

# DISCURSO INAUGURAL

LEÍDO EN LA  
SOLEMNE APERTURA DEL CURSO ACADÉMICO  
DE 1914 A 1915

ANTE EL CLAUSTRO

DE LA

# UNIVERSIDAD DE BARCELONA

POR EL DOCTOR

D. EDUARDO ALCOBÉ Y ARENAS

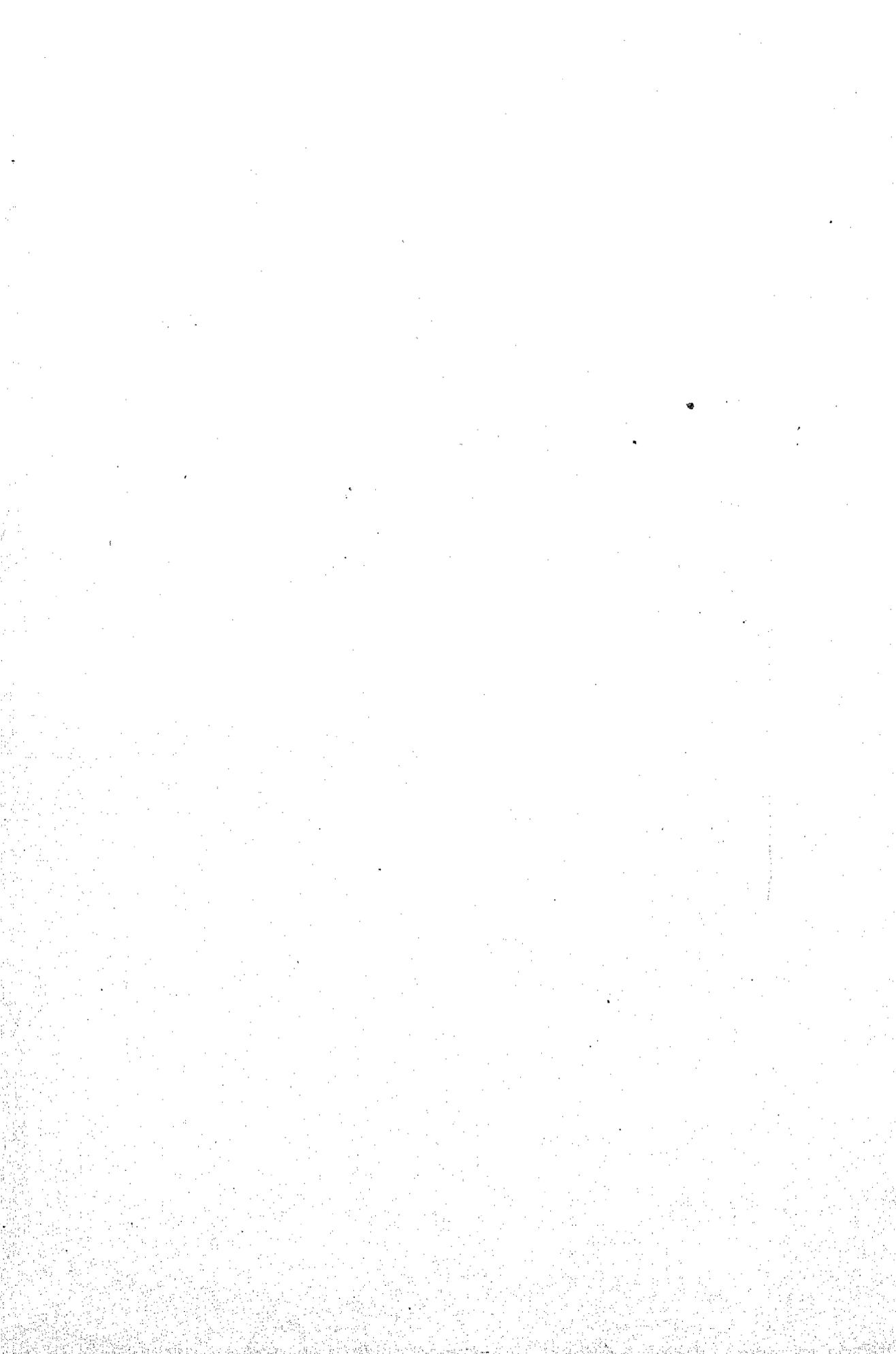
CATEDRÁTICO  
DE LA FACULTAD DE CIENCIAS



BARCELONA

TIPOGRAFÍA LA ACADÉMICA, DE SERRA H<sup>nos</sup> Y RUSSELL  
RONDA UNIVERSIDAD, 6 : TELÉFONO 861

1914



## DISCURSO INAUGURAL



# DISCURSO INAUGURAL

LEÍDO EN LA

SOLEMNE APERTURA DEL CURSO ACADÉMICO

DE 1914 A 1915

ANTE EL CLAUSTRO

DE LA

# UNIVERSIDAD DE BARCELONA

POR EL DOCTOR

D. EDUARDO ALCOBÉ Y ARENAS

CATEDRÁTICO

DE LA FACULTAD DE CIENCIAS



BARCELONA

TIPOGRAFÍA LA ACADÉMICA, DE SERRA H<sup>NOS</sup> Y RUSSELL

RONDA UNIVERSIDAD, 6 : TELÉFONO 861

1914

BIBLIOTECA DE LA UNIVERSITAT DE BARCELONA



0701725665



ILUSTRÍSIMO SEÑOR.

SEÑORES :



Para realzar la solemnidad académica del día 1.º de octubre, contribuyera, como en tantas otras fiestas, el tañido de campanas tocando a gloria al ser alegremente volteadas, entre las estridencias del repique rara vez dejarían de percibirse algunos sonidos graves, lúgubres y funerarios. Asimismo: la obligada oración inaugural propia del acto que hoy celebramos, excepcionalmente carece de un párrafo necrológico, homenaje debido al compañero que durante el finalizado curso académico rindió el ineludible tributo a la muerte.

¡No me ha cabido la suerte del caso excepcional! Pero sí es singular que el llorado compañero, de hallarse hoy entre nosotros, ocuparía precisamente esta tribuna. Me refiero al que fué mi querido maestro, al doctor don Miguel Bonet y Amigó (q. s. g. h.) a quien correspondía, por turno reglamentario, llevar la voz del Claustro en la solemnidad que hoy aquí nos congrega. ¡Ya comprenderéis, señores, cuanto vais perdiendo en el cambio!

Fué don Miguel Bonet un dechado de virtudes, bondad y honradez, hombre de elevados sentimientos, arraigadas creencias y celosísimo cumplidor de sus deberes profesionales; de todo lo cual bien puede salir garante quien, antes de honrarse llamándole compañero, le cupo la suerte de ser alumno predilecto, sellando desde aquellos ya lejanos tiempos un afecto y una amistad perdurables. Le recuerdo, cuando siendo yo estudiante de esta misma Facultad de Ciencias, el doctor Bonet desempeñaba interinamente la cátedra de Química Orgánica, de cuya asignatura fué luego competente profesor en propiedad. No es fácil olvidar la asiduidad e interés, de día en día acrecentados, para que nosotros, sus alumnos, aprovechásemos en la difícil ciencia cuya enseñanza le estaba encomendada.

Al otorgar este debido y merecidísimo tributo al profesor y al compañero, lamento que mi verbo no corresponda a la intensidad del sentimiento; pero como en los azares de la vida — aun en ocasiones bien ajenas a nuestra profesión docente — pude apreciar que de todas las meritorias cualidades que adornaban al difunto maestro, sobresalían por igual las tres más elevadas virtudes, fe, esperanza y caridad, no dudo, no, cual es el más preciado de los homenajes a rendirle: una plegaria. En favor de su alma os la pido a todos. Otorgádsela; que desde la eternidad ha de agradecerla, estimarla y preferirla a todas las galanuras de la más elocuente peroración necrológica.

**F**ÁCILMENTE se adivina que el asunto a tratar en este discurso, modesto como mío, ha de relacionarse con los estudios a que, desde los albores de mi vida científica, he dedicado las escasas aptitudes de que dispongo. A causa de la actual organización de nuestra Facultad de Ciencias, tengo a mi cargo la asignatura de Termología; y a fe que la desempeño con gusto, habiéndome, en verdad, encariñado con el más trascendental de los capítulos concernientes a la citada disciplina: la Termodinámica. Pero no puedo, ni debo, echar en olvido que la cátedra de que soy titular es la de Física general; asignatura que aun cuando por derecho propio pertenece a la Facultad de Ciencias, siendo común a las cuatro secciones en que ésta se subdivide, es oficialmente cursada por gran número de alumnos cuya vocación les lleva en seguida hacia las Facultades de Medicina y de Farmacia. Una triste experiencia, adquirida en el transcurso de los ya numerosos años que llevo en el profesorado universitario, me ha enseñado que no pocos de los citados alumnos — aquí y en todas partes — miran con prevención, a veces con desdén y hasta con manifiesta repulsión, el estudio de esas asignaturas vulgarmente llamadas *del preparatorio*. ¡Cómo si pudiera edificarse estable edificio sin hacerlo reposar en sólidos cimientos!

Parecidas consideraciones inclinaron pronto mi ánimo a elegir un tema que, cayendo de lleno dentro de los estudios termodinámicos, objeto de mis prefe-

rencias, tuviera íntima relación, no sólo con las diversas secciones de la Facultad a que pertenezco, sino también con las ciencias médicas. Además: con motivo de celebrarse, en el próximo pasado enero, las fiestas del ciento cincuenta aniversario de la fundación de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona, me fué encomendado extractar y leer en solemne sesión, lo más sobresaliente del nunca bastante ponderado discurso con que, hace siglo y medio, un insigne médico catalán, el doctor Subirás y Barra, inauguraba la constitución oficial del citado centro científico. Es el discurso que comento un verdadero himno a los estudios físicos, encomiándolos como ineludibles y fundamentales para todas aquellas profesiones que blasonan de científicas, y muy en particular necesarios al progreso de la medicina. El recuerdo de la impresión que me causaron aquellos vibrantes párrafos, derroche de erudición y de ciencia a la vez — impresión de la que, estoy seguro, participaron igualmente muchos de los aquí presentes, congregados aquel día memorable en el salón de actos de la Real Corporación — fué nuevo acicate que me impulsó a desarrollar un tema que siendo esencialmente físico, fuera también biológico; tema que, sin pretensiones de concretar mucho, creo puede enunciarse como sigue:

#### INTERVENCIÓN DE LA TERMODINÁMICA EN LA BIOLOGÍA

Benevolencia os pido, que bien la necesito para que mi intento no sea tachado de osadía. Y no receléis que sueñe en ridículas imposiciones, entrando en terreno ajeno; pues quizás haya quien, no sin algún fundamento, lo considere vedado a todo el que no sea consumado fisiólogo. Nada de eso pretendo. En mi disertación,

permaneceré constantemente *físico*; sólo bajo su aspecto *físico*, y valiéndome por tanto de razonamientos propios de la Física, esbozaré las cuestiones biológicas a tratar; y, si por acaso, alguno creyera que avanzo más de lo prudencial en el campo de la Biología, advierto desde ahora que lo haré siempre escudado por las opiniones, por los conceptos, y aun utilizando las palabras mismas de los grandes prestigios científicos, precursores y constructores de esta encumbrada rama de la Filosofía Natural a la que tan sabiamente han bautizado con el nombre de Bioenergética.

\*  
\* \*

Todos los autores de Física, por elementales que sean sus tratados, sin que nadie les acuse de salirse de su propia disciplina, se ocupan, más o menos someramente, de algunas funciones fisiológicas, como por ejemplo la visión y la audición, del mecanismo de la fonación, llegando a veces hasta el análisis de las vocales; los hay que esbozan algo de lo que a la locomoción y en general a la mecánica animal se refiere, mientras otros se permiten añadir, además, suscitadas ideas de la calorificación, y hasta de los efectos que los agentes naturales son capaces de provocar en el organismo; todo esto, claro está, tratado desde el punto de vista *físico*. Como se ve, en estos puntos, la Física y la Fisiología, por decirlo así, se compenetran; y sin que el físico se preocupe gran cosa del fenómeno vital en sí, a éste aplica inmediatamente y sin reparo las leyes que por sus peculiares medios de investigación haya

previamente establecido ; leyes aceptadas al propio tiempo por el fisiólogo, quien, confiado, las utiliza sin recelo para profundizar, como a él compete, en el mecanismo del proceso vital que especialmente estudia. Un ejemplo bastará para justificar estos razonamientos.

Conocidas las leyes de la refracción de la luz, a nadie se le ocurre ponerlas en tela de juicio para los rayos que, atravesando los medios diáfanos integrantes del globo del ojo, en definitiva determinan la indispensable imagen retiniana. *A priori*, sin necesidad de observarla, sabe el oftalmólogo que la citada imagen es invertida respecto al objeto del cual los rayos lumínicos inmediatamente proceden ; sabe que todo defecto en la estructura anatómica o en la configuración de los medios refringentes citados, se traduce en un defecto de la visión, precisamente porque, cumpliéndose siempre las correspondientes leyes físicas, la imagen retiniana no se forma en las condiciones convenientes ; sabe, además, que no le bastan las leyes exclusivas de la Física para explicar la persistencia de las imágenes en la retina algún tiempo después de haber cesado la causa determinante, sino que a una alteración química del rojo retiniano ha de atribuir tan interesante fenómeno. Y aun no se detiene el investigador fisiólogo ; sino que, permitiéndose cierta incursión en el campo de la Psicología, quiere darse cuenta de las relaciones que haya entre los fenómenos físico-químicos que intervienen en el proceso funcional y el anímico determinantes de la sensación experimentada por el sujeto consciente.

Vemos, pues, al fisiólogo, como un agente intermedio entre el físico y el psicólogo. Del físico, toma necesariamente los principios fundamentales que han de guiarle

en el estudio de la función a que acabo de hacer referencia ; a esta, repito, aplica confiado las leyes de la materia bruta. Creyendo un día sí y otro no, en una *fuera vital* propia y exclusiva de los seres organizados, jamás podrá desentenderse de las leyes de la Energética general, y a ellas le vemos rendir culto preeminente al comenzar la investigación del fenómeno biológico ; y siempre con el bagaje de las mismas, llega a su término cuando empieza la misión del psicólogo, quien ya no puede prescindir tampoco de ellas, sino que, comprendiendo la valía del tesoro, abrazado a la Físico-química instituye esa hermosa y elevada rama del saber humano : la Psicología experimental.

Pero es lo cierto que no en todas las funciones biológicas, ni mucho menos, se ve tan claro el proceso evolutivo de la Física a la Psicología, pasando por la Fisiología. Ni siquiera el primer intercambio — el físico-fisiológico — *suele* precisarse bien definidamente más que en las llamadas funciones de relación. Digo *suele*, porque es bien sabido que las ciencias biológicas han progresado mucho en el sentido energético, y a éste podría y debería, creo yo, subordinarse la explicación de los correspondientes fenómenos, siempre que ello sea posible ; mas, hay que confesarlo : no *suele* hacerse así, probablemente porque la preparación científica de muchos de los llamados al campo de la Biología, hoy por hoy — y no es culpa suya — no responde a las exigencias de los métodos de investigación propios de la Energética.

Más afortunada en este punto ha sido la Química. Las leyes de la afinidad, con su peculiar carácter, han tomado ya carta de naturaleza dentro de la Fisiología, contribuyendo a ello no poco el innegable progreso

alcanzado desde hace medio siglo por Bioquímica, progreso a todas luces más acentuado que el de la Biofísica ; siendo de lamentar que en nuestras Universidades se haya relegado al Doctorado la asignatura de Química biológica, como si su estudio preliminar no aportara el más sólido fundamento para la explicación racional de las evoluciones manifestadas por todos los seres organizados.

Mas de este espléndido desenvolvimiento de la Bioquímica, arranca precisamente la ineludible intervención de los modernos estudios termodinámicos en la Biología; ya que, siendo la energía calorífica una manifestación que constantemente acompaña a todos los fenómenos relativos a la afinidad, si en la ciencia de la vida no puede prescindirse de los teoremas de la Termoquímica, forzosamente han de intervenir los principios de la Termodinámica, pues, en definitiva, unos y otros se refieren a recíprocas transformaciones entre el agente calor y otras equivalentes energías; las cuales, pudiendo reducirse en último análisis a un solo y primordial *abstractum*, causa universal de todos los fenómenos naturales, un día, quizá no lejano, el conjunto armónico de estos ha de verse comprendido en el más general de los enunciados, de cuya positiva verdad todas las leyes y teoremas de la Energética, inorgánica y biológica, vendrán expresados como meros corolarios.

**Q**UN cuando la Termodinámica, como ciencia físico-matemática, es relativamente una moderna disciplina, las íntimas relaciones del calor con las demás manifestaciones de la energía, fueron siempre objeto de preocupación para los físicos, pues no es posible que en tiempo alguno pasara desapercibida la constante intervención que el calor tiene en los fenómenos naturales, hasta el punto de que todos están directa o indirectamente subordinados a la temperatura de los cuerpos que experimentan la modificación. Así, pues, no es de extrañar que desde muy antiguo, el físico y el fisiólogo, cada uno desde su peculiar punto de vista, investigara acerca de la intervención del calor en los más sobresalientes fenómenos biológicos, tanto más, cuanto las modificaciones térmicas determinan las más explícitas manifestaciones de esta no interrumpida evolución a la cual llamamos vida.

Es cierto que antes de Lavoisier, apenas si hay vagas apreciaciones científicas sobre la calorificación animal; pero también lo es que ya Heráclito y Aristóteles se preocuparon de esta función; que Galieno presume tiene su origen en el ventrículo izquierdo; y que Empédocles de Agrigento, considerado como autor de la teoría de los cuatro elementos, afirma que todos ellos — y por tanto el fuego, es decir, el calor — se descubren en el hombre que vive.

Los quemiatros de los siglos XVI y XVII, resucitando en cierto modo las ideas de antiguos filósofos, entre los

cuales descuella Epicuro, y adaptándolas a los conocimientos de su época, proclaman que los fenómenos vitales, y especialmente el calor animal, son debidos a ciertas metamorfosis análogas a las fermentaciones. Van Helmon opina que el calor se genera en el corazón de los animales superiores, gracias a la reacción del azufre con cierta sal volátil de la sangre; y el célebre médico holandés, Francisco de Leboe, más conocido por su sobrenombre Sylvius, atribuye la calorificación a la eferescencia nacida del contacto entre el quilo y la linfa; de cuyas ideas participa también el profesor de Oxford, Tomás Willis.

Vienen luego los yatomecánicos, y en su Hemostática, el físico inglés Hales habla del frote de la sangre dentro del sistema vascular, como origen del calor y primordial causa de la transformación de la sangre roja en sangre negra, sirviendo la *ventilación pulmonar* — usando la misma expresión de dicho físico — para refrescar la sangre, « especialmente si está sobrecalentada por un ejercicio excesivo, lo cual acentúa el frote antes citado ».

Estas ideas, de las cuales participa el naturalista suizo Haller, son combatidas en Francia por d'Alembert, y en Inglaterra por Hunter; mereciendo ser particularmente citado en este lugar, el eminente profesor de la Universidad de Leyden, Hermann Boerhaave, quien, tratando de conciliar y resumir en un cuerpo de doctrina las diversas opiniones predominantes en su tiempo, dió la mayor importancia a la intervención del calor en las funciones fisiológicas que describía, especialmente al tratar de la digestión.

Algún tiempo después, Ackermann, en Alemania, atribuye todas las funciones vitales « a la renovación

continua del carbono, del oxígeno y del calórico, operada en el ser viviente»; y Magnus señala los fenómenos dialíticos de la respiración.

Pero el verdadero camino para llegar a una teoría estable y a verdades positivas, lo inician el físico Black y el químico Priestley : el primero, diciendo que « en los pulmones el *aire salubre* se transforma en *aire fijo* », y el segundo, al hablar del *aire desflojisticado* y del *aire fijo* en la economía animal y vegetal. Sólo les falta precisar los términos de oxígeno y gas carbónico para dar el primer brochazo a la verdadera teoría de la respiración.

Así se llega a fines del siglo XVIII, con el terreno preparado para el magno descubrimiento del químico francés Lavoisier, quien, habiendo aislado en notable cantidad el oxígeno, gas ya señalado por Priestley, sienta la inquebrantable base sobre la que han de reposar las teorías de la combustión, de su caso particular la respiración, y, como consecuencia, la calorificación.

He aquí cómo se expresa Lavoisier en su Tratado de Química :

« La respiración no es más que una combustión lenta de carbono y de hidrógeno, semejante en todo a lo que sucede en una lámpara o en una bujía encendidas; y bajo este supuesto, los animales que respiran son verdaderos combustibles que arden y se consumen. »

Pronto Lavoisier se da cuenta que el ácido carbónico exhalado en la respiración no contiene la totalidad del oxígeno absorbido, y que, por tanto, ha de existir otro fenómeno de combustión. Esta cuestión que, sin alcanzar a resolverla, con Lavoisier quedó planteada, da lugar a un estudio crítico de Hassen-

fratz, a consecuencia del cual, Lagrange, en la Academia de Ciencias de París, afirma que «localizadas todas las combustiones en el pulmón, determinarían en este órgano un desprendimiento excesivo de calor». En seguida recoge estos conceptos el naturalista italiano Spallanzani, quien, acudiendo al terreno experimental de sus investigaciones, deduce que «al parecer, la combustión tiene lugar en los capilares generales, cuando la sangre arterial se transforma en sangre venosa», de lo cual resulta que «el gas carbónico exhalado por el pulmón, no tiene su origen en este órgano : la sangre venosa es el vehículo que lo ha aportado». Estos asertos vienen posteriormente comprobados por Edwards en multitud de especies animales; y Magnus evalúa la distinta proporción de oxígeno y gas carbónico en la sangre venosa y arterial, señalando la precisa distinción entre ambas sangres.

\*  
\* \*

Antes de la época de Lavoisier, ya en los siglos xvi y xvii, físicos y biólogos se ocupan, bajo otro aspecto, de la intervención del calor en la economía animal.

El nombre de Galileo no puede faltar en ninguna historia científica. Siempre atento, este físico y astrónomo, al *movimiento* de los cuerpos — como si en su clarividencia adivinara que un día al *movimiento* habría de recurrirse en última instancia para explicar todos, absolutamente todos, los fenómenos que en el Universo se realizan — con la misma fruición y perspicacia que contempla el movimiento de los astros,

se fija en el vaivén de la lámpara de la Catedral de Pisa, para deducir de tan vulgar observación la trascendentalísima ley del isocronismo del péndulo; y como para espíritu tan escrutador no se agotan nunca las relaciones de conexión entre los fenómenos naturales, dicho isocronismo le recuerda el ritmo de la pulsación, que ya sabe tiene su origen en el corazón; y el mismo hombre que lega a las ciencias astronómicas todo un raudal de sabiduría sobre mecánica celeste, al querer darse también racional cuenta de la mecánica animal, se fija en que «la *infatigabilidad* del corazón contrasta con la *fatigabilidad* de los otros músculos», y atribuye la primera a la *especial naturaleza de su movimiento*, debida, según su expresión, «a que es la masa entera del músculo la que se da a sí misma el movimiento, como proveniente de otro movimiento ignoto»; en cuya frase aparece de lleno y bien explícita, la primera idea de la transformación de la energía en el proceso vital de los seres organizados.

A partir de Galileo, el físico ya no deja de prestar constante auxilio al fisiólogo en sus investigaciones sobre la mecánica animal. Daniel Bernoulli prosigue el camino señalado por La Hire y Camus, sobre el esfuerzo muscular; Bóuguer y Gravesande estudian el mismo asunto en los remeros de los navíos, y aunque sin alcanzar a definirlo, sus investigaciones se dirigen hacia el codiciado *máximo rendimiento*; y el matemático Euler establece las primeras fórmulas, dando la relación entre las variaciones de la velocidad y el exceso de carga, con lo cual queda iniciada la era de las relaciones cuantitativas.

En el siglo XVIII Coulomb y Schultze, conforme a su escuela, acuden constantemente a la experimenta-

ción, rectificando el primero a Bernoulli lo que pudiéramos llamar el *teorema de la fatiga*, admitiendo que ésta « aumenta con mayor rapidez cuando crece la velocidad, que por equivalentes incrementos de carga », dando, por fin, ya cabal idea del *rendimiento*, al afirmar que « para sacar el mayor partido de la fuerza animal, es preciso que el efecto dividido por la fatiga sea un valor máximo ».

Y aquí aparece de nuevo el sutil ingenio de Lavoisier — ya que a este químico es preciso confesar autor del primer método científico para calcular el mencionado rendimiento — estableciendo que « gracias al oxígeno, se desarrolla en el organismo una cantidad de calor igual al de combustión de los alimentos ingeridos ».

Prolijo, y fuera de su lugar, sería detallar, y aun sólo referir, la obra experimental de Lavoisier, los cálculos numéricos por él realizados y el cúmulo de conclusiones resultantes de los mismos; pero no conviene pasar por alto la más trascendental de aquéllas, para el objeto aquí perseguido: « En el proceso respiratorio ocurre una doble combustión, en la cual el oxígeno se reparte entre el carbono y el hidrógeno de los materiales de la sangre, produciendo, a la vez, gas carbónico, agua y calor. » Y a este enunciado cualitativo siguen las investigaciones cuantitativas, verificando una serie de experiencias con el hombre, de las cuales deduce que « el oxígeno absorbido y el gas carbónico resultante, son proporcionales al trabajo mecánico efectuado por el organismo ». Así Lavoisier sienta el primer jalón, por decirlo así, de la futura Bioenergética, concluyendo « que la *máquina animal* es gobernada por tres reguladores principales: la respiración, que

le proporciona la energía calorífica; la transpiración, que aumenta o disminuye según le convenga al organismo eliminar más o menos calórico; y la digestión, que reintegra a la sangre lo que haya perdido por la respiración y la transpiración».

Análogas ideas, aunque más vagamente, fueron expuestas por el químico inglés Crawford; pero nadie puede disputar a Lavoisier el título de primer bioenergético, que tan bien hermana con el de padre de la Química. Y sólo Dios sabe el valor del tesoro científico contenido en aquel privilegiado cerebro, cuando la cabeza que lo encerraba caía rodando bajo el filo de la guillotina, víctima de la más inicua de las acusaciones que hayan segado la vida de un genio tan colosal como inocente hombre de bien, quedando así la humanidad privada de valiosísimo legado.

¡Qué sarcasmo! ¡El hombre que instituye los más preciados fundamentos de la ciencia de la vida, sin mácula en la suya, es condenado a muerte en nombre del progreso!

Tan fecunda resultó la obra científica del desdichado químico francés, que, a partir de ella, las investigaciones bioenergéticas se multiplican sin cesar, de tal suerte, que sería larga tarea su narración, por sucinta que fuera, sobresaliendo experimentadores de positiva valía, como Dulong y Despretz, Fabre y Silbermann, Regnault, Smith, Richet, Hanriot, Ludwig, Helmholtz, Vierordt, Voit, Danilewski, Pellenkufen y tantos otros, hasta llegar al químico Boussingault, cuyo método, llamado *de los balances materiales*, siguieron luego Barral, en Francia, y el Barón de Liebig, en Alemania.

\*  
\* \*

Pero, entretanto, en el mundo científico habían hecho su aparición los principios fundamentales de la Termodinámica, llamados a intervenir, directa o indirectamente, en todas las ramas de la Filosofía natural. ¡Por cierto que es bien fisiológico el origen del primero de aquéllos!

Todo el mundo sabe que, por primera vez, lo enunció el médico alemán J. Roberto Mayer; pero el hecho determinante, la última causa, que a la manera que la caída de un fruto maduro, alumbró en el privilegiado cerebro de Newton nada menos que la ley general de la gravitación universal, compendiando en un solo enunciado las primitivas leyes de Képler; el agente catalítico, por expresarlo así, que provocó en la mente de Mayer la inducción hacia su gran principio, ya no es tan conocido, o, por lo menos, tan divulgado como merece serlo. Para exponerlo aquí, bastará traducir las palabras que el fisiólogo Ernesto Onimus escribía, mediado ya el siglo pasado, ocupándose de los experimentos de Hirn acerca del trabajo mecánico verificado por el motor animal.

Así se expresa el doctor Onimus: « Al mismo Mayer se debe la aplicación de estas ideas a la Fisiología general. Contingencia curiosa: practicando una sangría, observó que la sangre venosa de los habitantes de los trópicos atacados de fiebre es algo más roja que cuando el enfermo pertenece a latitudes septentrionales, hecho que, aun cuando parezca extraño, le indujo

a enunciar la ley de la correlación de las fuerzas, admitiendo, primeramente, la transformación del calor en movimiento. Y aun cuando sería temerario afirmarlo sin alguna reserva, no puedo dejar de creer que Mayer explicaría la citada diferencia de coloración de la sangre, por la mayor velocidad de este líquido en sus correspondientes vasos, rapidez de movimiento debida a la mayor cantidad de calor disponible para la transformación.»

Un espíritu generalizador como el de Mayer no había de concretar sólo a un fenómeno biológico la transformación del calor en movimiento—hoy decimos en trabajo—ni dudar de que se cumpliría la recíproca. A la explicación termomecánica del fenómeno en cuestión, debía seguir, y siguió, un enunciado, más o menos concreto, que relacionara las recíprocas transformaciones entre el calor y el trabajo mecánico.

El primer principio de la Termodinámica quedaba establecido, y lo establecía un cirujano observando un fenómeno biológico. Luego vendrán el físico Joule y tantos otros a comprobarlo experimentalmente; fijarán el verdadero concepto de equivalencia; determinarán con escrupulosidad el valor numérico del respectivo coeficiente; y con este número y la doctrina de la cual se deriva, volverá el biólogo a experimentar en los seres vivos, gracias a lo cual alcanzará los triunfos de la moderna Bioenergética. ¡En verdad que no puede darse ejemplo más convincente de la compenetración de las ciencias de la materia bruta con la ciencia de la vida!

Pero aun más patente, si cabe, ha de aparecer enunciando, es claro que someramente, los trabajos tan in-

tensivos como progresivos llevados posteriormente a cabo por los investigadores de uno y otro bando; investigadores no rivales, sino más que amigos, hermanos, que en su insaciable anhelo por la ciencia, tanto miran al progreso de la propia, como el auxilio que pueden aportar a sus similares.

Entre los físicos, descuella en primer término la figura del ya citado Hirn, quien, después de sus determinaciones directa e inversa del equivalente mecánico del calor, se empeña en comprobar el valor numérico del mismo, valiéndose de su clásica *rueda*, en la cual emplea el motor animal como transformador termodinámico. Cierta que no logra su intento, y aun cae en disculpables errores por carecer de la necesaria precisión el método experimental por él seguido; pero ello no es óbice para que, después de patentizar los inconvenientes del método seguido primeramente por Beclard, siente la siguiente conclusión: « Cuando el individuo sujeto a la experiencia produce un trabajo externo positivo (movimiento ascensional), resultan cinco calorías menos por gramo de oxígeno absorbido; y cuando el trabajo de dicho individuo es negativo (cuando, dentro del aparato calorimétrico, desciende en vez de ascender), aparecen cinco calorías más por cada gramo de oxígeno absorbido; y el más o el menos en la totalidad del calor, guarda siempre *proporcionalidad* con el total valor del trabajo. »

Matteuci, tan aficionado a las ranas en sus investigaciones físico-biológicas, empleó dichos batracios experimentando sus contracciones musculares provocadas por una debilísima corriente eléctrica, y en su interesante trabajo concluye que « la contracción da siempre lugar a una mayor combustión en las fibras musculares,

de suerte que éstas se oxidan durante la contracción; y si se tiene habilidad para realizar determinaciones cuantitativas, se halla que el exceso de combustión del músculo en actividad sobre el músculo en reposo, *equivale*, próximamente, al valor del trabajo ejecutado por dicho músculo, a tenor del principio del equivalente mecánico del calor ».

Muy análogas conclusiones son resultado de una célebre controversia entre Béclard y Paul Dupuy, con la intervención del profesor de Breslau, M. Heindenhain, quien, imitando a Matteuci, utilizó las ranas como sujeto de sus experimentos; pero, llegando más allá que el italiano, afirmó el alemán que « en la contracción muscular se emplea casi todo el calor producido, y, por tanto, bajo el concepto de la transformación termodinámica, *el animal es el motor más perfecto* »; coincidiendo en esto con lo que más tarde ha dicho el químico Dumas: « Como a motor, cuya fuerza proviene toda de la que el carbón ardiendo suministra, el hombre es una máquina tres o cuatro veces más perfecta que la mejor máquina de vapor. Así, pues, a nuestros ingenieros tarea larga les queda aún para ejecutar. Y, sin embargo, numéricamente, resulta comprobada la mancomunidad de principios entre la *máquina viviente* y la otra; pues, teniendo en cuenta las pérdidas hasta hoy inevitables de las máquinas de fuego, pérdidas tan escrupulosamente evitadas en la máquina animal, la identidad de principios referentes a sus respectivas fuerzas se manifiesta clara y evidente ».

En posesión del cardiógrafo y del sphygmógrafo, Onimus y Viry, en un estudio crítico sobre las gráficas obtenidas con dichos aparatos, observan que « cuando el individuo sujeto a la experiencia eleva un peso a

cierta altura, los latidos del corazón son menos frecuentes que al verificar el sujeto de la experiencia idéntico movimiento, con las mismas contracciones, pero sin elevar peso alguno. Aun sin el auxilio de aparatos puede cualquiera verificar en sí mismo la siguiente instructiva experiencia : Ejecutando una rápida carrera, sobre todo cuesta arriba, o subiendo precipitadamente empinada escalera, no es durante la marcha cuando más acentuada es la sensación de calor y más copioso el sudor, sino inmediatamente después de cesar el movimiento. Mientras dura éste, gran parte del calor producido en el organismo ha de transformarse para dar lugar al trabajo mecánico realizado ; y cuando deja de verificarse, es decir, cuando el individuo se para, todo el calor que el organismo genera se manifiesta en el mismo como tal calor ».

El doctor Onimus quiso comprobar sus experiencias en distintos animales ; y observó que, provocando un enfriamiento en ciertos músculos de las ranas, al contraerse, cada vez eran capaces de elevar menor peso, a medida que más fría se mantenía la temperatura del músculo. Es decir : si el calor que el animal genera en su organismo es absorbido por un medio externo, la capacidad para producir trabajo mecánico disminuye.

Quizás estas experiencias de Onimus indujeron a Fick y a Vislicenus a calcular en sí mismos el rendimiento, cuando verificaban una ascensión al Faulhorn, apreciándolo en un 50 por 100 ; valor muy superior al calculado años antes por Helmholtz, mediante sus especiales procedimientos calorimétricos, y también a los hallados por Bert, Hanriot y Richet.

\*  
\* \*

Mientras los biofísicos progresaban en su camino con los trabajos tan brevemente reseñados, y otros tantos que en gracia a la brevedad es preciso omitir, no permanecieron ociosos los bioquímicos, que a partir de Lavoisier, no habían dejado de mano sus peculiares medios de investigación.

El ya citado Boussingault logra distinguir el oxígeno empleado en la combustión del carbono y del hidrógeno; Liebig, en Alemania, y Barral, en Francia, prosiguen los trabajos de Bonssingault; y más tarde el químico Dumas afirma que «el calor producido en el organismo, proviene únicamente de la oxidación del carbono y del hidrógeno de los alimentos o de sus reservas». Vierordt, después de numerosas investigaciones cuantitativas siguiendo el método de Dulong, admite que «el hidrógeno de la fécula y de los hidrocarburos, hallándose ya combinado con el oxígeno en igual proporción que en la molécula de agua, no debe entrar en los cálculos bio-calorimétricos».

Es claro que los resultados numéricos obtenidos por estos investigadores distan bastante de la verdad, y ello es en gran parte debido, como observa oportunamente Lefèvre «a que el calor de combustión de los alimentos ingeridos es distinto del calor de combustión del carbono y del hidrógeno que aquéllos contienen»; lo cual explica que los números calculados por Dulong, Boussingault, Helmholtz y aun por el mismo Vierordt, a pesar de la relativa perfección de sus métodos experi-

mentales, difieran en un 12 por 100, próximamente, del verdadero valor de la calorificación animal ; calor que no ha podido ser calculado con las necesarias garantías de acierto, hasta después que el eminente Berthelot hubo enunciado los teoremas fundamentales de la Termoquímica ; viéndose así nuevamente subordinado el progreso biológico, a la exactitud de los métodos y solidez de la doctrina que las ciencias auxiliares le aportan.

Marcelino Berthelot abre nueva era a las investigaciones bioquímicas iniciadas por su compatriota Lavoisier ; pero aquí no he de salirme del asunto, concretándome sólo a esbozar las referentes a la transformación calorífica que, por lo demás, son las que a mayor altura colocan el nombre del químico de las síntesis orgánicas, por discutidos y aun corregidos que hayan sido algunos de sus principios fundamentales de la Termoquímica. Tampoco se enuncian hoy las leyes electroquímicas conforme los enunció Faraday ; y, sin embargo, nadie le regatea la primacía, ni hay autor que se atreva a separar de los actuales teoremas el nombre de aquel eminente físico inglés.

El conocido teorema llamado *de los estados inicial y final*, se generaliza a toda transformación termodinámica. Imaginemos un organismo viviente, dice Berthelot, como constituyendo un sistema en el cual los *ingesta* absorbidos representan el estado inicial, y los *excreta* expulsados sean el estado final de la materia transformada en el sistema supuesto. La energía que en este entra en juego, cumplirá con el siguiente teorema :

«Durante el normal estado de reposo, el calor producido por todo ser viviente que no recibe otra energía

que la propia de los elementos ingeridos, es igual al exceso del calor de combustión de dichos ingesta sobre el calor de combustión de los excreta.»

Como la estricta aplicación de este teorema exigiría una interminable serie de determinaciones calorimétricas referentes a los ingesta y a los excreta, para cada caso particular, los bioquímicos se dedicaron bien pronto a determinar, una vez para todas, los coeficientes termoquímicos de combustión en el organismo, de cada una de las especies alimenticias. Y aun cuando esta cuestión entra de lleno en la Química biológica, y por tanto no sería pertinente continuarla aquí, no estará por demás añadir que, a consecuencia de los trabajos de Magendie, se sabe hoy que cierta cantidad de materias nitrogenadas (albuminoideas o proteicas) es absolutamente indispensable al metabolismo de la célula animal; y que, según Liebig «las substancias proteicas, además de su conocida acción plástica, tienen otra esencialmente térmica, ya que en la combustión albuminoidea, hasta llegar a la urea, hay desprendimiento de calor, resultando de esto un doble metabolismo: material por una parte, y energético por otra».

Este mismo orden de consideraciones indujo pronto a bioquímicos tan avisados como Von Noorden y Lambling, a delatar la insuficiencia del antes citado teorema de Berthelot, viéndose precisados a completarlo, sumando al exceso de calor de combustión de los ingesta sobre el de los excreta, la variación del calor de combustión que los principios inmediatos sufren durante el tiempo de la experiencia; o como dice Lefèvre «teniendo en cuenta la variación de potencial de las reservas», variación aditiva o subtractiva, según estas reservas hayan disminuído o aumentado.

Otro paso más y se llega a caracterizar un sumando de los que, en la ecuación general de la equivalencia, conjuntamente representan la variación de la energía interna durante la evolución del sistema supuesto.

\*  
\* \*

Al llegar aquí, en este breve e incompleto resumen histórico, nos hallamos ya entre los contemporáneos. Apenas hace medio siglo que la Bioenergética tiene pretensiones de ciencia autónoma, y el número y calidad de los investigadores a ella dedicados es extraordinario.

Convencidos los biólogos de la universalidad de las leyes naturales; de que estas, en realidad, no son exclusivamente físicas, químicas o biológicas, sino que, en su generalidad, se modifican — mejor diríamos, sólo cambian circunstancialmente de aspecto — a tenor de la naturaleza de los cuerpos en los cuales se desenvuelven los fenómenos, diferenciando sólo en apariencia los peculiares enunciados de las leyes en cuestión, y encerrando en el fondo el mismo principio general, pronto trataron de subordinar las manifestaciones del proceso vital a las leyes fundamentales de las ciencias físicas. Ya Berthelot, en la introducción de su Química orgánica, decía : « Durante largo tiempo se ha supuesto a los seres organizados ajenos a las leyes que rigen a los cuerpos brutos, y que las metamorfosis de su materia constitutiva estaban regidas por leyes propias y exclusivas, por fuerzas especiales y aun antagónicas respecto a las manifestadas en el reino mineral. El mismo Bufon

concebía a los seres vivos como formados de una suerte de materias esencialmente distintas de la mineral. Pero esta distinción no ha podido mantenerse frente a los resultados del análisis químico ».

Y esta verdad, referente a la constitución material, bien pronto se generalizó al otro substractum primordial que, con la *materia*, integran el concepto dinámico según el cual se considera informado el Universo real o Mundo físico : la *energía*.

Ha ya más de medio siglo, escribía el doctor Onimus : « Lo que es verdad para las partes constituyentes de los cuerpos, es igualmente verdadero para los movimientos, aun para los que tienen lugar en el seno de aquéllos ; la distinción, desde este punto de vista, establecida entre los cuerpos brutos y los seres organizados, tiende a desaparecer. Un tiempo fué que perduró la creencia de que toda ley física, por solo llevar este calificativo y verse por tanto cumplida en la materia inerte, no podía regir a la materia orgánica. Para ésta se supusieron fuerzas de diferente índole, dándose distinto nombre a fenómenos esencialmente iguales ; y, como ocurre con lamentable frecuencia, inventando un nuevo nombre, se pretendió explicar un hecho, resolver el misterio de muchos fenómenos, y hasta fundamentar toda una doctrina. Porque ciertas autoridades científicas, muy respetables sin duda, hayan discurrido en nombre de la *fuerza vital*, se ha creído al fisiólogo en posesión de la clave para explicar todos los arcanos de su ciencia ; y, sin embargo, aquellas dos palabras sólo evocan, sin ningún provecho, una suerte de causa oculta, vaga e inaccesible, que nada explica y que, en último análisis, sólo patentiza la impotencia de una presuntuosa ignorancia ».

Mientras así se expresaba Onimus, el celeberrimo profesor de la Sorbona y sucesor de Magendie en el Colegio de Francia, Claudio Bernard, a quien con justicia puede llamarse el más físico de todos los fisiólogos, escribía: « Una fuerza, cualquiera que sea su naturaleza, en definitiva no es más que otra fuerza transformada ; de igual manera que un cuerpo no puede ser más que otro cuerpo modificado o transformado ». Y en lo concerniente al tema termodinámico, añade : « La influencia del calor sobre la vida, se ve como escrita en toda la superficie del globo ».

No os alarméis, señores, que ni la índole de este discurso permite esbozar siquiera la magna obra de Bernard, gloria del pueblo que le vió nacer, ni yo puedo abrigar la pretensión de tener competencia para ello. Dumas la resume diciendo que si fuera posible apagarla con un soplo de gigante, sería como si la ciencia de la vida retrocediera diez siglos ; y su biógrafo Paul Bert, añade : « Parecía tener ojos alrededor de toda la cabeza ; y durante sus trabajos experimentales, era asombroso ver como descubría fenómenos en los cuales nadie había parado mientes. »

Con los discípulos de Bernard, entre los que descuella el físico d'Arsonval, llegamos a nuestros contemporáneos, como venía diciendo hace un momento ; y ya en este punto, es preciso deslindar bien el campo, en atención a las diversas ramas en que se subdivide la moderna Bioenergética.

Para el objeto aquí perseguido, deben citarse, en primer término, los trabajos biodinámicos de Chauveau — a los cuales habré de hacer referencia, más de una vez, en la parte doctrinal de este discurso — como origen de toda una escuela experimental, en la cual so-

bresalen los nombres de Morat, Weiss, Rubner, Laulanié, Lambling, Dastre, Lefèvre y aun el mismo Johnsson, a pesar de que este profesor sueco, con sus modernísimos experimentos utilizando la cámara de Tigersted, haya llegado a resultados que contradicen algunas de las conclusiones sustentadas por Chauveau.

Independientemente de esta escuela, investigan la termodinámica muscular, Richter, Yoteyk y Broca, Kronecker, Hermann y otros tantos profesores alemanes y escandinavos, sin que pueda quedar en olvido el nombre de la señorita Elisabeth Cooke, la cual, prosiguiendo los trabajos realizados por Ranké y Loeb acerca de la irrigación sanguínea de los músculos en actividad, descubre que, en el llamado por estos últimos fisiólogos *lavaje mecánico* que despoja al músculo de los ácidos y en general de los tóxicos generados durante la contracción, interviene también la presión osmótica; magnitud que, aun en moderados esfuerzos, a consecuencia de los desdoblamientos moleculares, aumenta su valor normal en más de una mitad.

Entre tanto no se quedan rezagados nuestros contemporáneos de allende los mares. Efectivamente: los norteamericanos experimentan en Bioenergética empleando medios que, por lo complicados y costosos, los investigadores del viejo continente no podían ni soñar en su realización.

Gracias a la munificencia del Departamento de Agricultura de Washington, el profesor W. O. Atwater y sus colaboradores Rosa, Benedict y Bryant, proyectan y construyen una instalación biologicocalorimétrica, en cuya cámara, los hombres sujetos a la experiencia, se acomodan rodeados de todo el confort moderno, para

vivir varios días allí encerrados, ejecutando las diversas operaciones encaminadas al fin de la investigación. Nada le falta al sujeto de la experiencia; habiéndose realizado las primeras empleando cuatro individuos distintos, llegados al completo estado viril y en la plenitud del normal estado fisiológico.

Sin pretensiones de describir, ni siquiera someramente, tan complicado aparato, bastará consignar que, en conjunto, viene a ser una cámara térmicamente aislada, a la vez calorimétrica y respiratoria, cuyas dimensiones permiten contener al individuo y los enseres necesarios a su cómoda instalación (cama, mesa, silla, utensilios de trabajo, etc.). Reúne, además, las circunstancias siguientes:

1.<sup>a</sup> Para que el aparato sea adiabático, todo él está protegido por los convenientes y múltiples muros mal conductores.

2.<sup>a</sup> Para que sea isotérmico, actúa en él una corriente compensadora de agua fría que, a la vez, se utiliza para medir la cantidad de calor producida en el interior.

3.<sup>a</sup> Como de dicha cantidad de calor hay una parte latente, correspondiente al vapor de agua exhalado, este vapor es recogido y luego evaluado en su totalidad.

4.<sup>a</sup> Una conveniente y necesaria ventilación renueva constantemente la atmósfera de la cámara, lo cual permite, además, medir las cantidades de oxígeno y gas carbónico que intervienen en la respiración.

5.<sup>a</sup> Para verificar el trabajo mecánico conveniente a las experiencias, hay una especie de bicicloergómetro acoplado a un disco de cobre que, girando en un potente campo magnético, transforma dicho trabajo en calor, por el conocido fenómeno llamado de las corrientes de Foulcault.

6.<sup>a</sup> Completa la instalación un regular servicio llamado de *cambios materiales*, gracias al cual, el prisionero de la cámara recibe la bien medida ración del exterior, necesaria a su alimentación, mientras que, por otra parte, hace pasar al exterior las substancias excretadas, para su indispensable análisis.

Los primeros experimentos de Atwater duraron cuarenta y tres días; resultando que: « para una energía química total de ingesta, equivalente a 469,898 calorías, el calorímetro acusó un desprendimiento de 470,470 calorías »; números lo suficientemente concordantes para que, dadas las complicaciones de la experimentación, manifiesten el principio de la transformación de la energía cumpliéndose al través del proceso vital.

Pero no contento aun Atwater, acude a nuevos perfeccionamientos, logrando que los números no sólo resulten concordantes en el conjunto, sino hasta en los petalles. Y aun más : teniendo en cuenta la actividad intelectual del individuo sujeto a la experiencia, averigua que ésta apenas influye en el resultado ; de lo cual deduce — quizá algo precipitadamente, siendo probable que, con el tiempo y después de nuevos experimentos, aparezcan algunos importantes términos de corrección — que « en todas las formas de la actividad del organismo, la cerebral inclusive, no hay más radiaciones emitidas, ni se desenvuelven otras energías, que las comprendidas en las denominaciones *calor y trabajo* ».

Así quedó resuelto el problema que se propusieron Atwater y sus colaboradores, planteado también en Alemania por Rubner en estos precisos términos : « Se trata de probar que en el organismo no hay creación ni destrucción de energía: que mediante el proceso vital, la energía recibida por el ser es íntegramente restituída.»

La escuela americana no podía dejar de tener sus émulos en la vieja Europa. En París, en el Hospital Bouciacaut, Letulle y la señorita Pompilian instalan su cámara calorimétrica, modelo Atwater, más modesta, claro está, que la original, pero con las suficientes garantías para el objeto perseguido, hasta tal punto, que un ensayo previo, puramente calorimétrico, acusó errores medios que apenas alcanzaban al  $\frac{1}{2}$  por 100.

Y no se crea que el aparato en cuestión se haya empleado sólo en experiencias con miras meramente especulativas, las cuales, por lo demás, casi no hubieran podido tener otro objeto que la comprobación de los resultados obtenidos en América por Atwater; sino que en el aparato del Hospital Bouciacaut, entran especialmente sujetos tuberculosos—de modo que es ya más patológico que fisiológico— permitiendo estudiar, en el paciente, la influencia de uno y otro régimen alimenticio sobre el metabolismo, las variaciones de peso con la superabundancia de ingesta, relacionándolas con las cantidades de nitrógeno y de carbono necesarias al aumento de aquel peso, y, por fin, la conveniente ponderación de nitrógeno y cloruro sódico en los sujetos del experimento.

Otra cámara análoga ha sido instalada en Rusia por Patushin; y a pesar de ser estos instrumentos sólo un remedo del *tour de force* experimental representado por el sin par aparato de Atwater, basta contemplar un esquema explicativo de los mismos, para quedar asombrado de los conocimientos de Física pura y de su peculiar técnica que forzosamente ha de tener quien haya de operar valiéndose de semejantes mecanismos. El calorímetro, instrumento ya delicado de por sí, se halla acoplado a ingeniosísimas disposiciones termo-

eléctricas, en puente de Wheatstone unas veces, interviniendo el método bolométrico otras, gasómetro, bombas, refrigerantes, aparatos registradores, etc. Al manejo de todo este conjunto instrumental debe estar habituado el operador, lo cual requiere no menguada habilidad, que sólo se adquiere con una práctica previa y continuada en bien provistos laboratorios de física.

¡ Hermoso ejemplo para ciertos aprendices de biólogo, que, impacientes o inquietos, repudian los estudios preparatorios! ¿ Alcanzarán jamás el fin sin utilizar los indispensables medios? Cuando el físico los ha proporcionado adecuados, con el suficiente grado de perfección, y el biólogo los ha aplicado con habilidad y conocimiento de causa, la Bioenergética ha conseguido el gran triunfo de nuestros días : ver cumplido y comprobado en el organismo viviente, el principio fundamental de la conservación de la energía.



tenor de la categórica conclusión con que finaliza el anterior bosquejo histórico acerca de la Energética animal, puede afirmarse, empleando la gráfica frase de Julio Lefèvre, que « *la energía atraviesa el ser viviente*. Entre su *forma potencial* de entrada y su última *forma cinética*, términos extremos del ciclo biológico de transformación, la energía se manifiesta en el organismo viviente por la actividad de los diversos tejidos, de los músculos, de las vísceras, de las glándulas ». A esta intermedia manifestación energética, Chauveau propuso llamarla *energía fisiológica*. La citada *forma potencial* de entrada la recibe el animal con los ingesta. La última *forma cinética* la constituyen a la par el *calor* y el *trabajo mecánico*. Como estas dos manifestaciones de la energía vienen entre sí ligadas y siempre subordinadas a las leyes generales de la Termodinámica, los biofísicos han ensayado la constitución de una *Termodinámica animal*, ciencia de extraordinaria complejidad, y, en verdad, aun sólo bosquejada.

En su desenvolvimiento es preciso, ante todo, no perder de vista que el ser viviente nunca puede ser equiparado a un sistema en *equilibrio fijo*, sino que, esencialmente, viene constituyendo, por decirlo así, un sistema en *equilibrio móvil*, atravesado — conforme quedó dicho al principio, usando una expresión figurada — por una continua corriente de energía, cuya no interrumpida evolución es precisamente lo que determina el correspondiente metabolismo vital.

Chauveau, refiriéndose al trabajo muscular, resume lo dicho en la siguiente serie de igualdades:

$$\text{Energía potencial utilizada} = \text{Energía fisiológica} = \begin{cases} \text{Trabajo externo} \\ \text{Calor desprendido} \end{cases}$$

igualdades que, empleando el lenguaje termodinámico, definen el ciclo energético de contracción dinámica en el motor biológico supuesto.

Que la comprobación experimental de las anteriores igualdades ha de ofrecer serias dificultades, no hay para qué ocultarlo; se le alcanza a todo quien se detenga a considerar la diferencia que ha de haber entre ejecutar las determinaciones cuantitativas, propias de la Física, mediante una máquina térmica, una turbina o una dinamo, y verificar iguales medidas en la complejidad de un ser organizado y vivo por añadidura. Pero no han desmayado por esto los hábiles experimentadores, sino que, multiplicando los esfuerzos y poniendo a contribución todas las sutilezas que su sagacidad les sugiriera, acudieron, en primer término, al más detenido análisis de los motores inanimados. De sus investigaciones con uno eléctrico, Chauveau deduce la ecuación que lleva su nombre (1), en la cual cada término es susceptible de determinación directa; determinaciones que, como adivina cualquier-

---

(1) Una de las formas en que suele venir expresada esta ecuación es la siguiente:

$$Q = \mathcal{T} + Q_1 + Q_2 - Q_3;$$

en la cual,  $Q$  es la energía total que entra en juego durante la contracción dinámica muscular;  $\mathcal{T}$  el trabajo efectuado (evaluado en función de su equivalente calorífico);  $Q_1$  y  $Q_2$ , respectivamente, las energías empleadas en el sortén de la carga por una parte, y en la velocidad del movimiento por otra; y  $Q_3$  la llamada energía estéril.

ra, no ha dejado de efectuar el mismo Chauveau, obteniendo satisfactorios resultados, muchos de los cuales han sido luego confirmados por G. Weiss, operando con un motor de agua. El mismo Weiss, y posteriormente Laulanié y Lefèvre, generalizan la ecuación de Chauveau al motor animado, facilitando así la directa aplicación del primer principio de la Termodinámica al transformador muscular.

En conclusión : que las manifestaciones biológicas de calor y de trabajo, en su recíproca transformación, experimentalmente comprobada, están subordinadas al principio de Mayer; lo cual, después de todo, indefectiblemente debe ser así, ya que el principio en cuestión, en definitiva, no es más que la derivación del general de la transformación de la energía a los casos en que dicha transformación es termodinámica. Y ya quedó antes sentado, que el gran principio fundamental de toda la Energética se ve cumplido en el proceso evolutivo de la materia viviente.

¿Es igualmente aplicable a dicho proceso, por lo menos como caso límite, el principio de Sadi Carnot? Esta cuestión merece ser detenidamente analizada.

\*  
\* \*

Bien sabido es de todos los iniciados en Termodinámica general, que el agente de transformación supuesto al definir el ciclo de Carnot, es un cuerpo gaseoso, es decir, materia bajo el más sencillo de sus diversos estados físicos, en el cual la homogeneidad es perfecta. Por el contrario: la transformación bioenergética ter-

modinámica muscular, se desenvuelve en un sistema extraordinariamente complejo, como lo es el correspondiente tejido, con sus fibras, sus discos, su plasma; en cuyo sistema, sólo imaginar la no interrumpida sucesión de fases alternativamente isotérmicas y adiabáticas, de compresión y expansión, atribuyéndolas a la realización del paralelogramo ciclo en cuestión, sería verdaderamente ilusorio. A todo esto, añádase que el calor biológico no procede directamente de un manantial térmico, del cual haya de tomarlo el agente de transformación, sino más bien del potencial químico de los alimentos o de sus reservas.

Mas prescindiendo de esta última circunstancia, o bien eludiéndola, aventurándose a admitir que — a la manera de un fenómeno de combustión — el potencial químico citado viene a ser como el manantial de calor que suministra directamente esta energía al músculo, algunos fisiólogos, Engelmann entre ellos, han supuesto a cada elemento histológico muscular recorriendo su correspondiente ciclo de Carnot. No es preciso analizar las contradicciones fisiológicas a que lleva semejante hipótesis, artificiosa y gratuita como la que más suficiente será decir que, aceptándola provisionalmente, partiendo del valor experimental del rendimiento y aplicándolo a la conocida fórmula que lo define en función de las temperaturas absolutas entre las cuales oscila la del agente de transformación termodinámica, Gautier y Fick han calculado que la diferencia de dichas temperaturas en los elementos integrantes del músculo que se contrae, debiera alcanzar a 103°, llegando en algunos puntos a la inverosímil temperatura de 140° de la vulgar escala centigrada; resultado no sólo opuesto a la cotidiana observación, sino también in-

compatible con el mantenimiento de la estructura histológica del ser vivo.

Algo más categórico es en este asunto el ya tantas veces citado Weiss, recordando que la expresión del rendimiento del motor térmico, establecida por Carnot, supone que la transformación del calor en trabajo tiene lugar en ciclo cerrado, y el organismo no evoluciona cumpliendo el esencial requisito de dicho ciclo; ya que los alimentos ingeridos, después de transformados, no son reconstituídos en el mismo organismo, sino, en todo caso, fuera de él, con la indefectible intervención del reino vegetal, entrando entonces directamente en juego la energía solar.

Lefèvre critica este razonamiento de Weiss, presentando ejemplos en los cuales —dejando aparte la potencialidad de los ingesta — durante el vaivén de la contracción y fijándose sólo en ésta — es decir, acortamiento y relajación — el músculo recorre un ciclo cerrado, ya que puede hacerse coincidir el estado final con el inicial. Esto se presta, ciertamente, a la más sencilla aplicación del principio de la equivalencia; pero no reúne la condición de reversibilidad, requisito esencial del ciclo de Carnot.

Efectivamente: al iniciar esta cuestión, quedó ya sentado el llamado *equilibrio móvil* del músculo, sostenido por el metabolismo energético que nunca puede anularse, ni por tanto, cambiar de signo, aunque varíe el sentido de la modificación realizada. Por otra parte: en el sistema músculo-sangre, entra en juego una energía potencial química cuya variación tampoco cambia de signo, puesto que la pérdida de potencial determinada por la tracción muscular, jamás es recuperada verificando una operación energética inversa, confor-

me viene acreditado por la cotidiana experiencia; no habiéndose observado nunca el caso de que, cediendo calor o trabajo a un organismo viviente, éste transforme dichas energías en potencial químico. A nadie se le ocurre, en efecto, nutrir un ser viviente, colocándolo junto a un foco calorífico, o apagar el hambre de un animal, comunicando una continuada sucesión de movimientos a su sistema muscular. En concreto: este motor biológico no es apto para transformar el calor en energía química, y aumentar con ésta las reservas de energía potencial.

Quizás haya quien le parezca superfluo este detenido análisis acerca de la irreversibilidad del motor muscular, pues la misma Termodinámica enseña que la transformación reversible es sólo un caso ideal, de imposible realización práctica, y que todas las transformaciones reales, sólo por ser tales, son indefectiblemente irreversibles. Pero no es menos cierto que la Termodinámica clásica aplica constantemente sus leyes a fenómenos reversibles, considerándolos como caso límite, es cierto, mas no tan lejos de la realidad que las consecuencias deducidas carezcan de inmediata aplicación a infinidad de casos prácticos. Y de esto se trata aquí precisamente: de hacer ver que, teniendo en cuenta el proceso bioenergético en su conjunto, ni como caso límite el motor muscular puede considerarse reversible, sino que es esencialmente irreversible, y, por tanto, no le es aplicable el razonamiento que compete a los sistemas cuya transformación termodinámica se aproxima a cumplir con los característicos requisitos del ciclo de Carnot.

Ahora bien: a pesar de lo expuesto, siempre que se convenga en dejar aparte el proceso bioenergético,

concretándose a la pura mecánica animal, no dejan de presentarse entonces algunos fenómenos a los que sea posible, y aun convenga, aplicar el concepto de reversibilidad. Así, por ejemplo, puede imaginarse una contracción muscular, con la cual, prescindiendo de la causa interna que la determine, el movimiento cambie de signo por una variación infinitesimal de cierta energía exterior, verbigracia, un contrapeso. Y, penetrando algo en la esencia del fenómeno calorífico, es también lícito añadir que la temperatura del músculo en actividad difiere infinitamente poco de la que tiene la sangre que por él circula. Desde estos puntos de vista, exclusivamente mecánico-caloríficos, la noción de reversibilidad es susceptible de ser aplicada a la contracción muscular. Este y otros hechos análogos, son los que han inducido a Lefèvre a sentar la siguiente conclusión :

« La energía total que entra en juego en toda transformación muscular, equivale a la suma algébrica de las energías que la integran, debidas a las acciones reversibles y a las irreversibles, consideradas separadamente unas de otras. »

No se crea, sin embargo, que aceptando como reversibles algunas acciones de la transformación muscular quede muy favorecida la probabilidad de poderla referir, en su conjunto, al ciclo de Carnot, pues a ello se opone indudablemente la carencia de períodos adiabáticos. En efecto: la más elemental Fisiología enseña que todo músculo en acción cede a la sangre, y ésta lleva al través de todo el organismo, una considerable cantidad de calor; el sistema carece, pues, de impermeabilidad térmica, y la citada comunicación calorífica es opuesta a la condición adiabática. Por el

contrario: esta misma comunicación calorífica hace que la transformación muscular sea *sensiblemente* isotérmica.

No alarmarse, que sólo digo *sensiblemente* isotérmica. ¿Quién no sabe que el ejercicio muscular determina elevación de temperatura? ¿Cómo olvidar las interesantes determinaciones cuantitativas al efecto verificadas ya por Davy y Wunderlich, luego por Forel, Marcet, Zuler, Vernet, Richter y Mosso, y últimamente por Benedict y Snell? Pero si el ejercicio es moderado, y no da lugar a alteraciones que puedan calificarse de patológicas, la constante elevación de temperatura que aquél determinaría en el músculo, viene en su mayor parte compensada por la simultánea variación del régimen de pérdida, radiación, secreciones, etc.; la misma actividad muscular acrecienta la rapidez del flujo sanguíneo, y, como antes quedó dicho, este líquido es el encargado de regular la temperatura, uniformándola más o menos, según sean las regiones, en todo el organismo viviente, que, en sus condiciones homeotérmicas y durante el régimen de trabajo, verifica de esta suerte sus transformaciones como si fueran *sensiblemente* isotérmicas.

Y esta es la última razón que excluye al ciclo de Carnot de las transformaciones termodinámicas musculares, ya que, si son isotérmicas, carecen de la indispensable *caída de temperatura*.

Algunos ensayos se han hecho para averiguar si la energía eléctrica podría ser, en el músculo, la manifestación intermediaria entre el potencial químico y las energías finales, calor y trabajo, y aun intermedia también entre estas dos últimas manifestaciones; mereciendo ser especialmente citada la hipótesis del físico d'Arsonval, fundada en la teoría de las acciones electro-

capilares, asimilando a éstas las que tienen lugar en el contacto entre los discos musculares isótropos y anisótropos. Mas estas lucubraciones, ingeniosísimas ciertamente, ni vienen apoyadas en positivos resultados experimentales, ni, aun en el terreno meramente racional y especulativo, son capaces de resistir los embates de una severa crítica.

\*  
\* \*

Pero todo el anterior análisis, ¿es de resultados absolutamente negativos?

En primer término, las condiciones de irreversibilidad e isoterma propias del motor muscular, y aun la evolución en ciclo cerrado aceptable en ciertos casos, quedan sentadas como verdades positivas; pero del mismo convencimiento de la inaplicación del principio de Carnot, interesantes consecuencias pueden deducirse. Tan grande es la fecundidad de este principio, tan universal su intervención en los fenómenos naturales, que igualmente es útil para investigar acerca de aquellos que les es aplicable, como lo es tratándose de los que a primera vista carecen de esta posibilidad. En confirmación de este aserto, bastará traducir las mismas palabras con que se expresa el actual profesor de Física teórica en la Universidad de Berlín, tenido como la más reputada autoridad contemporánea en Termodinámica.

Así dice el doctor Max Planck : « *Para toda transformación que en la naturaleza se efectúe el segundo principio nos da una relación entre las cantidades que*

competen al estado inicial y las referentes al estado final. Estos dos estados son, bajo cierto aspecto, equivalentes en las transformaciones reversibles, mientras que, en las irreversibles, ambos estados se distinguen evidentemente por cierta *propiedad*. El segundo principio enseña a conocer esta *propiedad característica*; y en el caso de que los dos estados vengan sólo dados de un modo arbitrario, predice la posibilidad de pasar del primero al segundo o del segundo al primero, etc.»

Busquemos, pues, esta *propiedad característica*, señalada por Planck en el sistema termodinámico músculo-sangre.

No sería propio de la índole de este discurso, estampar en él ecuaciones diferenciales, ni siquiera cálculos algébricos elementales. Me limitaré, pues, a recordar la clásica integral con la que Clausius generaliza el principio de Carnot a todo ciclo cerrado y reversible, generalización que aun se extiende a los irreversibles, con sólo expresar que el valor de dicha integral, en tal caso, no es igual a cero. Y partiendo de esta desigualdad, fácil es ya demostrar que, *todo sistema material, cuya transformación es isotérmica y en ciclo cerrado, necesariamente desprende calor*.

Sentado queda poco ha que el transformador muscular, en sí mismo considerado, evoluciona en ciclo cerrado, y que en régimen homeotérmico puede aceptarse la transformación como isotérmica. Nada se opone a generalizar estas condiciones al organismo entero, con tal que consideremos sólo las transformaciones termodinámicas que *en sí mismo* se verifican, excluyendo, por supuesto, el ciclo recorrido por los alimentos — ciclo que, en todo caso, se cierra fuera del

cuerpo del animal, entrando ya en funciones el reino vegetal. — Desde este punto de vista, el organismo cae de lleno en el significado del último teorema, lo cual equivale a decir que *en el animal viviente el metabolismo energético ha de tener lugar necesariamente con desprendimiento de calor.*

He aquí la *propiedad característica* de Planck, propia del sistema *organismo viviente* termodinámicamente considerado: la *calorificación*. Propiedad que en Fisiología viene a ser nada menos que la más general de todas las funciones; uno de los atributos esenciales de la materia viviente es la *termogénesis*. Desde ahora no debe considerarla el fisiólogo como mera consecuencia de continuados fenómenos de oxidación, sino que resulta ser un hecho fatalmente subordinado a la verdad demostrada que encierra el soberano principio de Carnot-Clausius; hecho matemáticamente deducido, que *es*, indefectiblemente, porque *no puede dejar de ser*, a menos que fueran mera ilusión las leyes más generales y fundamentales, según las cuales conceptuamos informado y regido el Universo entero.

Sólo este triunfo de la Termodinámica en la Biología es, en mi concepto, de tal trascendencia, que la subordinación de las investigaciones de la segunda a los principios de la primera, puede considerarse desde hoy como ineludible.

La INTERVENCIÓN DE LA TERMODINÁMICA EN LA BIOLOGÍA queda definitivamente consolidada; y se generalizará, no lo dudéis, a todos los capítulos de la Ciencia de la vida, a pesar de los reparos y pasiva resistencia de algunos biólogos, poco impuestos quizás en la Energética general, y de la opinión resueltamente contraria sustentada por ciertos atávicos autores.

Insistiendo acerca de este punto concreto de la calorificación, conviene recordar que, según la Termodinámica enseña, *en toda transformación exotérmica la energía se degrada* : nuevo punto de vista del cual podría partirse, para buscar otra demostración termodinámica que indujera a la necesidad de la termogénesis orgánica ; y en todo caso patentiza que los seres vivos, en su metabolismo energético, no escapan ciertamente al fatal principio llamado *de la degradación de la energía*.

\*  
\* \*

Poco más ha de avanzarse por el camino antes seguido, para que salga al paso la noción de entropía.

Pero, ¿es que tan abstracto concepto interviene también en la Biología?

Dice el ya citado doctor Planck : « La distinción entre los estados inicial y final, en una determinada transformación, *matemáticamente* sólo puede ser expresada por una desigualdad en la cual venga indicado que, *cierta cantidad* (fíjese el lector que ahora es *cantidad* lo que fué *propiedad* en el otro párrafo antes traducido del mismo autor) cuyo valor, dependiendo del estado instantáneo del sistema en cuestión, sea mayor en el estado final que en el inicial (podría ser menor cambiando el signo de la cantidad). De esta suerte, el segundo principio de la Termodinámica pone de manifiesto que, para cada sistema decuer pos, existe cierta magnitud cuya característica propiedad, al través de todas las transformaciones que sólo afectan al sistema, es aumentar constantemente de valor (pro-

cesos reales, y, por tanto, irreversibles); pudiendo sólo admitirse como caso límite (procesos reversibles), que dicha magnitud permanezca constante. En todo caso, Clausius la designa con el nombre de *Entropía* del sistema supuesto ».

Este razonamiento de Planck asegura, implícitamente, la intervención de una magnitud entrópica en el proceso vital. Pero de esta seguridad a la expresión analítica de la citada magnitud — sin la cual no se habría adelantado gran cosa para llegar a ulteriores y provechosas consecuencias — hay distancia a recorrer.

Efectivamente: desde el punto de vista que precisa colocarse atendiendo al razonamiento en cuestión, es claro que, aislar un proceso biológico en el complejo metabolismo del ser viviente, en absoluto, cae dentro de los imposibles. Pero no hay que desmayar: ya en otro lugar quedó sentado que, cuando el caso no se puede abordar de frente, se da un rodeo eludiendo las posibles dificultades, por cierto en el presente un tanto espinosas.

Así ha procedido últimamente Julio Lefèvre, cuyos razonamientos vienen resumidos a continuación, concretando, desde luego, el asunto al caso del transformador muscular. El citado biólogo parte de los siguientes hechos :

1.º El músculo que se contrae, desprende más calor que si, durante igual tiempo, permaneciera quieto. La cantidad de calor desprendido se considera como positiva; y, en su variación, aumenta con la magnitud de la resistencia vencida gracias a la contracción, y con la disminución de longitud experimentada por el músculo.

2.º Si el músculo se distiende, desprende menos calor que si, durante igual tiempo, permaneciera quieto.

La cantidad *en menos* de calor se considera como negativa; y, en su variación, aumenta de valor absoluto con el de la relajación experimentada por el músculo.

Teniendo sólo en cuenta estos hechos, puede asemejarse el músculo a un sistema termodinámico ordinario; y entonces basta admitir que en cada fase de la transformación el estado del sistema difiere infinitamente poco del de equilibrio, para concluir que, durante la contracción muscular, su entropía disminuye; y que, recíprocamente, aumenta durante la distensión.

Evidentemente, semejante simplicidad es ilusoria; ya que el tejido muscular en acción forma parte de un organismo viviente, y, por tanto, se halla afectado del correspondiente metabolismo. Basta recordar, en efecto, lo dicho en otro lugar respecto al *equilibrio móvil*, imposible de ser equiparado al verdadero equilibrio de los cuerpos inorgánicos. Así, pues, en rigor, tratándose de un fenómeno biológico, es indispensable tener en cuenta el metabolismo, entrando en juego, por consiguiente, una energía cuya variación es proporcional al tiempo; de lo cual resulta que el calor total producido por la modificación muscular, no sólo depende de los estados inicial y final, sino también de la duración de aquélla; cuanto más lenta sea la transformación, mayor será la cantidad de calor que intervenga.

El abstracto concepto de entropía de la clásica Termodinámica, en Bioenergética es más complejo, manifestándose como una magnitud de régimen cuya variación es función del tiempo, estando, además, constantemente ligada al estado del sistema. Esta suerte de entropía, especial de las transformaciones biológicas, refiriéndola concretamente al transformador muscular, ha recibido el nombre de *entropía muscular*.

Claro que la citada intervención del elemento tiempo implícitamente encierra la magnitud velocidad; y al suponer constante este valor, la modificación muscular se califica de *uniforme*. En tal caso, matemáticamente se demuestra que la variación de energía necesaria en cada momento para equilibrar la resistencia vencida en el acto de la contracción, depende únicamente de los estados inicial y final del sistema. Recordando, además, que en el muscular la transformación es sensiblemente isotérmica, es lícito aplicar razonamientos análogos a los de la Termodinámica clásica para determinar la expresión de la referida entropía, llegando así Lefèvre a la deseada fórmula, en la cual, implícita o explícitamente, interviene el elemento tiempo.

Logrado este resultado, cabe ya continuar con los ordinarios razonamientos termodinámicos para deducir consecuencias y hallar aplicaciones de la nueva expresión entrópica; siendo el primero y quizá el más importante de los corolarios, que «cuando el ciclo recorrido por la transformación muscular puede ser considerado como reversible y uniforme, existe una cantidad de calor *compensada*, positiva en el trabajo motor, negativa en el trabajo resistente, siempre proporcional al tiempo».

Esta última proporcionalidad que aparece manifiesta en todas las fórmulas intervenidas por la variación de entropía muscular, obliga a considerarla como una magnitud esencialmente dinámica.

De entre dichas fórmulas, merecen citarse, por su trascendencia bioenergética, las que resultan aplicando la noción entrópica al complejo sistema formado por los músculos y el aparato circulatorio; y muy especialmente las ecuaciones simétricas referentes a los tra-

bajos positivo y negativo, las cuales, traducidas al lenguaje ordinario, dice en que « al pasar de la modificación positiva a la correspondiente negativa, el trabajo y la energía compensada cambian también de signo, pero conservan su valor absoluto ».

Pasando del estado ideal reversible al real irreversible, fácilmente se comprende que éste diferirá tanto más de aquél cuanto mayor sea la rapidez de transformación; y la citada diferencia, en el fenómeno termodinámico, da lugar a cierta cantidad de calor desprendido y no compensado, tanto mayor cuanto lo sea dicha rapidez de transformación. Las ecuaciones referentes a esta suerte de transformaciones son de la forma de las correspondientes en la Termodinámica general; pero difieren siempre de ellas por la presencia del factor tiempo y la carencia del producto que define la fuerza viva.

Para terminar este delicado punto, bastará añadir que los procedimientos de cálculo seguidos en la investigación de las expresiones algébricas a que vengo refiriéndome, resultan legitimados porque, sin gran esfuerzo, de ellas se deduce la ecuación de Chauveau, citada en otro lugar; ecuación que fué planteada gracias a consideraciones de orden bien distinto; lo cual, por modo recíproco, puede aceptarse como comprobación matemática de la licitud de los razonamientos del por tantos motivos célebre fisiólogo.

Al mismo se deben los primeros trabajos experimentales para estudiar la intervención del sistema nervioso en la transformación termodinámica muscular, afirmando, en fin, que « la energía empleada en la función, aumenta con el número de excitaciones recibidas por el músculo procedentes de su nervio motor, esto es, con la frecuencia del ritmo de la contracción ». Así,

pues, a la energía calculada, considerando la transformación como puramente termodinámica, precisa añadir la debida a la acción neuromuscular ; y aceptando que ésta sea sensiblemente proporcional al número de excitaciones, viene a constituir un nuevo término positivo en el segundo miembro de la ecuación de Chauveau.

\*  
\* \*

Toda esta doctrina, aun en estado embrionario, o a lo más, en su primera infancia, ha dado ya resultados positivos en la energética muscular y en el mismo estudio de la calorificación ; habiéndose podido deducir más de veinte conclusiones trascendentales, en las cuales vienen englobadas las leyes a que, al parecer, obedecen los tres tipos del trabajo muscular, con la intervención de los correlativos fenómenos caloríficos. Ciertamente que algunas de estas conclusiones no son aun definitivas, por lo cual se les ha dado el modesto nombre de *proposiciones*; pero, más o menos modificadas, quizás en algo rectificadas, nuevas investigaciones experimentales se encargarán de ratificarlas, y, a no dudarlo, merecerán entonces el calificativo de *teoremas de la bioenergética muscular*.

Por de pronto su intervención en el estudio y expresión analítica del *rendimiento de la máquina animal*, es eficaz ; pues los resultados obtenidos mediante el cálculo, concuerdan con los deducidos experimentalmente por Atwater y sus secuaces. Es decir, que en una rama de la ciencia biológica, aun en vías de formación, se ve cumplido el desideratum de las ciencias positivas : la experimentación comprobando lo deducido mediante el razonamiento matemático.

Por cierto que, en este punto, se presenta una anomalía digna de ser citada. Al contrario de lo que ocurre con los motores inanimados, en el muscular, « el trabajo motor o resistente es tanto más económico cuanto mayor sea la velocidad del movimiento ».

Además: comparando los rendimientos parciales correspondientes a los trabajos musculares durante los períodos de trabajo motor y de trabajo resistente, pronto se vió que el primero de estos rendimientos es inferior al segundo. Y cotejando las medias aritméticas referidas a buen número de casos particulares, se ha deducido que el rendimiento del motor animado es de un 20 por 100 en el trabajo motor, y de un 40 por 100 en el resistente. Estos resultados son ciertamente sólo aproximados; pero, desde luego, permiten enunciar que « el rendimiento en el trabajo resistente es sensiblemente doble que en el trabajo motor ».

De estas conclusiones es ya fácil pasar a la producción calorífica o termogénesis correspondiente a cada tipo de trabajo. Relacionándola con el tiempo, o dicho de otro modo, determinando la cantidad de calor generado en cada unidad de tiempo, resulta una magnitud a la que se ha llamado *potencia de termogénesis*, cuyo valor en el trabajo motor es mayor que en el correspondiente trabajo resistente: la diferencia entre ambos valores aumenta con la velocidad; y no proporcionalmente a esta, sino más rápidamente, según una potencia aritmética cuyo exponente, hasta hoy, no ha sido determinado.

También han sido estudiadas la influencia que en el valor del rendimiento tienen el ritmo y la amplitud de los movimientos, las modificaciones eventuales de velocidad, y la magnitud de la resistencia vencida; siendo importante, desde el punto de vista práctico,

la siguiente conclusión : « Para transportar una pesada carga a determinada altura, se economiza energía (aumento en el rendimiento total) subdividiendo dicha carga y elevando parcial y rápidamente cada fracción resultante ». Realizándolo de este modo, y no elevando de una vez y lentamente la carga total, la economía dicha puede rebasar el 25 por 100 en las circunstancias más favorables. Así lo ha comprobado experimentalmente Chauveau, quien enuncia la proposición de este otro modo : « El trabajo muscular es tanto más económico, cuanto mayor sea la velocidad del correspondiente movimiento ». El mismo fisiólogo asegura que, entre ciertos límites (y sin llegar a la fatiga, en cuyo caso los términos resultan invertidos) « para una velocidad y trabajo determinados, el rendimiento aumenta con el valor de la resistencia vencida ».

Es circunstancia peculiar del motor animal, que no hay para qué tener en cuenta al estudiar el rendimiento de los motores inanimados, el modo de realizar el trabajo. Un ejemplo aclarará esta cuestión. En mecánica general, la suma algébrica de los trabajos realizados durante un movimiento de vaivén (por ejemplo, subiendo y bajando alternativamente un cuerpo), siendo los trabajos de ida y de vuelta iguales y de signo contrario, es nula. Pues bien : fisiológicamente no puede aceptarse esta nulidad ; porque en el motor animal, la energía empleada en el trabajo resistente es siempre una fracción de la del trabajo motor ; y, además, aunque estos, como a trabajos, sean de signo contrario, sería ilusorio, para los efectos de la economía, restar las correspondientes energías empleadas : lejos de ello, lo que debe hacerse es sumarlas. A nadie se le ocurre, en

efecto, bajar una cuesta para recuperar la energía que haya empleado al subirla.

Este ejemplo lleva como de la mano a concretar el asunto al estudio de la marcha en el hombre, lo cual ya realizó Coulomb, practicando algunas experiencias relativas al trabajo verificado cuando dicha locomoción tiene lugar en terreno horizontal; experiencias ultimamente perfeccionadas por Marey utilizando el método cronofotográfico, y completadas por los ingeniosos cálculos de Lefèvre acerca de la oscilación vertical del cuerpo. Con los resultados obtenidos, y valiéndose al efecto del cálculo vectorial, se comprende que pueden resolverse los múltiples problemas referentes a la locomoción por planos inclinados, como la ascensión a montañas, diversos ejercicios gimnásticos, etc. -

Bastan los ejemplos citados para patentizar la conveniencia de profundizar este género de estudios teóricos, paralelamente, por supuesto, al procedimiento experimental, desde luego necesario para proporcionar positivos datos al plantear el problema; y más que conveniente, indispensable, en la comprobación de los resultados obtenidos, ajustándose, de este modo, a la pauta general seguida por todas las ciencias que ostentan a la par los preciados calificativos de racional y experimental.

\*  
\* \*

El trabajo mecánico es una magnitud vectorial, en cuya expresión numérica no entra el factor tiempo. Pero esta variable independiente, tiempo, constantemente creciente durante su no interrumpida variación, en la práctica o realidad de todo lo que sea *humano* jamás puede dejarse de tener en cuenta. De ahí resulta

que, en cuanto a lo que al *motor humano* se refiere, todas las investigaciones referentes al trabajo efectuado es preciso subordinarlas inmediatamente al tiempo empleado. Más claro: lo importante, en definitiva, para el motor humano, es su *potencia*.

Para determinar esta última magnitud, se comprende que el único recurso es repetir más y más experiencias, y luego referir los resultados obtenidos, clasificándolos, agrupando el mayor número de casos que puedan considerarse comparables desde el máximo de puntos de vista que sea posible. Así, por ejemplo: el capitán Coignet, en numerosos obreros de parecidas condiciones de constitución y robustez, empleados en un removimiento de tierras llevado a cabo en las fortificaciones que rodean París, determinó una potencia media individual de 35,250 kilográmetros-hora; potencia bastante superior a las halladas antiguamente por Coulomb y Navier. Gautier, utilizando al efecto el trabajo realizado elevando una determinada masa de agua a cierta altura, deja reducida la potencia media individual a 31,250 kilográmetros-hora (algo más de kilográmetro y medio por segundo), lo que equivale a 307 kilowats-hora. Midiendo a la vez el calor producido, fué algo superior a seis calorías por minuto.

En los trabajos forzados, en ejercicios gimnásticos, y en la mayoría de los llamados de *sport*, hoy día tan en boga, la potencia del motor humano rebasa bastante los citados números, alcanzando en ocasiones hasta 150,000 kilográmetros-hora. Pero esto no significa, en modo alguno, que el agente de referencia sea capaz de verificar un trabajo tan intenso durante una o más horas, puesto que los citados ejercicios forzados, no pueden ser por largo tiempo sostenidos, reduciéndose las

experiencias a evaluar el correspondiente trabajo ejecutado en algunos minutos. Sin embargo, Lefèvre refiere cierta determinación, verificada en un ascenso de montaña, en la cual la potencia de 125,000 kilográmetros-hora fué mantenida durante ciento veinticinco minutos; elevándose así la calorificación a unas 1,350 calorías-hora. En todos estos resultados influye de modo notable el régimen alimenticio del individuo o agente de la experiencia; circunstancia que debe tenerse muy en cuenta, como factor originario del metabolismo, siempre que se quiera sacar consecuencias que revistan en su día la debida importancia práctica.

Sobre este punto merece ser citada la notable Tesis doctoral presentada poco ha por Julio Amar, en la Soborna, referente al « Rendimiento de la máquina humana ». En este interesante trabajo se encuentran minuciosamente detalladas todas las circunstancias experimentales, cálculos, trazados gráficos, y resultados obtenidos en las investigaciones verificadas durante catorce meses en Argelia, empleando casi únicamente naturales del país. En estos individuos de raza árabe, el rendimiento de la máquina humana acusa una media de 32  $\frac{1}{2}$  por 100. Y dice Amar: « La naturaleza de los alimentos convenientes al empleo del motor humano, y el precio relativamente módico de las sustancias grasas y azucaradas, son cuestiones a las que, por desgracia, no dan la debida importancia los que disponen del trabajo de cientos o de millares de hombres, los que emplean la mano de obra indígena para el cultivo de sus tierras, los que mandan ejércitos, y, en general, todos los que persiguen alcanzar el máximo rendimiento empleando el trabajo humano. Desgraciadamente, disponen de una energía de la cual no aciertan

a regularizar, con el debido método, ni el gasto, ni siquiera el sostenimiento : la suponen indefectible ».

Semejante modo de discurrir, a poco filántropo que uno se sienta, induce a reflexionar sobre aquella circunstancia ya citada antes, característica del motor animal: la *fatiga*.

Este vocablo, la idea que encierra, me sugiere dos consideraciones de orden bien distinto :

La primera se refiere a la índole del asunto, excesivamente fisiológico, permítaseme la expresión, para desarrollarlo, si a ello me atreviera, sin faltar a la palabra empeñada al comenzar el presente discurso : hablar en *físico*, permanecer constantemente en *físico* en mi disertación. Además, aunque intentara seguir por tal camino, lo confieso ingenuamente, me vería obligado a abandonarlo, pues mis escasísimos conocimientos fisiológicos son, sin duda, insuficientes para salir ni siquiera medianamente airoso en el cometido.

La segunda de las consideraciones antes aludidas, incumbe más a mis benévolos oyentes, o pacientes lectores, que a mí mismo. En efecto : la fatiga no sólo invade a los individuos que ejecutan propiamente trabajo mecánico, sino también a los que verifican trabajo intelectual : a los que leen, a los que escuchan. Y en este caso, es decir, en la presente ocasión, la fatiga causada depende más del sujeto activo que del pasivo ; de mi persona, en una palabra. Que, pretendiendo hacerme escuchar, y quizá sólo logrando hacerme oír, he abusado ya bastante de vuestra atención, llevándoos, con toda seguridad, por lo menos, a los lindes de la fatiga.

Voy, pues, a abreviar, decidido a dar pronto fin a esta ya excesivamente prolongada peroración.

**E**N este discurso he procurado — no se si lo habré conseguido — como primordial finalidad, poner de relieve la transcendencia de este hermoso capítulo de la Física, llamado TERMODINÁMICA, en el progreso y evolución de la ciencia de la vida; aplicando los principios fundamentales de Mayer-Joule y de Carnot-Clausius a la explicación e interpretación racional de algunas funciones biológicas, haciendo alguna vez hincapié en la influencia general que dichos principios ejercen sobre todas las manifestaciones energéticas; influencia a la cual no escapa, con seguridad, ni uno solo de todos los fenómenos que contribuyen al mantenimiento de este complejo mundo organizado, en su no menos complicado metabolismo.

Si conforme a tan legítimo anhelo, he logrado interesar a uno solo de los que miran con poco aprecio los estudios bioenergéticos, y si llegando a legítima consecuencia, aplica al caso presente el vulgarizado refrán español de que «para muestra basta un botón» y se convence el incrédulo o el indiferente de lo indispensable que es, no saludar o sólo desbrozar, sino profundizar seriamente en el estudio de la Física general, para continuar luego con base sólida y científica el racional estudio de los fenómenos biológicos, creeré haber acertado en mi cometido, al cumplir con el deber de llevar

hoy la palabra de esta gloriosa Universidad ante tan preclaro auditorio.

Y si yo pudiera presumir que esta mi modesta palabra alcanzara el favor de ser oída por las superiores Autoridades que rigen la instrucción pública en España, les pediría gracia en favor de la Biofísica; y no tan menguada como la otorgada a la Bioquímica, sino que su estudio formara en el cuadro de las asignaturas concernientes a la Licenciatura, disciplina común a las carreras Médicas y de Ciencias (por lo menos, en sus dos secciones de Naturales y de Físicas), contribuyendo de esta suerte a estrechar más los lazos que naturalmente han de unir y unen, sin duda, estas Facultades hermanas. Facultades *científicas* por antonomasia; y que, por tanto, en su funcionamiento didáctico, han de engranar forzosamente entre sí por medio de ciertas disciplinas comunes, como también, y por fortuna, ya engranan con la de Filosofía mediante la asignatura de Psicología experimental. Y puesto que las relaciones entre la última de las Facultades citadas y la de Derecho son tan íntimas como necesarias, resulte, en fin, no una yuxtaposición artificiosa de cinco Facultades, sino que, en su compenetración, constituyan un conjunto tan armónico como autónomo, del cual irradian los más brillantes destellos de la Ciencia patria, enaltecendo cual se merece el prestigio de la unidad secular que integran: nuestra querida Universidad.

Y ya que a las Facultades de Filosofía y de Derecho he citado últimamente, a sus ilustres representantes y sabios profesores, he de pedirles indulgencia para que me permitan concluir con un poco de Filosofía.

\*  
\* \*

Entusiasta como el que más por los estudios bioenergéticos zopino, presumo, vislumbro siquiera, que sus leyes positivas proporcionen algún día la clave que haya de descifrar intrínsecamente lo que Du Bois Reymond, en la Academia de Berlín, llamó el *enigma de la vida*? ¿Qué la ponderada Termodinámica, con su incontrovertible lógica y rigor matemático, sea capaz de llegar hasta la razón suficiente del origen y fin del metabolismo vital, universalmente considerado? ¡Vana químera! No lo ha conseguido la Bioquímica y ¡cuidado si han sido múltiples y osados sus esfuerzos encaminados a provocar artificialmente la organización de la materia bruta! El número de fracasos es exactamente igual al de intentos. Experimentalmente, nadie ha podido contradecir el *omne vivum ex vivo*, de Harvey, ni el *omnis cellula e cellula*, de Virchow. El famoso *liquido biogénico*, de Eduardo Desor, en tres cuartos de siglo, no ha sido capaz de generar una célula viva; con todo y estar bien estudiadas las condiciones físico-químicas de la celulogénesis.

Nuestros flamantes cytologistas son algo más modestos; se contentan con la mitad, en eso de la organización artificial de la materia y determinismo de la vida. Alentados quizás por los éxitos de las reacciones encimáticas, persiguen la *fecundación química*, problema que el biólogo J. Loeb asegura tener *casi* resuelto, y E. Bataillon, al comentarlo, dice: « estamos al borde de la morfogénesis ».

¡Bonito papel el que reservan esos señores al elemento activo masculino, en su peculiar potencialidad para propagar la especie! Habiéndose creído causa eficiente, un *factotum*, en la reproducción ¡verse ahora substituído por un poco de sulfato magnésico u otro reactivo químico!

Pero, aun cuando fueran realmente confirmados, como aseguran hoy algunos biólogos (Delage, Goldschmidt, Hatschek, Ribarga, Wilson, Petronkevitch, etc.) estos y otros mil resultados experimentales referentes a la filogénesis ¿se habría adelantado gran cosa en el conocimiento de la *causa prima*, origen de la vida, determinativo absoluto de su peculiar metabolismo? A esta pregunta, el ilustre Docente de Psicología experimental de la Universidad de Turin, Agustín Gemelli, contesta: « Los mecanicistas que pretenden dar una explicación físico-química de la vida, en vez de un *porque*, sólo nos dicen un *como* »; lo cual constituye un escamoteo de la verdadera esencia del problema. Y es que éste, energéticamente, es insoluble.

La demostración de que en el proceso vital se vean cumplidas las leyes físico-químicas, en modo alguno autoriza a considerar al ser vivo como un mero mecanismo; y por tanto son, y serán siempre ilusorias las hipotéticas lucubraciones encaminadas a desentrañar la esencia de la vida, subordinándola tan sólo a las referidas leyes.

Que no pierdan el tiempo en parecidos delirios los biofísicos, lanzándose por derroteros vedados a los míseros mortales. Al igual que el químico, escrutando el fondo del enigma de la vida, nada positivo ha de alcanzar el físico; aun cuando para tales fines, haga entrar en juego todos sus iones y electrones, o las radiacti-

vidades, como ha ensayado Butler Burke, y hasta las sutilezas de los *quanta*, aplicando la nueva Termodinámica, ni que fuera por el mismo Nernst en persona con su reciente tercer principio inclusive.

Augusto Comte, que no es santo de mi devoción, afirmando un día que « las ciencias físicas son fundamentales para las ciencias biológicas, y por consiguiente, los descubrimientos de las primeras, tarde o temprano, determinan el progreso de las segundas », escribe luego, en la introducción de su discutido Curso de Filosofía positiva : « Lo *incognoscible*, lo que está más allá del saber positivo... es inaccesible al espíritu humano... es como *Océano* que viene a lamer nuestras playas, para cuyo mar no tenemos ni barco ni velas ».

Desde el punto de vista científico-natural, encierra una gran verdad este razonamiento de Comte; pero emitido por un filósofo, descubre un desconsolador escepticismo : el hombre que incluye en su Yo una alma inmortal, no puede aceptarlo en modo alguno. La palabra *incognoscible*, delata el positivismo de Herbert Spencer, precursor del monismo de Haeckel, calificado por Gemelli, como « la síntesis más grotesca del saber humano ».

De un *Océano* parecido al de Comte nos habla también el insigne Balmes ; pero, ¡cuán distinto es el fondo de esperanza y de verdad que encierran estas sus palabras que, para terminar, entresaco de la *Filosofía fundamental*, obra maestra de nuestro esclarecido compatriota!

« A medida que adelanta el hombre en sagacidad de observación, y fuerza y delicadeza de instrumentos, descubre nuevos misterios y ve que las barreras que él creía un *non plus ultra* se retiran más allá, en la in-

mensidad de un *Océano*. ¿Las alcanzará algún día?... ¿Está reservado al porvenir un conocimiento de la íntima naturaleza del sujeto de esta infinidad de fenómenos que nos asombra? Difícil es creerlo. El telescopio, a medida que se perfecciona, extiende los límites del Universo y parece caminar a lo infinitamente grande; la perfección del microscopio, siguiendo dirección opuesta, parece caminar hacia lo infinitamente pequeño. ¿Dónde están los límites? Es probable que el encontrarlos no sea permitido al débil mortal, mientras habite sobre la tierra. El espíritu humano, tan activo, tan fecundo, se lanza sucesivamente hacia los extremos; pero cuando se lisonjea de llegar al último confín, siente que algo le detiene antes de alcanzar el objeto de sus nobles deseos: es la cadena que le une al cuerpo mortal, y que no le permite el libre vuelo de los espíritus puros».

HE DICHO



