobre la locomoción de los animales*.

Palabras clave: termodinámica; biología; protoidea; obstáculo epistemológico; Aristóteles; Parménides.

* Este artículo se debe citar: Serna, Horacio y Carlos Eduardo de Jesús Sierra Cuartas. "Protoideas de termodinámica y evolución en la obra biológica de Aristóteles". *Rev. Colomb. Filos. Cienc.* 19.39 (2019): 85-122. <https://doi.org/10.18270/rfci.v19i39.2783>

ABSTRACT

The ideas developed in Ancient Greece are a sea of contrasts. While many of them eventually led to the development of science and philosophy, some others were true epistemological obstacles that delayed and hindered their development. The main objective of this text is to make a critical journey through some of the most relevant texts of Aristotle's biological work searching for proto-ideas on thermodynamics and evolution. In particular, a review of the tractates: *On the parts of the animals* and *On the locomotion of the animals* will be made.

Keywords: thermodynamics; biology; proto-idea; epistemological obstacle; Aristotle; Parmenides.

1. INTRODUCCIÓN

En la Antigua Grecia, en el siglo VII a. C., más o menos hacia el año 640, emerge una filosofía que traía consigo una nueva forma de ver el mundo que pretendía descifrar todas las cosas del cosmos, incluidos los seres vivos, teniendo como base un principio o, en el lenguaje de los antiguos griegos, *arjé*. Este concepto se puede interpretar como la sustancia que no requiere de nada ni de nadie para existir. Una versión primigenia de la causa incausada de santo Tomás de Aquino (2001) como vía para la demostración de la existencia de Dios. De este modo, se puede sostener que a partir del *arjé* surgen todos y cada uno de los componentes del universo. Antes de entender el origen de las cosas en términos de una sustancia o principio material, los antiguos griegos atribuían todo cuanto les pareciera inexplicable a la intervención divina de múltiples deidades, de ahí que su cultura desarrollara una de las mitologías más ricas de la historia. Se podría decir que en el seno de la filosofía presocrática nace el modo racional de ver el mundo, ya que se privilegiaba la observación como fuente primaria para las interpretaciones filosóficas subsecuentes, dejando de lado las explicaciones basadas en deidades y fantasías. Aun con esto, los dogmatismos todavía

desempeñaban un papel fundamental en el discurso filosófico, convirtiéndose en verdaderos obstáculos epistemológicos a la sazón. La misma concepción de *arjé* es un dogmatismo por definición, a pesar de que cambiara de forma y propiedades dependiendo del humor y el razonamiento de cada pensador (tierra, aire, fuego, agua, o alguno más exótico como el apéiron, lo indeterminado).

En contraste, algunos autores consideran que la filosofía presocrática es el origen no solo de la racionalidad sino del modo científico de ver el mundo. Pensadores de la talla de Karl Popper (1999) sostenían que el modo científico de ver el mundo vio la luz en la filosofía presocrática. Con dogmatismos todavía presentes en ella, es difícil hablar de un posible origen de la ciencia en la Antigua Grecia. Sin embargo, se han utilizado el *principio de ignorancia* (Schneider 2005) –que establece que el ser humano no puede desvelar los secretos del universo únicamente con la experiencia de los sentidos– y el sesgo cultural (Estrada Esquivel 2000; Popper 1999) en defensa de la tesis de que el modo científico de ver el mundo surgió en la Grecia Clásica pues la ciencia es, entre otras cosas, hija de la duda y la razón.

Hacia el 385 a. C. nace Aristóteles en Estagira, en lo que hoy corresponde a la ciudad de Stavro. Con el Estagirita aparece una nueva forma de entender la realidad como un conjunto de dos elementos constitutivos: materia y forma. En síntesis, un objeto real está definido por materia y forma de manera separada y es el sujeto, por medio de la experiencia y la observación, quien funde los dos elementos en un concepto durante el proceso intelectual. Si bien esto no deja de ser un esquema harto simplificado de la realidad, sirvió para avanzar hacia una teoría del conocimiento más integral que poco a poco dejó de lado los dogmatismos presentes en la filosofía presocrática. No obstante, esto no libró a Aristóteles de llegar a conclusiones desafortunadas. Con sus especulaciones erróneas sobre el vacío, lo que denominó *horror vacui*, retrasó el desarrollo de la tecnología del vacío en Occidente (Sierra 2012). Como veremos a lo largo de este texto, este no sería el único obstáculo epistemológico que puede atribuírsele.

Con este panorama, es menester estudiar la filosofía natural con las cautelas pertinentes, máxime si muy pocas de las observaciones y aseveraciones de sus exponentes clásicos pueden elevarse al nivel de científicas. El microbiólogo Ludwik

Fleck utilizó el recurso conceptual de *protoidea* en el desarrollo de sus teorías en metodología de la investigación. Sostenía que prácticamente todas las investigaciones en temas nuevos partían de una o varias protoideas que podían venir de la filosofía o la religión y que habían estado en el conocimiento popular mucho antes de que adquirieran el carácter de ideas científicas. Una *protoidea* es un elemento de conocimiento vago aceptado como verdadero que obedece a un mínimo de racionalidad y suele instaurarse en el imaginario colectivo (Sady 2017). Los pasos siguientes para que estas se conviertan en ideas científicas suelen ser una generalización y una comprobación experimental. El átomo de Demócrito, el heliocentrismo clásico y la noción de microbio fueron protoideas hasta su consolidación como ideas científicas propiamente dichas de la mano de John Dalton, Nicolás Copérnico y Antón van Leeuwenhoek, respectivamente.

Así, la lectura crítica de la obra biológica de Aristóteles se llevará a cabo con el enfoque de Ludwik Fleck en un intento por rescatar protoideas de conceptos o principios termodinámicos y de evolución biológica a la par que se señalarán las conclusiones desafortunadas a las que también llegó el Estagirita y que causarían atascamientos epistemológicos que, en algunos casos, persistieron por siglos. Desde luego, no se trata aquí de cuestionar los aportes de Aristóteles desde la mirada de hombres de nuestro tiempo o siglos inmediatamente precedentes, como si fuese perfecto lo de ahora, sino de procurar ubicar vislumbres de ideas que tengan el semblante de antecedentes de los principios fundantes de la termodinámica y la biología, de suerte que permita comprender algo mejor el proceso de su génesis.

Las líneas que escribió Aristóteles sobre el estudio de los seres vivos son más que las que escribió sobre otros temas, de aquí que se le considere como un filósofo de la naturaleza en toda regla. La obra biológica que aún se conserva está constituida por *Sobre las partes de los animales*, *Historia de los animales*, *Sobre la generación de los animales*, *Sobre el alma*, *Sobre la locomoción de los animales*, *Sobre el movimiento de los animales* y un tratado de varios estudios titulado *Pequeños estudios naturales*. Lamentablemente algunos de sus tratados se perdieron. Es el caso de un volumen sobre animales fabulosos, un tratado sobre las plantas, una descripción sobre animales y un conjunto de dibujos y planchas anatómicas a las que se refiere en

el desarrollo de su biología (Bartolomé & Marcos 2010). Este trabajo se detendrá en dos tratados: *Sobre las partes de los animales* y *Sobre la locomoción de los animales*.

2. CAUTELAS Y PRIMERAS CONSIDERACIONES

Como documenta bien Alfredo Marcos en la introducción del texto escrito en compañía de Rosa Bartolomé (2010), los antecedentes de la obra biológica no solo se encuentran entre los presocráticos. También se cuenta con las siguientes fuentes previas a Aristóteles:

- Conocimientos populares: pesca, ganadería, caza y agricultura. En las técnicas de la crianza de animales, se obtuvieron conocimientos empíricos que despertaron el interés de los más perspicaces.
- Medicina y farmacia popular griega: recolectores de raíces medicinales y médicos propiamente dichos.
- Primera historiografía jonia: Demócrito, Heródoto y Ctesias en el siglo v a. C. Expediciones y viajes de exploración.
- El testimonio del cartaginés Hanón en el siglo vi a. C. de su encuentro con gorilas en el norte de África.
- Estudios clasificatorios que llevaban a cabo Platón y Espeusipo en la Academia. La manera dicotómica de clasificar fue blanco de la crítica de Aristóteles.
- Medicina hipocrática. Hipócrates (460 a. C.-375 a. C.).
- Selección y cría de caballos por parte de Simón de Atenas y Jenofonte en el siglo v a. C.

Aquí conviene hacer una aclaración de lo más pertinente sobre la forma en que se concebían la ciencia y la filosofía en Occidente. Es evidente que la medicina hipocrática fue la base de la medicina en la Antigüedad y el pilar a partir del cual evolucionó la medicina moderna. Sin embargo, el enfoque racional de la medicina de la tradición hi-

pocrática no era el único presente en las civilizaciones de Occidente, pues contrastaba con este un enfoque más espiritual, o bien chamánico-religioso, en el que se inducían estados alterados de consciencia, bien fuera con propósitos curativos o de revelación del conocimiento por parte de los dioses del inframundo (Sierra Cuartas 2018).

En las décadas de 1950 y 1960, se hicieron varios hallazgos arqueológicos en el sur de Italia, en las ruinas de la otrora ciudad de Elea-Velia, patria de los célebres filósofos eleatas. Entre ellos había varias inscripciones muy llamativas. Las primeras, descubiertas en 1958 sobre basamentos de estatuas rezaban así: “Oulis hijo de Euxinos ciudadano de Elea sanador phôlarchos en el año 379; Oulis hijo de Ariston sanador phôlarchos en el año 280; Oulis hijo de Hyeronimus sanador phôlarchos en el año 446” (Kingsley 2010). Más tarde, en 1960, se hallaron, sobre un bloque de mármol, estas tres palabras: “Ouliadês, iatromantis, Apolo” (Kingsley 2010). En 1962, se descubrió una inscripción reveladora sobre Parménides, padre de la lógica occidental: “Parmeneides hijo de Pyres Ouliadês Physikos” (Kingsley 2010). *Oulis* y *Ouliadês* eran títulos de alguien dedicado al dios Apolo, denominado Oulios, el “destructor que sana” o el “sanador que destruye” (Morales Ripalda 2016). *Phôlarchos* es una palabra que solo se ha encontrado cinco veces, y todas ellas en Elea. Es una palabra compuesta de archos ‘señor, jefe’ y *pholeos* ‘guardida’, por lo que se podría proponer un concepto como “el señor de la guardida” (Morales Ripalda 2016).

Peter Kingsley (2010) asegura que esta “guardida” hace alusión a las cavernas subterráneas usadas como santuarios de Apolo donde se realizaba la incubación de los sueños, práctica que consistía en meditar profundamente en posición tumbada y en inmovilidad absoluta. Si se hacía con maestría, podía llevar a un estado alterado de consciencia llamado “muerte aparente”, un sueño consciente que permitía a los iniciados de Apolo acceder al conocimiento divino (Kingsley 2010; Morales Ripalda 2016). Otro concepto interesante que aparece en las inscripciones es el de *iatromantis*, que hace referencia a practicantes de la incubación de sueños con propósitos proféticos y curativos. Teniendo estos conceptos claros, la última inscripción define a Parménides como un iniciado apolíneo y, por ende, practicante de la incubación de sueños. Basado en estos descubrimientos, Kingsley (2010) reinterpreta el Poema del ser de Parménides, también conocido como *Poema de la naturaleza*, cuyos versos

bien pudieron venir de las experiencias del Eleata durante la incubación de sueños más que de la razón (Kingsley 2010; Morales Ripalda 2016; Sierra Cuartas 2018). Esta interpretación del Poema del ser en la época de Parménides representaría la más probable desde el punto de vista cultural, pues como demuestran los datos hallados en los basamentos de estatuas de 1958, era una tradición de cientos de años, iniciada en la ciudad griega de Focea, sita en Anatolia, de la cual procedían los fundadores de Elea-Velia y Marsella, tradición que se vio alterada por Platón quien, al tomar las ideas de Parménides como fundamento de su lógica, se esforzó en ocultar la dimensión espiritual de la obra del Eleata (Sierra Cuartas 2018).

Estos llamativos hallazgos ponen en entredicho la idea de un Occidente exclusivamente racional en marcado contraste con un Oriente espiritual. Queda así en evidencia la continuidad de una tradición chamánica entre Occidente y Oriente, que tuvo su influencia en campos como la medicina y el derecho, con una tradición médica distinta a la hipocrática, cual expresión de una filosofía práctica. Hoy por hoy, la tradición espiritual ya se está tomando en cuenta en la historia de la medicina y la filosofía, como bien demuestran el libro *Medicina antigua: De Homero a la peste negra* de Orlando Mejía (2018) y el análisis lingüístico del *Poema de la naturaleza* de Miguel Candel (2016) que, entre otras cosas, sugiere ajustes en la traducción en armonía con esta tradición.

Así, es importante incluir la tradición espiritual de la medicina y la filosofía de la escuela de Elea como fuente previa a la obra biológica de Aristóteles, máxime si él no fue totalmente ajeno a la tradición espiritual de la medicina como se detallará más adelante en este artículo. El Estagirita trató de entender a cabalidad el concepto de ser viviente y realizó una completa descripción de las partes de los animales justificando sus observaciones con conceptos heredados de su filosofía. El concepto de la obra biológica por excelencia es el hilemorfismo, idea que propone la conformación de todas las cosas, y en este contexto específico de los vivientes, por dos elementos primordiales: materia y forma. Aristóteles utiliza el hilemorfismo para explicar la teleología de las partes de los seres vivos, esto es, sus causas y finalidades.

Existen diversas posiciones con respecto a la capacidad de observación que tenía Aristóteles, algunas de ellas completamente opuestas. Lewes (1864) arguyó

que el Estagirita estaba lejos de ser un buen observador, puesto que no le dio la importancia necesaria a verificar las fuentes de información que utilizaba. Se sabe que Aristóteles se informó en varias ocasiones de pescadores, cazadores y, en general, del conocimiento popular, de manera que las imprecisiones científicas eran muy probables si el saber del pueblo no se sometía a prueba. En favor de Lewes, aparece el episodio de la mandíbula del cocodrilo: Aristóteles afirmó equivocadamente que el cocodrilo mueve, a diferencia de los demás animales, la mandíbula superior mientras la inferior permanece anclada al cráneo. Jesús Mosterín (1984) comenta que la imprecisión de Aristóteles se debe a que tomó la afirmación de marras directamente de un texto de Heródoto sin someterla a confirmación.

Por otro lado, Carlos García Gual (1992) defiende la calidad de buen observador de Aristóteles. Si bien acepta que en algunas ocasiones pecaba por afirmar cosas a la ligera, hubo otras tantas en las que concluía tras haber realizado observaciones propias bastante juiciosas. Una prueba está en la constante referencia a las planchas anatómicas en los textos de su biología (Bartolomé & Marcos 2010). Dado que se trata de una obra perdida no se podría confirmar con total certeza su existencia, pero, teniendo en cuenta las demás autorreferencias que Aristóteles suele presentar de textos que todavía se conservan, es posible asumir que las planchas anatómicas en realidad existieron. El desarrollo de tales planchas habría requerido, cuando menos, de una observación muy detallada de los vivientes.

Otro episodio que apoya la hipótesis de Aristóteles como buen observador es el experimento del desarrollo embriológico del pollo, el cual consistía en tomar 20 o más huevos fecundados y ponerlos a empollar con dos cluecas. A partir del segundo día, hasta el día de la eclosión, se retiraba y se abría un huevo para observar el desarrollo del embrión. La sugerencia del ensayo apareció por primera vez en un tratado hipocrático *Sobre la naturaleza del niño*, pero fue Aristóteles el que aparentemente desarrolló el experimento y lo describió con tremenda exactitud.

Con esto en mente, ponemos en contexto los aspectos generales de la biología aristotélica para entender cómo utilizaba su filosofía para proponer interpretaciones. En *Sobre las partes de los animales*, define dos tipos de partes, a saber:

- *Partes no homeómeras o heterogéneas*: son aquellas cuyas partes que no son fundamentalmente iguales al todo, es decir, existen a su vez otras partes que las constituyen. Por ejemplo, la cabeza, que está compuesta del rostro, el cabello, etc.
- *Partes homeómeras u homogéneas*: son aquellas cuyas partes son formalmente iguales al todo. Por ejemplo, una parte de la sangre sigue siendo sangre. Esto funciona solo en la observación directa.

Esta clasificación de las partes se corresponde con lo que hoy serían los órganos y los tejidos, respectivamente.

Además Aristóteles separa los animales en dos grupos: sanguíneos y no sanguíneos, lo que encaja bien con la clasificación actual de vertebrados e invertebrados. Y, necesariamente, encaja habida cuenta de que, según señala Jesús Bustamante: “Una de las herencias más importantes que el pensamiento moderno debe a la filosofía aristotélica medieval es el concepto de ciencia como inventario sistemático del mundo” (1999 171). Es más, el Renacimiento se encargó de revitalizar este concepto. Y el Barroco lo llevó al paroxismo, al punto que se hizo el inventario no solo de plantas, animales y minerales, sino el de la forma de los remolinos y las turbulencias del agua, los espíritus de la naturaleza (tales como fantasmas, trasgos y hadas) y hasta los órdenes angelicales. En suma, listas y más listas. Aún cabe decir más: Francis Bacon mantuvo esta dimensión recolectora, con lo cual echó a andar el paradigma baconiano de conquista de la naturaleza que nos rige y sojuzga en la actualidad.

Si bien Aristóteles no indagó a fondo sobre el origen de la vida, en *Generación de los animales*, un escrito que trata fundamentalmente los mecanismos de reproducción de los animales, afirma que ciertos insectos y todos los testáceos surgen por generación espontánea. En la época del Estagirita, era común la creencia de que de la carne podrida surgían moscas. Esta imprecisión se debía a las observaciones superficiales que se hacía de ciertos fenómenos como la putrefacción, y a los vestigios de la teoría de Anaximandro del origen de los animales a partir del limo. El Estagirita defendió el paradigma de la generación espontánea que permaneció durante muchos

siglos obstaculizando el desarrollo de la ciencia (Bartolomé & Marcos 2010). Sobre este nefasto suceso volveremos luego.

Un recurso argumentativo que Aristóteles emplea mucho en su biología, y que lo lleva a cometer muchas imprecisiones, es la diferencia axiológica entre las distintas direcciones del espacio. Él afirmaba que el lado izquierdo era siniestro comparado con el derecho. No obstante, es en el costado izquierdo donde se localiza el que consideraba el centro de la sensación: el corazón. Por los frecuentes choques conceptuales a los que llegaba con la axiología direccional, se veía obligado a recurrir a explicaciones ad hoc. Por ejemplo, justificaba que el corazón se encontrara en el lado siniestro para compensar la frialdad intrínseca de esta parte, puesto que este órgano era la fuente del calor de cocción para la síntesis de las demás partes del individuo. En esto tuvieron mucho que ver los conocimientos heredados de otros pensadores. Su maestro Platón postuló la teoría del mundo de las ideas, en el cual se encontraban las esencias de todos los entes materiales, y se ubicaba arriba de la esfera material, es decir, de la tierra. Por su parte, Aristóteles defendía al mundo material como única realidad. De esta suerte, si se toma como referencia el cuerpo, hacia arriba se encuentra la esencia de los vivientes y hacia abajo su realidad material. Así mismo, la izquierda y la derecha desempeñan un papel importante en el pensamiento aristotélico. Esta anisotropía espacial se puede marcar como una limitante de la obra biológica, ya que induce al error (Bartolomé & Marcos 2010).

De todas maneras, la vinculación de la filosofía en la argumentación biológica fortaleció el marco teórico de sus tratados, lo que se tradujo en varios éxitos explicativos. Por ejemplo, la elucidación de las funciones del cordón umbilical y la placenta, la diferencia entre los caracteres sexuales primarios y secundarios, se suman a su lista de aciertos. Por otro lado, rechazó algunas teorías erróneas, entre las cuales se encuentran:

- *Preformacionismo*: doctrina que sostiene que los individuos se encuentran preformados en el fluido seminal del macho. Así, el proceso de desarrollo embrionario se reduce al mero crecimiento de los órganos preformados.

- *Pangénesis*: proceso en el cual el semen recibe aportaciones de cada una de las partes del organismo. Aún el propio Darwin creyó en la teoría pangenetista.
- *Teoría encéfalo-mielógena*: propuesta por Alcmeón de Crotona. Afirma que el semen se sintetiza en el cerebro y que baja a los testículos por medio de un hipotético conducto que une la cabeza con los genitales.

Otra obra de vital importancia en la biología aristotélica es *Sobre el alma*. La pretensión del autor en este tratado era realizar una teoría general de los vivientes utilizando su típico esquema de argumentación teleológico, con el que dejó claro que la diferencia que existe entre los entes vivos y los no vivos era el alma. Esta es responsable de la identidad del ser vivo como tal, es decir, es la causa primera de todas las funciones básicas que diferencian a un viviente, esto es: nacer, alimentarse, crecer, reproducirse, sentir, desplazarse, entre otras. Se puede decir que el alma es la fuerza motriz de los vivientes, el ente metafísico que cambia la potencia del ser vivo en acto. Así, en el lenguaje aristotélico, un ser vivo se define en la medida en que posea alma. Una definición un poco más fresca de ser vivo, con un marcado enfoque termodinámico, se encuentra en Jorge Wagensberg:

Un ser vivo es un rincón del universo empeñado en distinguirse de sus alrededores. Estar muerto significa seguir mansamente los azares del entorno inmediato: calentarse cuando se calienta, secarse si se seca, agitarse cuando se agita, desgastarse si se desgasta, fluctuar cuando fluctúa... Estar vivo es evitar que el resto del mundo devore las diferencias, es eludir el tedioso equilibrio final (1998 17).

Con esto en mente, es posible aseverar que, en un contexto físico, los seres vivos son sistemas altamente alejados del equilibrio termodinámico, y que esta situación solo puede sostenerse mientras se siga con vida, o bien, en el lenguaje de Aristóteles, se posea alma. En este punto, la inclusión de la termodinámica en el discurso aristotélico toma sentido con lo que viene a continuación. El propio Estagirita, de manera algo implícita, ya concebía los seres vivos como sistemas termodinámicos,

algo que evidentemente hizo sin percatarse. La influencia del cardiocentrismo lo llevó a considerar el corazón como centro de la sensación y fuente de calor de cocción, como se mencionó antes. Por otro lado, arguyó que el cerebro y la respiración constituían el sistema de refrigeración, de manera que el calor del corazón se viese compensado y se mantuviera un equilibrio térmico dentro del organismo. Si bien las funciones que le atribuía al cerebro y el corazón estaban lejos de coincidir con las verdaderas, su argumento guardaba coherencia y lógica.

En la tesis doctoral de Laura Nuño de la Rosa García, se encuentra una justificación filosófica de la concepción, aparentemente termodinámica, que tenía el macedonio de los organismos vivos:

En ese lugar intermedio se localiza “el punto de donde procede el movimiento” (GA II. 742b35): el corazón en los sanguíneos y el órgano análogo en los no sanguíneos, que en ambos casos actúa como principio articulador de todas las partes animales. En él reside el calor, “chispa vivificante de la naturaleza” y responsable, por tanto, de la mayoría de las funciones vitales, como los cambios sustanciales implicados en la digestión, los procesos regenerativos o el crecimiento. Pero ningún principio puede darse en Aristóteles sin su contrario, que aquí vendrá encarnado por el cerebro, la estructura anatómica más fría, y su función refrigerante...

En realidad, el calor acogido por el corazón y distribuido por los cuerpos animales a través de la sangre que bombea no es él mismo un principio, sino instrumento del verdadero principio de los animales: el alma (2005 38).

Aquí las explicaciones teleológicas vuelven a aparecer, el alma funciona como *arjé* y el fin es la vida misma que, como aclara la autora, consiste en el correcto desarrollo de las funciones vitales. Es de resaltar que, en la filosofía del Estagirita, se recurre a una especie de ley de compensación. En el pasaje anterior, se argumenta que la presencia del corazón depende de manera directa de su contrario: el cerebro. El uso de este recurso argumentativo da pie a casos particulares interesantes que

constituyen protoideas. El caso de la dualidad cerebro-corazón decanta en una ley de compensación de calor, una protoidea del principio de conservación de la energía como se explicará más adelante.

3. SOBRE LAS PARTES DE LOS ANIMALES: DE LA COMPENSACIÓN DEL CALOR INNATO

Este es el tratado más extenso de los tres que se analizarán, y constituye un buen compendio de las explicaciones de las partes de los animales teniendo en cuenta sus causas y fines. En este tratado, Aristóteles comienza diciendo que una buena posibilidad para el estudio de los seres vivos es la asociación de atributos comunes para un estudio conjunto, de manera que trata aspectos como el movimiento, la organización, el crecimiento, el sueño, la respiración, la decadencia y la muerte por ser características distintivas de los sistemas vivos en general. Es precisamente con esta metodología como se puede llegar a una teoría unificada de la vida, incluyendo su origen y la diversificación de las especies (Kauffman 2003). Darwin (2009) propuso que todas las especies que se conocen evolucionaron de un ancestro común y la selección natural fue tomando variaciones beneficiosas para cada una de las especies y las acumuló en virtud de preservar la existencia de las más aptas en la carrera de la vida. El problema más complejo hoy en día es identificar el ancestro común, ubicar su aparición en el tiempo y el espacio, y entender cómo surgió. Esto, en última instancia, se traduce en descubrir el origen de la vida en la Tierra, enigma que persiste. Sin embargo, si el descubrimiento llegase a darse únicamente con el estudio de las características comunes de todos los organismos vivos, se le podría sacar provecho, y solo de esta forma se entendería la complejidad de la materia viva. De esta suerte, Aristóteles utilizó una metodología apropiada para el estudio de la complejidad biológica acorde con los métodos actuales. Por otra parte, también advirtió que, dentro de los atributos comunes, los animales utilizan distintos mecanismos para llevar a cabo sus funciones. Es el caso de la locomoción, pues cada ser tiene su modo particular de moverse, como la natación, el vuelo, la marcha y la reptación.

La biología aristotélica hereda muchos aspectos de la filosofía del Estagirita. Uno de los más importantes es la distinción de cuatro causas que intervienen en los fenómenos naturales: la forma, el fin, la materia y el motor. Las cuatro causas fundamentales las contrasta con la dualidad acto-potencia, pues la forma y el fin se relacionan directamente con el acto, mientras la materia se refiere a la potencia. Es aquí donde convergen el hilemorfismo y la teleología. La teoría de las cuatro causas es la base argumentativa de la obra biológica y, si se analiza con cuidado, se pueden encontrar algunas equivalencias con la concepción termodinámica de los vivientes. Como botón de muestra cabe mencionar las potencias, que son las manifestaciones sensibles de los cuatro elementos naturales, esos mismos que, siglos atrás, los filósofos presocráticos propusieron como *arjé*. Así, las potencias son el calor, el frío, la sequedad y la humedad, conceptos a los que, según Aristóteles, se puede reducir todo el entramado de los vivientes y la naturaleza. Las potencias están definidas por la presencia o ausencia de uno de los elementos constitutivos de la materia, a saber: calor es exceso de fuego mientras frío es su ausencia; humedad es exceso de agua y sequedad, su ausencia. Estamos ante una visión primitiva del concepto de fuerza motriz, entendida hoy como una diferencia o gradiente en las variables termodinámicas de estado capaz de generar un flujo de materia o energía. Para la época no existía una definición consolidada de temperatura, por lo que el fuego sería el concepto que haría su papel en la filosofía aristotélica. Aunque Aristóteles nunca propuso cómo las potencias podían dar lugar a un flujo, sí les concedió la capacidad de sintetizar tejidos durante los procesos de cocción, i.e., de generar un efecto verificable, la capacidad de hacer trabajo. En este orden de ideas, la potencia aristotélica es la protoidea de gradiente, pieza fundamental de la termodinámica de procesos irreversibles.

Todos los fenómenos naturales tienden al equilibrio termodinámico, esto es, a igualar temperatura, presión y potencial químico con los alrededores. Para un ser vivo, alcanzar el equilibrio termodinámico representaría la muerte; por esto necesita de mecanismos que le permitan estar alejado del equilibrio o, en otras palabras, mantener los gradientes. En la biología aristotélica, las potencias constituyen la materia prima de los vivientes, de manera que el Estagirita ya asociaba su idea de gradientes con los seres vivos. Como anota Alfredo Marcos (1992), Daniel Brooks y Richard

O'Grady diferencian varios tipos de actividades dirigidas a un fin: las denominadas *teleomáticas*, que enmarcan todas aquellas actividades que se dirigen a un estado final, en algunos casos de equilibrio, sin que tenga importancia el hecho de que los actores de tales actividades sean vivientes o no. Por su parte, una actividad teleonómica es aquella en la que el estado final se logra en función de la estructura (forma) de los entes involucrados; por ejemplo, la homeóstasis, el desarrollo ontogénico y, en general, todos los procesos irreversibles que acontecen en el orbe (Marcos 1992). Las *actividades* teleológicas implican que el acontecimiento último se relacione directamente con la consciencia, como es el caso de una herramienta concebida para un fin impuesto desde el comienzo por su fabricante o el sigilo propio de un tigre de Bengala cuando se dispone a emboscar un grupo de ciervos. El discurso de Aristóteles sobre la causalidad es teleológico por definición. No obstante, la forma en que lo matiza en sus textos no implica la existencia de un agente-diseñador consciente y externo a los procesos teleológicos que refiere, por lo que, desde la óptica de la filosofía moderna, debe considerarse como un discurso teleonómico (Marcos 1992).

La relación entre teleonomía y teleología sirve para dar paso al análisis de otro concepto importante e interpretable a la luz de la ciencia moderna: la necesidad. El Estagirita identificó varios tipos de necesidad, a saber (Bartolomé & Marcos 2010):

- *Necesidad absoluta*: algo existe por necesidad absoluta si no puede no existir. Por ejemplo, los seres eternos como los dioses y las verdades matemáticas.
- *Necesidad hipotética*: se da en los seres naturales, los que devienen. Este tipo de necesidad explica, según Aristóteles, las características propias de las partes de los animales.

La necesidad hipotética se manifiesta en la nutrición de los animales. Para ellos, esta es indispensable; a su vez, la nutrición requiere de la existencia de partes que funcionen en pro de ella: boca, esófago, estómago y el resto del sistema digestivo; además, para que todas estas partes existan son necesarios bloques estructurales más pequeños: tejidos, células, el aparato enzimático y todo el entramado metabó-

lico sin ir más lejos. En un sentido estricto, todo lo que concierne a los niveles de organización molecular y la lucubración de la fisiología de los seres vivos conforman gran parte de la vanguardia de los estudios sobre complejidad biológica. Como uno de muchos ejemplos, se presenta a continuación un pasaje en donde se asocia directamente la necesidad o, más precisamente la teleonomía, de los seres vivos con el azar y su valor para la comprensión de la vida, sobre todo en lo que respecta a la información genética y su transferencia en función de la evolución:

Decimos que estas alteraciones [genéticas] son accidentales, que tienen lugar al azar ... se deduce necesariamente que solo el azar está en el origen de toda novedad ... El puro azar, el único azar, libertad absoluta pero ciega, en la raíz misma del prodigioso edificio de la evolución: esta noción central de la biología moderna no es ya hoy en día una hipótesis, entre otras posibles o al menos concebibles. Es la sola concebible, como única compatible con los hechos de la observación y experiencia. Y nada permite suponer (o esperar) que nuestras concepciones sobre este punto deberán o incluso podrán ser revisadas (Monod 1970 125).

En determinados escenarios ciertas capacidades son harto beneficiosas para los seres vivos, teleonómicos por naturaleza. Sin embargo, la adquisición de tales capacidades solo puede darse alterando el código genético que, por vías naturales, se logra únicamente al azar, tal como lo aclara Monod (1970).

Aunque Aristóteles sostuvo que para la generación de un nuevo ser se precisaba de progenitores y germen, también fue defensor de la generación espontánea de algunos animales e insectos, como los testáceos y los escorpiones. El Estagirita llegó a tan nefasta conclusión tal vez basado en la observación superficial de procesos de descomposición de materia orgánica durante los cuales larvas de insectos parecían surgir espontáneamente. Para salir de este embrollo, argumentó que, aun cuando ciertos animales no requirieran de progenitores, tenían procesos de generación particulares que siempre daban origen a la misma especie de organismo; se podría decir que el papel de los progenitores lo cumplía ahora el proceso de generación, pues es la causa del nuevo ser (Bartolomé & Marcos 2010). Aquí queda claro que el método

científico que Aristóteles parecía utilizar correctamente en algunos de sus estudios sobre los vivientes, no lo emplea de modo adecuado en este caso, lo cual demuestra que el método científico jamás ha sido estático.

El paradigma de la generación espontánea frenó el desarrollo de la ciencia por veinte siglos. Los primeros experimentos en su contra no se realizaron sino hasta el siglo xvii, cuando Francesco Redi llevó a cabo su famoso experimento de los vasos con los pedazos de carne. Tomó dos vasos y en cada uno puso un pedazo de carne; dejó uno de los vasos al descubierto y tapó el otro con una gasa. Al cabo de unas horas las moscas se acercaron al vaso descubierto y se posaron sobre la carne, alimentándose y dejando sus huevecillos en la superficie. Más tarde, aparecieron las larvas y, posteriormente, nuevas moscas. Por el contrario, el pedazo de carne del vaso cubierto permaneció intacto (De Kruif 2006). Este fue el primer experimento que trató de demostrar la falacia de la generación espontánea.

Más tarde, en el siglo xviii, Lazzaro Spallanzani reafirmó la desmitificación de la generación espontánea con los primeros ensayos de esterilización. Por esos días, John Turberville Needham, un clérigo inglés, había hecho experimentos en los que concluía, erróneamente claro está, que del caldo de carnero emergían animales microscópicos de modo espontáneo. Spallanzani, que se dice gozaba con la destrucción de las ideas contrarias a las suyas, montó todo un arsenal de experimentos en los que probaba que los experimentos de Needham adolecían de errores metodológicos que lo llevaron a concluir mentiras. La serie de experimentos de Spallanzani consistían, en lo básico, en hervir durante mucho tiempo el caldo y en sellar herméticamente los recipientes donde los disponía. Una descripción más detallada se puede encontrar en el bellissimo libro de Paul de Kruif (2006), *Los cazadores de microbios*. Los experimentos de Spallanzani dieron pie a que las ideas de generación espontánea se debilitaran mucho, preparando el panorama para Pasteur un siglo más tarde.

Así las cosas, Louis Pasteur dio un contundente golpe a la ya agonizante generación espontánea con su famoso experimento (Brack 1998). El momento cumbre de su descubrimiento lo representa la conferencia que dio en 1864 en el marco de las veladas científicas de La Sorbona. Uno de los pasajes más importantes se reproduce a continuación:

Coloco una porción de esta infusión de materia orgánica en un recipiente de cuello largo, tal como este. Supongamos que hago hervir el líquido y que después lo dejo enfriar. Al cabo de algunos días, tendrá mohos o animalculos infusorios desarrollados en el líquido. Haciéndolo hervir, he destruido los gérmenes que podían existir en el líquido y en la superficie de las paredes del recipiente. Pero, como esta infusión se encuentra de nuevo puesta en contacto con el aire, se altera como todas las infusiones.

Ahora supongamos que repito esa experiencia, pero que antes de hacer hervir el líquido, estiro con la lámpara de esmaltador el cuello del matraz, de forma que resulte adelgazado, dejando, sin embargo, abierta su extremidad. Hecho esto, llevo el líquido del matraz a la ebullición, después lo dejo enfriar. Ahora bien, el líquido de este último matraz quedará completamente inalterado, no dos días, ni tres, ni cuatro, ni un mes, un año, sino tres, cuatro años, pues, la experiencia de que hablo ha durado ya este tiempo (Pasteur 1964 15).

Con este experimento, sencillo, pero contundente, Pasteur puso en evidencia la falacia de la generación espontánea y comprobó que todos los seres vivos necesitan germen para formarse.

Aunque Pasteur parecía haber concluido con el mito de la generación espontánea, todavía quedaba un episodio más, poco conocido, pero real, que refleja cómo el orgullo científico y el reduccionismo más extremo pueden llevar a conclusiones erróneas. En el primer cuarto del siglo xx, Alfonso Herrera López (1932), científico mexicano, puso todos sus esfuerzos en el desarrollo de la plasmogenia, una presunta ciencia experimental que pretendía crear vida en el laboratorio. Tal era su orgullo que llegó a proclamar que su plasmogenia era “la nueva ciencia del origen de la vida” y, además, afirmó, exhibiendo un reduccionismo nocivo para la ciencia, que: “Vivir es realizar una función física y química. Nada más”. De otro lado, siempre mantuvo una actitud altiva contra la Iglesia y contra Pasteur, por ser abiertamente creyente, cruzando el límite de la desfachatez. Tal actitud altanera contra los pensadores creyentes no podía dejar más en evidencia su desconocimiento de la historia

de la ciencia, pues la esta cuenta con grandes exponentes creyentes. Gregor Mendel, Miguel Servet, Nicolás Copérnico, Max Planck y James Clerk Maxwell son dignos ejemplos. Aún más, la mayor parte de los científicos que han existido son cristianos.

Lo paradójico de este fallido intento de sintetizar la vida en el laboratorio fue el hecho de que un religioso, el padre Jaime Pujiula, biólogo y jesuita español, puso punto final a tal despropósito. El episodio de la plasmogenia es una continuación necia del paradigma de la generación espontánea, pues, filosóficamente hablando, la creación artificial de la vida sería verdadera generación espontánea, esto es, vida sin preceder germen de vida (Pujiula 1921). En su entrada “Plasmogenia”, aparecida en la *Enciclopedia Universal Ilustrada Europeo-Americana*, el padre Pujiula desmonta todos los intentos de sintetizar artificialmente la vida haciendo un análisis juicioso de las diferencias estructurales y fisiológicas de los artefactos obtenidos en el laboratorio –principalmente utilizando técnicas de crecimiento osmótico– y las células de los vivientes que intentaban emular (Pujiula 1921). Sus críticas fueron la estocada final de la generación espontánea. Ahora bien, hace poco, se ha visto un libro sobre la obra de Herrera (Cleaves et ál. 2014), amén de la de otros entusiastas de la plasmogenia, que no alude a las críticas del padre Pujiula, lo cual constituye un sesgo indeseable.

Ahora, retomando la idea de germen, se puede leer en el siguiente pasaje de Bartolomé y Marcos (2010) que Aristóteles define dos tipos de germen, los cuales se relacionan con su ya expuesto hilemorfismo y con la teoría de las potencias.

Pero aún antes que el germen está aquello de lo cual es germen, pues el germen es un devenir y el fin una sustancia. E incluso antes que ambos está aquello que da lugar al germen. Pues hay dos tipos de germen: germen de aquello de que proviene y germen de aquello a que dará lugar. En efecto, está el germen como producto del ser del cual proviene, por ejemplo de un caballo, y el germen como principio del que surgirá a partir de él, por ejemplo, de un mulo. Se llama igual en los dos casos, pero no es lo mismo. Además el germen es en potencia algo, y conocemos la relación entre potencia y acto (Bartolomé & Marcos 2010 104).

La dinámica que propone Aristóteles aquí es una especie de cadena causa-efecto. En primer lugar, se habla de un progenitor, luego del germen del progenitor y, finalmente, del germen del ser al cual dará origen el progenitor; todos se acogen bajo el mismo concepto, pero es claro que hay notables diferencias. Lo importante aquí es identificar la conexión entre el concepto de germen y la relación acto-potencia. Como el germen es un devenir, de entrada, se puede catalogar como acto, ya que el cambio propio del devenir hace del germen un movimiento, que es acto en el sentido más estricto. Es fácil pensar que el germen es potencia, pues es lo que da origen al ser vivo que es fin y sustancia, pero, en la biología de Aristóteles, el germen es un ente material, por lo tanto, es acto. Es análogo a un embrión en las primeras fases de gestación.

En este orden de ideas, y realizando una interpretación más fresca de las aseveraciones del Estagirita, se puede proponer el siguiente esquema: en primer lugar, está la esencia del ser vivo: su ser, que puede interpretarse como la potencia, pues es esta idea la que luego pasará a ser un ente material. Ahora, aparece el germen del progenitor, que es acto. Más tarde, una vez nace el progenitor, entra en fase de desarrollo en busca de un fin, que es convertirse en un ejemplar adulto capaz de ejercer como tal, de mostrar su verdadera esencia. Luego, cuando alcanza su fase última de desarrollo y está listo para procrear, ya es sustancia, o bien, fin, y puede originar el germen de otro ser que pasará nuevamente por el mismo proceso. Este esquema funciona de maravilla si se presupone la existencia de todas las especies desde un principio, pero exhibe varios problemas si se plantea bajo la lente darwinista del ancestro común, ya que se regresaría a la típica paradoja evolutiva: “¿Qué fue primero: el huevo o la gallina?”. Sin embargo, puede aprovecharse para entender las características que diferencian a los seres vivos de los demás entes materiales, algo que logró bien el sabio macedonio.

Otro aspecto que no se puede pasar por alto es la afirmación que hace Aristóteles sobre la sangre, ya que la consideraba parte de la esencia de cada ser vivo, es decir, que la sangre diferencia a cada individuo, incluso a los de la misma especie.

Ahora bien, al comenzar el segundo libro de este tratado, Aristóteles plantea una teoría sobre la organización de la materia viva, en la cual describe con todo detalle el proceso que la materia inerte debe atravesar para convertirse en un viviente, que es precisamente uno de los problemas fundamentales de la ciencia moderna. El

Estagirita define tres tipos de composición o síntesis: en la primera, se propone una interacción de los cuatro elementos en forma de potencias, es decir, calor, humedad, sequedad y frío, para construir la materia de los tejidos con sus características particulares: pesadez, ligereza, densidad, rareza, aspereza, entre otras, las cuales dependen de la proporción en la que se mezclan las potencias. En la segunda síntesis, la materia que se produjo en la interacción previa se convierte en los tejidos propiamente dichos, es decir, en el lenguaje aristotélico, las partes homeómeras, las indivisibles como la carne y el hueso. La tercera síntesis corresponde a interacciones de las partes homeómeras para dar origen a las partes no homeómeras, esto es, a los órganos y a los miembros del organismo. Con las tres síntesis, Aristóteles desarrolla un discurso muy lúcido de fisiología y organización biológica, todo esto con una base argumentativa teleológica. Se antepone las partes homeómeras a las no homeómeras, ya que son estas las que contienen las potencias en la proporción correcta para desempeñar las diferentes funciones del organismo, y además son las unidades estructurales de las segundas, que son entelequia en su máxima expresión. Aristóteles también advierte que los animales poseen partes instrumentales y sensoriales: las primeras son no homeómeras y las segundas tienen su origen en las homeómeras, de las cuales se derivan los órganos sensoriales.

1. *Los simples*: son los cuatro elementos que se desdobl原因 en las potencias. Tierra es sequedad más frío, agua es humedad más frío, fuego es sequedad más calor y aire humedad más calor. Son los entes completamente homogéneos e indivisibles.
2. *Los compuestos*: resultan de la combinación de los cuatro elementos; son ejemplos la madera y los metales. También se denominan sustancias, pues siguen siendo homogéneos y existen de manera independiente sin necesidad de formar parte de un todo.
3. *Partes homeómeras*: como se explicó antes, son las que, hasta cierto punto, conforman sustancias uniformes y homogéneas en los organismos, y tienen funciones muy específicas; algunas son la carne, la sangre, la bilis y el semen.

4. *Estrato interfásico*: se compone de las partes de naturaleza ambigua pues se comportan como partes homeómeras y no homeómeras al mismo tiempo. Es el caso de los huesos y las venas; aunque son divisibles en partes idénticas, es decir, una parte de una vena es de naturaleza venosa y una parte de un hueso es de naturaleza ósea, no podrían desempeñar su función si no se acompañan de otras partes homólogas, esto es, constituyen un todo funcional como el sistema circulatorio u óseo.
5. *Partes no homeómeras*: se forman a partir de las homeómeras y cumplen funciones muy específicas dentro de los vivientes.
6. *Los animales*: es el compendio orgánico de las partes no homeómeras, de cuyo todo son indisociables; es el nivel más alto de organización para Aristóteles.

Es curioso que el Estagirita no incluya a las plantas dentro de sus niveles; quizá sería más preciso hablar de organismos vivos en el nivel 6 más que de animales.

Para hacer un contraste de épocas, Jorge Wagensberg (1998) propone un esquema de la organización de la materia conforme a la termodinámica irreversible, algo que él llama “breve historia universal de la materia”. El primer nivel corresponde a las partículas fundamentales, como los electrones y los no tan populares muones y piones. Estas partículas pueden encontrarse libres en el espacio, por ejemplo, en los aceleradores de partículas, o pueden hallarse formando parte de átomos, que son el segundo nivel de organización. Los elementos, salvo los gases nobles, poseen átomos aislados muy inestables, lo que lleva a formar asociaciones con otros átomos, bien sean del mismo elemento o de otro distinto. Estas asociaciones son las moléculas, que corresponden al tercer nivel. Las moléculas pueden ser muy ligeras, como las de hidrógeno, o muy masivas, como las del ADN. Ahora bien, las moléculas pueden agruparse de una manera específica y construir otra individualidad aún más compleja, la célula, que sería el cuarto nivel. Aún existen muchos interrogantes para construir el puente que relacione los niveles 3 y 4, pero se tienen suficientes evidencias para proponer un modelo en el cual intervengan la termodinámica, la teoría matemática de la información, la teoría de la evolución y la biología mo-

lecular (Wagensberg 1998; Sagan & Schneider 2008; Schrödinger 2005). Como un nivel intermedio que relaciona lo inerte con lo vivo, puede proponerse lo que Oparin (1995) llamó “coacervados”, que son asociaciones espontáneas de moléculas proteínicas que forman conglomerados lo bastante grandes como para diferenciarse del medio acuoso, lo que luego les permite intercambiar materia y energía con el medio y formar complejos de coacervados. Ahora bien, los coacervados no son seres vivos, sino entes orgánicos que exhiben características similares a las células, como la diferenciación con el medio, el intercambio de materia y energía con el entorno, así como la capacidad de asociarse y formar complejos.

Retomando los niveles de organización, las células pueden agruparse y formar un organismo, que ahora conforma el quinto nivel, en el cual se incluye desde las bacterias hasta los mamíferos superiores. En el sexto nivel aparece lo que Wagensberg denomina “sociedad familiar de una sola madre”, que admite como claros ejemplos las colonias de hormigas y abejas y los núcleos familiares sencillos de mamíferos. A partir del sexto nivel, se hace indispensable la vinculación de las ciencias humanas para el entendimiento de la vida, pues los vivientes no solo son complejos desde el punto de vista fisiológico, sino también desde el punto de vista social y cultural, algo que sería imposible de tratar sin las ciencias del hombre. Se continúa entonces con el séptimo nivel, la sociedad multifamiliar, típica de los mamíferos superiores. En el nivel más alto de la organización de la materia, está el octavo nivel, la sociedad de sociedades multifamiliares con soberanía sobre sí misma, como es el caso de un Estado, una individualidad propia de los humanos. En este punto, resulta oportuna la idea planteada por Isaac Asimov en su conocida trilogía de la *Fundación*, algo así como un noveno nivel: un imperio galáctico, cuyo sustento teórico es una nueva ciencia planteada por Asimov: la psicohistoria, basada en la ley de los grandes números para seguir la evolución de la humanidad más allá de la Tierra.

Para finalizar su discurso, Wagensberg (1998) dice que desde hace más de 10 000 millones de años hasta hace 3800 solo existieron los tres primeros niveles, es decir, la *materia inerte*. Más tarde, durante los siguientes 3000 millones de años, aparece el nivel cuatro, que constituyó el comienzo de la *materia viva*. Hace unos mil millones de años surge el quinto nivel, pero solo hasta hace unos 100 millones

de años los individuos del quinto nivel lograron tomar decisiones con base en las condiciones del entorno, esto no es más que la *materia inteligente*. Luego, después de la aparición del séptimo nivel y del amanecer del octavo, hace unos cien mil años, la materia inteligente accede al conocimiento y se convierte en la materia civilizada, la cual es capaz de volverse hacia su historia y preguntarse por su devenir.

Volviendo a la lectura de *Sobre las partes de los animales*, Aristóteles propone una visión cardiocéntrica de los vivientes, pues sostiene que, en el proceso de gestación, es el corazón el primer órgano que se forma, ya que el calor necesario para las diferentes cocciones que sufre la materia para convertirse en las partes homeómeras proviene del corazón. Define el sentido en el que se puede decir que un objeto está más caliente que otro, encontrando siete casos diferentes para hacerlo: (1) si calienta más lo que toca; (2) si produce mayor sensación de calor al tacto; (3) si funde mejor lo fundible; (4) si quema mejor lo combustible; (5) si, a igualdad de otros factores, es mayor en tamaño; (6) si se enfría más lentamente; o (7) si se calienta más rápidamente. Vale la pena detenerse en esta clasificación. Los casos (1) y (2) son básicamente indistinguibles a los ojos de la ciencia moderna. Al poner en contacto un cuerpo caliente y uno frío, debido a la diferencia de temperatura entre los dos cuerpos, se establece un flujo de calor que va desde el cuerpo más caliente hacia el más frío hasta que se alcanza el equilibrio térmico, momento en el cual ambos cuerpos poseen la misma temperatura y el flujo de calor cesa. En la medida en que la temperatura de equilibrio sea más o menos elevada, se puede decir lo mismo de la temperatura del cuerpo caliente al comienzo del proceso. En este orden de ideas, de los casos (1) y (2) se puede rescatar la protoidea de temperatura en el sentido de “cantidad de calor”, que, si bien es ambigua y demuestra una confusión entre los conceptos de calor y temperatura, es la única referencia, y, además implícita, de tal concepto en toda la obra de Aristóteles. Para la época un concepto explícito de temperatura era inexistente.

Los casos (3) y (4) representan vagas nociones de los conceptos de calor latente y calor de combustión, respectivamente. El caso (3) reconoce que algunos sólidos pueden fundirse por acción del calor, lo que es un gran acierto explicativo. Con el caso (4) es preciso ser cauteloso, pues, en la forma en que lo concibió Aristóteles, se entiende que el calor de combustión sería la cantidad de energía necesaria para que

una masa de combustible arda, cuando justamente es todo lo contrario: la cantidad de energía que libera una masa de combustible al arder. Los casos (5), (6) y (7) constituyen, en conjunto, la protoidea de calor sensible, resumida en la propiedad de la materia denominada capacidad calorífica, que, en lo básico, indica cuánta energía hay que proporcionar, o retirar, a una unidad de masa de sustancia para aumentar, o disminuir, su temperatura en un grado. En los puntos de marras, se relaciona la cantidad de calor (protoidea de temperatura), el tamaño (la masa) y el tiempo en el que ocurren los cambios. La idea de “rapidez” solo sería importante para determinar si un cuerpo tiene más o menos calor sensible (capacidad calorífica), si en un estudio comparativo los cuerpos tuviesen igual masa, igual forma, igual temperatura inicial y recibieran el mismo flujo uniforme de calor. Así, la única diferencia estaría dada por la naturaleza de los materiales que se comparan, teniendo una capacidad calorífica más elevada el que tarde más tiempo en aumentar o disminuir su temperatura. Es decir, los puntos (6) y (7) son contradictorios per se, ya que, si un cuerpo tarda un tiempo dado en calentarse de T_i a T_f tardaría el mismo tiempo en enfriarse de T_f a T_i . A pesar de que se ha demostrado la incongruencia de los puntos (6) y (7), no se puede desconocer que Aristóteles utilizó el enfoque apropiado al relacionar la cantidad de calor, la masa y el tiempo del proceso, sembrando una idea generatriz que se fue ajustando con el paso del tiempo.

Ahora, analicemos el caso de la humedad y la sequedad. Para explicar lo húmedo y lo seco, el Estagirita acude a un ilustrativo ejemplo:

Un hielo y todo líquido helado se denomina seco en acto y por accidente, aunque en potencia y en sí mismos sean líquidos; por otro lado, la tierra, la ceniza y sus semejantes, mezcladas con un líquido, son, en acto y por accidente, húmedas, pero en sí mismas y en potencia, secas (Bartolomé & Marcos 2010 140).

La conclusión más básica que se puede extraer del pasaje anterior es la de que Aristóteles relacionaba la humedad con la presencia de líquidos y la sequedad con la ausencia de ellos. Esto es de fácil sometimiento a prueba empírica y, seguramente, fue la vía que él utilizó para establecerlo. Dice el Estagirita que el hielo es “seco en acto

y por accidente”, pues, en condiciones ambientales, “en potencia”, es agua líquida. En el caso particular del agua, Aristóteles parecía tener bastante claro que al enfriarla podría esta transformarse en hielo. Análogamente, realizando una comparación entre la nutrición y la lluvia dice: “... al elevarse el vapor de la tierra y ser llevado por el calor a lo alto... (Bartolomé & Marcos 2010 152)”. Con esto queda claro que era consciente de los cambios de fase del agua en condiciones ambientales estándar. Además propone un esquema de secado de sólidos por evaporación para explicar la naturaleza terrosa del cerebro, como se aprecia en el siguiente pasaje:

Que el cerebro está compuesto de agua y tierra, lo demuestran las circunstancias siguientes: cuando se cuece se vuelve seco y duro y al evaporarse el agua por la acción del calor, queda la parte terrosa, como cuando se cuecen las legumbres y otros frutos, ya que en su mayor parte son de tierra y una vez que se ha ido el líquido mezclado con ellos, estos también se vuelven duros y totalmente terrosos (Bartolomé & Marcos 2010 153).

En este sentido, Aristóteles atinó bastante en las condiciones típicas para las cuales se logran cambios de fase en el agua. Estas ideas, junto con el caso (3) de la comparativa entre cuerpos calientes descrito, demuestran una relación acertada entre el calor y los cambios de fase.

En este punto, es preciso aclarar que la humedad en Aristóteles siempre tiene su origen en el agua. Él consideraba que un líquido era tal debido a su composición mayoritariamente acuosa. Si bien incluía el agua como uno de los elementos constitutivos del cosmos, además de ser generadora de una de las potencias fundamentales formadoras de la materia, no reconoció su importancia para la vida más allá de ser parte constituyente de los vivientes.

La explicación de las potencias y los elementos en el marco de la fisiología de Aristóteles desempeñan un papel importante para entender los procesos de cocción del alimento y la generación de las partes homeómeras. En la descripción de la digestión, muestra nuevamente su lucidez argumentativa y sus aciertos parciales en fisiología:

La elaboración del alimento es propia de muchas partes. En efecto, la primera operación visible en los animales se efectúa mediante la boca y sus partes, donde el alimento tiene que ser troceado. Pero esta operación no causa ninguna digestión sino que más bien, la posibilita. Pues la división del alimento en pequeños trozos facilita bastante la acción del calor. La función de la cavidad superior e inferior es realizar la digestión con ayuda del calor natural (Bartolomé & Marcos 2010 141).

El calor al que hace referencia proviene del corazón, que transforma el alimento triturado, que se encuentra en el estómago, en la sangre gracias a un primer proceso de cocción. Posteriormente, una serie de cocciones sucesivas transforman la sangre en otras partes homeómeras. Es claro entonces que la sangre es pieza vital de la fisiología aristotélica, pues, en dos palabras, es la responsable de materializar todas las partes del organismo con la ayuda del calor del corazón y de la interacción entre las potencias. Incluso, atribuye a la sangre la razón de las diferencias comportamentales de las diferentes especies y tipos de vivientes, lo que podría interpretarse como una rudimentaria teoría sobre la herencia. La siguiente cita muestra esto claramente:

La naturaleza de la sangre es causa de numerosas diferencias, no sólo en el temperamento de los animales sino también, razonablemente, en su sensibilidad, pues es la materia del cuerpo entero. En efecto, la nutrición es materia y la sangre es la nutrición última. Por consiguiente, existe una gran diferencia si la sangre es caliente o fría, fina o espesa, turbia o clara (Bartolomé & Marcos 2010 145).

Para el Estagirita, la sangre da identidad a los vivientes, los animales de sangre fría son temerosos mientras los de sangre caliente son temerarios. Así las cosas, sin percatarse, dibujó un primer, y rudimentario, boceto de la biología molecular, pues las potencias harían las veces de componentes del material genético (nucleótidos) con la información necesaria que lleva los pormenores de la morfología y la fisiología de cada organismo, incluyendo también patrones etológicos. Es claro que se trata de

un pequeño indicio, ya que para la consolidación de la biología molecular hicieron falta la teoría celular, así como las tecnologías asociadas con la microscopía y con las pruebas bioquímicas con marcadores radiactivos, sin ir más lejos. No obstante, es interesante notar que para ese entonces Aristóteles ya pensaba que las características de los seres vivos provenían de ciertos procesos que ocurrían en su interior y que la proporción de las potencias que constituían la sangre estaba directamente relacionada con el tipo de animal y su comportamiento.

Ya se habló del corazón y la sangre, y se hizo especial énfasis en su papel en la fisiología aristotélica. En secciones anteriores, se discutió la función errónea que el Estagirita atribuyó al cerebro al considerarlo como un mero órgano de refrigeración que contrarrestaba el calor producido por el corazón. En el siguiente pasaje, se observa la ley de compensación de calor que Aristóteles utiliza como argumento para detallar la anatomía básica del sistema nervioso central:

Muchos piensan que el cerebro es la médula y el principio de la médula porque ven que la médula espinal es contigua a él. Sin embargo, su naturaleza es, por así decir, totalmente opuesta, pues el cerebro es la parte más fría del cuerpo, mientras que la médula es de naturaleza caliente. Lo demuestra su untuosidad y su grasa. La espina dorsal es contigua al cerebro porque la naturaleza siempre procura asociar los contrarios para compensar el exceso de cada uno, para que el exceso de uno iguale al del otro (Bartolomé & Marcos 2010 149).

Al ser el cerebro la parte más fría del cuerpo, no basta con el calor producido por el corazón para alcanzar un balance orgánico. Tal vez Aristóteles consideró que, al no estar contiguos el corazón y el cerebro, el calor producido en el primero no llegaba con la suficiente intensidad al centro frío, por lo que alcanzar el equilibrio calórico del organismo requería de partes calientes cerca del cerebro y por esto otorga a la médula una naturaleza caliente. Además, recordando su esquema axiológico, no se debe perder de vista que gran parte del calor del corazón se utilizaba para amortiguar lo siniestro del lado izquierdo. Aquí es preciso aclarar que no hay registro escrito de cuantificación de calor por parte de Aristóteles en toda su obra; su ley de compensa-

ción es meramente cualitativa, fundamentada en ideas preconcebidas. Al menos un intento juicioso de la cuantificación del calor por parte del Estagirita hubiera vuelto las tornas respecto a muchas de sus afirmaciones. Aunque la determinación errónea de las funciones del cerebro y el corazón —ni el corazón es el centro caliente, ni el cerebro el centro frío— fue un obstáculo epistemológico que dificultó el desarrollo de la medicina, la ley de compensación que lleva a Aristóteles a tal yerro pudo haber sido de vital importancia en la consolidación del principio de conservación de la energía. En un sentido amplio, aquí chocan la medicina hipocrática y la medicina basada en incubación de sueños de tradición eleática, una colisión frontal entre la razón y la metafísica que abrió un camino estrecho para el desarrollo de una idea científica moderna, tal y como lo advertía Kingsley (2010). Desde luego, habría que hacer un esfuerzo muy grande por reconocer algo remotamente similar a la primera ley de la termodinámica en la ley de compensación aristotélica. Sin embargo, la ley de marras habla de evitar los excesos de calor y asume que hay una cantidad de calor basal que debe permanecer inalterada. Esta protoidea de equilibrio térmico, que involucra la compensación del calor corporal, fue determinante en la evolución del concepto de energía y su conservación, máxime si analizamos lo que, doce siglos más tarde, el gran médico persa, Avicena, escribe en *El canon de la medicina* sobre el efecto del ejercicio en el cuerpo:

Todos los grados de ejercicio (fuerte, débil, poco o alternado con reposo) coinciden en incrementar el calor innato. Hay poca diferencia si el ejercicio es vigoroso o débil y asociado con mucho descanso o no; en cualquier caso hace que el cuerpo se caliente, e incluso aun cuando el ejercicio debería provocar una pérdida del calor innato, eso se produce solo en una pequeña cantidad. La disipación de calor es solo gradual, mientras que la cantidad de calor producido es mayor que la perdida (Garde Herce 2005 7).

No quedan dudas de que la claridad del pasaje es impresionante, con una direccionalidad evidente hacia las consecuencias de un principio de conservación del calor, que implica disipación y acumulación. El cuerpo se calienta porque el calor

generado durante el ejercicio no se disipa completa sino parcialmente. Que Avicena hable del calor innato y continúe elaborando elegantemente la ley de compensación aristotélica acercándola a una protoidea del primer principio de la termodinámica no es casualidad, pues el médico persa tenía pleno conocimiento de la obra de Aristóteles e incluso adoptó varios elementos de su filosofía a la suya propia (Garde Herce 2005). Empero, los planteamientos de Avicena, aunque lúcidos, se quedaron en el nivel cualitativo. No fue sino hasta el siglo XIX cuando, con el desarrollo de la calorimetría de respiración, fue posible realizar mediciones confiables del calor corporal en animales, las cuales permitieron concluir que las recién establecidas leyes de la termodinámica también se extendían a los vivientes (Sierra 2012).

En síntesis, la evolución del principio de la conservación de la energía fue un proceso largo y gradual de varios siglos, una historia que incluye imperios, talasocracias, móviles perpetuos, motores hidráulicos, máquinas de vapor y revoluciones bélicas, políticas e industriales (Sierra 2012).

4. SOBRE LA LOCOMOCIÓN DE LOS ANIMALES

En esta obra, se explican las partes de los animales que posibilitan el movimiento, haciendo énfasis en las diferentes formas de locomoción: natación, reptación, vuelo, entre otras. Lo más llamativo de este tratado es la repetida referencia a ideas que evocan la teoría de la evolución biológica. En diversos pasajes, Aristóteles afirma que “la naturaleza no hace nada en vano (Bartolomé & Marcos 2010 310)” y que “la naturaleza es causante de lo mejor en la medida de lo posible (Bartolomé & Marcos 2010 169)”, dos frases en total consonancia con la teoría de la selección natural. Utiliza estas afirmaciones para dar cuenta de “seres ordenados a un fin” y “acontecimientos vinculados a seres ordenados a un fin”. Si se analiza esto desde la biología evolutiva, se encuentran interesantes correspondencias. Por ejemplo, que los rasgos de los vivientes cumplen una función específica condicionada evidentemente por las características del medio y del hábitat. También se puede hablar de rasgos secundarios vinculados genéticamente con rasgos más importantes que cumplen funciones

vitales. En la obra biológica se explica que no se trata de un bien general para la naturaleza, sino para cada animal, ya que la finalidad de los rasgos de un animal se moldea según su entorno, pero solo favorece en la mayoría de los casos al animal; aunque no se deben perder de vista los impactos que la modificación de una especie tienen en la homeóstasis del ecosistema y en las relaciones simbióticas (Bartolomé & Marcos 2010). En resumidas cuentas, el Estagirita enmarca a la naturaleza en su teleología. La dinámica de la naturaleza se orienta a un fin que puede interpretarse como el bienestar de los vivientes, pues siempre apunta a la mejora de sus características en aras de contrarrestar las adversidades del medio.

Incluso el propio Darwin (2009) en la reseña histórica de *El origen de las especies* reconoce que Aristóteles se acercó muchísimo al concepto de selección natural cuando en su Física advirtió que la lluvia no cae ni para hacer crecer el grano ni para estropearlo y, siguiendo su estilo explicativo, acude a la analogía directa con la organización en los animales y escribe el siguiente pasaje:

Por lo tanto, ¿qué impide que las diversas partes tengan esta relación meramente accidental en la naturaleza? —como los dientes, por ejemplo, crecen necesariamente, los de delante afilados para cortar y las muelas chatas y aptas para masticar la comida; pues no fueron hechos para esto, sino que fue resultado accidental. Y del mismo modo en las otras partes del cuerpo en que parece existir adaptación para un fin. Por consiguiente, dondequiera que todas las partes de un todo se presentan como si fueran hechas para algo, se han conservado, pues, han sido constituidas apropiadamente por una espontaneidad interna; y dondequiera que las cosas no estuvieran constituidas así, perecieron y perecen todavía (Aristóteles, citado en Darwin 2009 1-2).

Darwin complementa este aparte afirmando que lo que el Estagirita decía no es otra cosa que el principio de selección natural, pero que tal descubrimiento lo hizo sin percatarse ya que sus observaciones sobre la formación de los dientes demostraban lo poco que entendió Aristóteles el principio de marras (Darwin 2009).

No obstante, en otros pasajes, Aristóteles parecía reconocer al uso como pieza fundamental en la explicación del porqué de algunos órganos:

La naturaleza otorga cada órgano relacionado con el ataque y la defensa a los únicos animales capaces de utilizarlos o que pueden utilizarlos mejor y, en especial, a los que les dan mayor uso, como el aguijón, el espolón, los cuernos, los colmillos y cualquier otro semejante (Bartolomé & Marcos 2010 180).

Darwin (2009) estableció que el uso y el desuso eran motor de la selección natural, de alguna manera decidían por las partes que se desarrollaban más y las que tendían a desaparecer. Pero, en este mismo contexto, Darwin se encontró con problemas para explicar desde la selección natural el desarrollo gradual de partes muy complejas y de partes que a primera vista no parecen cumplir ninguna función benéfica. En el primer caso está el ojo, sobre el cual Darwin se pronuncia así:

Suponer que el ojo, con todos sus admirables dispositivos para ajustar el foco a las diversas distancias, para admitir diferentes cantidades de luz y para corregir las aberraciones esférica y cromática pudiera haberse formado por selección natural parece, lo confieso francamente, de lo más absurdo (Darwin 2009 196).

Realmente es una tarea difícil establecer una serie evolutiva gradual que converja al ojo. A este respecto, el biólogo Richard Dawkins (1998) propone una ruta evolutiva para el ojo a partir del crecimiento gradual de la cavidad ocular hasta formar un globo ocular completo con un pequeño agujero (*pinhole eye*), hasta el desarrollo de lentes. Conviene señalar que la convergencia evolutiva de los ojos de los mamíferos y los cefalópodos, es decir, la llegada a una misma solución por rutas evolutivas distintas, es una prueba de que la selección natural aplica incluso en casos tan complejos como el ojo.

En contraposición, están los órganos de poca importancia aparente, pues, de entrada, estarían violando la teoría. Si la selección natural se encarga de mejorar los órganos en la medida en que sean más eficientes o útiles en determinado entorno, de manera que se garantice la supervivencia de los más aptos, y si el desuso hace que

ciertos órganos desaparezcan, entonces, ¿por qué existen órganos sin función aparente? Ni el mismo Darwin supo responder esta cuestión (Gould 2008).

En *Sobre la locomoción de los animales*, el Estagirita aplica su principio de axiología direccional, en el que la función de cada parte depende de la dirección del espacio en la que se encuentre en el cuerpo. En lo básico, Aristóteles reconocía seis dimensiones espaciales agrupadas en tres pares: superior e inferior, anterior y posterior, derecha e izquierda. La distribución espacial de las partes de los vivientes, según este esquema de seis dimensiones, está relacionada con su función. Así, la parte desde la que se produce la distribución del alimento y el crecimiento es la superior; y la parte hacia la que el alimento progresa, la inferior (Bartolomé & Marcos 2010). En las plantas, el alimento se distribuye desde la parte inferior hacia la superior, por lo que él explica que el plano biológico es distinto al plano espacial. Por tanto, las plantas tienen su parte superior biológica en la inferior espacial.

Para la locomoción de los animales, las partes anterior y posterior interactúan para producir el movimiento. Aristóteles enuncia, entonces, un principio de carácter mecánico: todo movimiento de locomoción se produce por empuje o tracción. Con estos principios básicos, concluyó que lo que se mueve siempre lo hace apoyándose en algo que le sirve de base, de manera que, si la base se retira demasiado rápido, o si esta no ejerce resistencia a lo que se mueve, básicamente no puede haber movimiento. Aquí hay un acierto interesante en materia de física mecánica.

Otro punto importante es lo concerniente a la lateralidad. Aristóteles afirmaba que los seres humanos son los seres vivos más lateralizados. Esa simple percepción del conspicuo macedonio hoy ya es un hecho: la asimetría funcional del cerebro humano gana nuevas funciones a costa de perder redundancia, mientras que permanece en un tamaño viable desde el punto de vista estructural (Bartolomé & Marcos 2010).

Para finalizar el análisis de este tratado, se analiza lo que Aristóteles decía sobre el seccionamiento y la integración de los animales. Los animales sanguíneos no pueden vivir si se les secciona en varias partes o, en su defecto, tales seccionamientos les impedirían el movimiento normal. Sin embargo, algunos animales no sanguíneos y de muchos pies pueden seguir viviendo durante largo tiempo si se les secciona en

cada una de sus partes, además de conservar el movimiento normal. Según Aristóteles, esto se debe a que estos últimos están compuestos de muchos animales que en conjunto forman un continuo (Bartolomé & Marcos 2010). En la actualidad, se sabe que esta diferencia de integración entre los animales superiores y los más simples es una de las manifestaciones del progreso evolutivo del sistema nervioso hacia una mayor centralización.

En los últimos años, se desarrolla un debate de la mano de diversos pensadores sobre si existe o no progreso evolutivo (Barahona & Ayala 1997). Uno de los defensores más fehacientes del progreso evolutivo es Jorge Wagensberg, quien resume su posición en un elocuente aforismo: “¿Qué es el progreso? No estoy seguro, pero entre una bacteria y Shakespeare algo ha tenido que progresar” (Wagensberg 2015). Por su parte, David Hull (1998) sostiene que no existe evidencia científica de tal concepto, mientras que Stephen Jay Gould (2008) propone un nuevo término que se desmarque del antropocentrismo inherente del concepto de progreso: noción operacional de direccionalidad.

Sin desconocer que la emergencia de los seres superiores sugiere la existencia del progreso evolutivo, la tendencia de la naturaleza hacia el equilibrio termodinámico marca una ruta en la que al final de cuentas el progreso pierde todo sentido. Por otro lado, también puede decirse que la evolución se da tanto por competición como por colaboración o simbiosis. Tal idea la aterrizó Lynn Margulis con la *teoría endosimbiótica*, en la que propone que las mitocondrias y los cloroplastos eran procariotas de vida libre antes de ser asimilados por células de mayor tamaño dando origen así a las células eucarióticas (Sagan L. 1967). La idea del Estagirita de que cada animal inferior es un agregado de varios colaboradores no plenamente integrados (simbiontes), mientras que los superiores son más unificados, da luces de ideas evolutivas muy primitivas. No obstante, como advirtió Darwin, seguramente son concepciones de las que el sabio macedonio nunca captó realmente su trascendencia (Marcos 1992).

5. CONCLUSIONES

Tras un recorrido por dos de los tratados más importantes de la obra biológica de Aristóteles, se han detectado diversas protoideas en materia de termodinámica y evolución. Las potencias que tanto utilizó el Estagirita en su fisiología son una idea primitiva del concepto de gradiente físico-químico. En lo atinente al calor innato producido dentro del cuerpo humano, Aristóteles comenzó a moldear conceptos clave en termodinámica como temperatura, calor sensible y latente y, de manera más vaga, el concepto de capacidad calorífica. Sin duda, su mayor acierto fue la ley de compensación de calor que, si bien estaba aún muy alejada del primer principio de la termodinámica, sentó un precedente valioso. No se puede perder de vista que Avicena, siguiendo los lineamientos de Aristóteles, da con una versión mucho más clara y elaborada de la ley de compensación del calor, más cercana al principio de conservación de la energía.

En cuestiones de biología evolutiva, se rescata el diálogo entre la necesidad absoluta y la necesidad hipotética como un medio de justificación de las funciones de las partes de los vivientes. La idea de uso es central en la obra biológica, aunque Aristóteles no la reconozca como motor de la evolución, sino más bien como la causa final de las partes de los animales. Así mismo, la insinuación de la selección natural, si bien intuita casi por casualidad, fue un acierto reconocido por el mismo Darwin. Los niveles de organización de la materia viva en términos de las potencias también constituyen una protoidea de materia jerarquizada, fundamental en el entendimiento de las bases moleculares de la vida. Otro punto importante es la idea de progreso evolutivo, evidente cuando Aristóteles otorga la categoría de superiores a los animales sanguíneos y propone que estos son más integrados que los no sanguíneos.

En cuanto a obstáculos epistemológicos relacionados con los vivientes, la obra biológica tiene tela para cortar como se demostró en este artículo. Sin embargo, los dos más importantes, que significaron un estancamiento científico que duró siglos, fueron el cardiocentrismo y la generación espontánea.

TRABAJOS CITADOS

- Aquino, Santo Tomás de. *Suma de teología*. Madrid: Biblioteca de Autores Cristianos, 2001.
- Barahona, Ana y Francisco J. Ayala. “El progreso biológico”. *Arbor* 158.623-624 (1997): 251-268. <<https://doi.org/10.3989/arbor.1997.i623-624>>.
- Bartolomé, Rosana y Alfredo Marcos. *Aristóteles: Obra biológica (traducción de los tratados De Partibus Animalium, De Motu Animalium y De Incessu Animalium)*. Madrid: Luarna, 2010.
- Brack, André. “Introduction”. *The Molecular Origins of Life: Assembling Pieces of the Puzzle*. Cambridge: Cambridge University Press, 1998. 1-10.
- Bustamante, Jesús. “La biblioteca como microcosmos de papel”. *Madrid, ciencia y corte*. Eds. Antonio Lafuente y Javier Moscoso. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1999. 171-175.
- Candel, Miguel. “Ser, verdad y misterio: El poema de Parménides”. *Disputatio. Philosophical Research Bulletin* 5.6 (2016): 93-121.
- Cleaves, Henderson James et ál. *Herrera’s ‘Plasmogenia’ and Other Collected Works: Early Writings on the Experimental Study of the Origin of Life*. New York: Springer, 2014.
- Darwin, Charles. *El origen de las especies*. Madrid: AKAL, 2009.
- Dawkins, Richard. *Escalando el monte improbable*. Barcelona: Tusquets, 1998.
- De Kruif, Paul. *Cazadores de microbios*. México D.F.: Nueva Fénix, 2006.
- Estrada Esquivel, Noé Héctor. “Consideraciones filosófico-científicas de tres filósofos presocráticos”. *Ciencia Ergo Sum* 7 (2000): 300-307.
- García Gual, Carlos. *Introducción a la traducción al español de HA*. Madrid: Gredos, 1992.
- Garde Herce, Gabriel. *Canon de Avicena: traducción de apartados 332-399*. <http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/histologia/canon_de_avicena.pdf>.
- Gould, Stephen Jay. *Dientes de gallina y dedos de caballo*. Madrid: Drakontos Bolsillo, 2008.

- Herrera, Alfonso. “La plasmogenia, nueva ciencia del origen de la vida”. *Cuadernos de Cultura* 6 (1932). <<http://www.uv.es/orilife/textos/Plasmogenia.pdf>>.
- Hull, David. “Progreso panglossiano”. *El progreso: ¿un concepto acabado o emergente?* Barcelona: Editorial Tusquets, 1998. 107-130.
- Kauffman, Stuart. *Investigaciones*. Barcelona: Tusquets, 2003.
- Kingsley, Peter. *En los oscuros lugares del saber*. 2.a ed. Girona: Atalanta, 2010.
- Lewes, G. E. *Aristotle: A Chapter from the History of Science*. Londres: Smith, Elder and Co., 1864.
- Marcos, Alfredo. “Teleología y teleonomía en las ciencias de la vida”. *Diálogo Filosófico* 22 (1992): 42-57.
- _____. “Invitación a la biología de Aristóteles”. *Thémata. Revista de Filosofía* 20 (1998): 25-48.
- Mejía, Orlando. *Medicina antigua: de Homero a la peste negra*. Bogotá: Punto de Vista Editores, 2018.
- Monod, Jacques. *El azar y la necesidad*. Barcelona: ORBIS, S.A., 1970.
- Morales Ripalda, Lydia. “Nido de águilas”. *Un dios en el origen de la cultura occidental: Apolo y los oscuros lugares del saber*, 2016. <<https://nidodeaguillasblog.wordpress.com/2016/03/19/un-dios-en-el-origen-de-la-cultura-occidental-apolo-y-los-oscuros-lugares-del-saber/>>.
- Mosterín, Jesús. “Aristóteles”. *Historia de la filosofía*. Vol. iv. Madrid: Alianza, 1984.
- Oparin, Alexander. *El Origen de La Vida*. Bogotá: Panamericana Editorial, 1995.
- Pasteur, Louis. “La generación espontánea”. *Veladas científicas de La Sorbona*. París: Emecé, 1864. 257-265. <<http://www.valencia.edu/>>.
- Popper, Karl. *El mundo de Parménides: ensayos sobre la ilustración presocrática*. Barcelona: Paidós, 1999.
- Pujiula, Jaime. “Plasmogenia”. *Enciclopedia Universal Ilustrada Europeo-Americana*. Barcelona: Hijos de J. Espasa Editores, 1921. 454-463. <<http://www.uv.es/orilife/textos/Plasmogenia.pdf>>.
- Rosa García, Laura Nuño de la. *Historia filosófica de la idea de forma orgánica: del hilemorfismo aristotélico a la microanatomía celular*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid, 2005.

- Sady, Wojciech. "Ludwick Fleck". *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. *Metaphysics Research Lab*, Stanford University, 2017. <<https://plato.stanford.edu/archives/fall2017/entries/fleck/>>.
- Sagan, Dorion y Eric Schneider. *La termodinámica de la Vida*. Barcelona: Tusquets, 2008.
- Sagan, Lynn. "On the Origin of Mitosing Cells". *Journal of Theoretical Biology* 14.3 (1967): 225-274. <[https://doi.org/10.1016/0022-5193\(67\)90079-3](https://doi.org/10.1016/0022-5193(67)90079-3)>.
- Schneider, Joel Sebastián. "El nacimiento de la ciencia en los presocráticos". *CEMA Working Papers: Serie Documentos de Trabajo* 304 (2005): 1-29. <http://www.ucema.edu.ar/u/jschneider02/Trabajos_de_investigacion/Joel_Schneider_Presocraticos.pdf>.
- Schrödinger, Erwin. *¿Qué es la vida?* Salamanca: Textos de Biofísica, 2005.
- Sierra, Carlos Eduardo. *Orígenes, evolución y consolidación del principio de conservación de la energía*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, 2012.
- Sierra Cuartas, Carlos Eduardo de Jesús. "Circular 947, Red de Astronomía de Colombia". *Viajeros medievales: relectura del poema de Parménides* (2018): 2-5.
- Wagensberg, Jorge. "El progreso: ¿un concepto acabado o emergente?". *El progreso: ¿un concepto acabado o emergente?* Barcelona: Tusquets, 1998. 17-54.
- Wagensberg, Jorge. "El Progreso" *Aforismos*. El País, 30 Jan. 2015, Madrid. <https://elpais.com/cultura/2015/01/28/babelia/1422465947_311770.html>

PLURALIDAD CIENTÍFICA Y EVALUACIÓN DE RIESGOS: NUEVOS ARGUMENTOS EN EL DEBATE MONISMO VS. PLURALISMO EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA*

SCIENTIFIC PLURALITY AND RISK ASSESSMENT: NEW ARGUMENTS IN THE MONISM-PLURALISM DEBATE IN PHILOSOPHY OF SCIENCE

NAHUEL PALLITTO

Instituto de Filosofía Dr. Alejandro Korn,
Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires – CONICET
Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.
nahuelpallitto@gmail.com

RESUMEN

Las ciencias exhiben intereses, valores, lenguajes, metodologías, representaciones, teorías y ontologías múltiples y plurales. Este reconocimiento ha dado origen en la filosofía de la ciencia al debate monismo vs. pluralismo, arena en la que disputan posturas que valoran negativa o positivamente la pluralidad. En términos generales, los argumentos esgrimidos de un lado y otro se nutren de consideraciones metafísicas o epistemológicas. El objetivo de este trabajo es incorporar al debate argumentos de tipo ético, exhibiendo que, en contextos de intervención científica, cómo se concibe la pluralidad repercute de forma directa en nuestra percepción de los riesgos asociados a determinada intervención.

Palabras clave: epistemología; conocimiento científico; controversia filosófica; intervención; ética.

* Este artículo se debe citar: Pallitto, Nahuel. "Pluralidad científica y evaluación de riesgos: nuevos argumentos en el debate monismo vs. pluralismo en filosofía de la ciencia". *Rev. Colomb. Filos. Cienc.* 19.39 (2019): 123-146. <https://doi.org/10.18270/rfc.v19i39.2825>