

PRIMERA PARTE  
*EL FUNCIONAMIENTO DEL  
ORGANISMO VIVO*

CAPÍTULO II

¿ES EL CUERPO UNA MÁQUINA?

I. EL problema que ahora se presenta es el de investigar hasta qué punto los animales y las plantas son máquinas. Hay que determinar si las leyes y fuerzas que rigen sus actividades son las mismas que aquéllas con que se experimenta en los laboratorios, y si los principios de mecánica y la teoría de la conservación de la energía se aplican lo mismo á los seres orgánicos que á la máquina de vapor.

Parecía natural que el método propio para este estudio fuese el de dirigir la atención á las formas más simples de la vida, toda vez que en ellas los fenómenos son menos complicados y, por tanto, de más fácil solución. Sin embargo, ni es ni puede ser así, puesto que los conocimientos de los procesos vitales provienen de las formas más complejas. Se sabe más, por ejemplo, de la fisiología del hombre y de los animales superiores que de la de todos los demás, y la razón es muy obvia. El conocimiento de las actividades vitales del hombre es para él de gran valor, aun ha-

ciendo abstracción del aspecto teórico: y de aquí que la fisiología humana haya ocupado atención preferente. Su utilidad práctica ha sido siempre un estímulo para el estudio, por lo que es más conocido fisiológicamente el hombre que ningún otro animal. Por eso, lo que se sabe del organismo como máquina se deriva del estudio del hombre, ofreciendo esto la ventaja de que se va de lo conocido á lo desconocido. Si se llega á investigar que las funciones de la vida humana pueden explicarse mecánicamente, no cabe vacilación en creer que acontezca lo mismo en los demás órdenes inferiores de la vida y sobre todo en las plantas, cuya estructura es menos complicada y cuyas actividades pueden referirse con mayor facilidad á principios mecánicos.

2. *¿Qué es una máquina?*—Volviendo á nuestro principal objeto, debe decirse ante todo qué se entiende por máquina. *Máquina es un aparato destinado á cambiar, con objeto definido, una forma de energía en otra.* Como ya se sabe, energía es la fuerza que produce trabajo, siendo sus formas ordinarias activas el calor, la luz, el movimiento, la electricidad, etc. Pero también puede estar en la forma potencial, en cuyo estado se acumula dentro de una molécula química. Estas energías se transforman unas en otras, y todo aparato que ocasione esta transformación es una máquina. Un dinamo es una máquina para convertir el movimiento en electricidad, como un electromotor lo es para trocar la electricidad en movimiento. El objeto de una máquina de vapor es transformar en activa la energía pasiva. Ésta se suministra á la máquina en la forma de combustión química (carbón, etc.) y, puesta en libertad como calor, se convierte en motor del volante. Pero

ni estas máquinas ni ningunas otras crean energía ni potencia, porque todas ellas poseen una suma de energía igual á la que desenvuelven en otra forma: lo que hacen es recibir la potencia en una forma y devolverla en otra, con pérdida inevitable de una parte de la energía en la forma llamada *calor radiante*. Sentado esto, puede preguntarse ya si el organismo es igual ó comparable á una máquina.

**3. Comparación de un ser organizado con una máquina.**—Claro es que el cuerpo vivo encierra en sí todas las formas de energía, puesto que constantemente está en movimiento é irradiando calor, dos de los tipos más generales de la energía física. Que esta energía le es suministrada al cuerpo como á las otras máquinas en la forma de energía de composición química, no necesita demostración, si se recuerda que es preciso proveer á la economía de alimento apropiado para que funcione. El alimento de que nos nutrimos produce en nosotros el mismo efecto que el combustible en la locomotora, y la comparación entre alimentar el cuerpo para ponerlo en estado de que funcione y alimentar la máquina para que desarrolle energía es tan evidente, que no requiere prueba. Sin embargo, los detalles del problema ofrecen algunas dificultades.

La primera cuestión que se presenta es: ¿El cuerpo vivo no posee otro poder que el de transformar la energía, sin que le sea dado crearla ni destruirla? ¿La cantidad de energía manifestada por el organismo, puede considerarse como suministrada por el alimento, y recíprocamente, toda energía suministrada por el alimento puede considerarse presente en el organismo vivo?

Según la ley de la conservación de la energía,

la respuesta teórica á estas preguntas es bastante clara, pero en manera alguna es tan fácil contestarlas con datos experimentales. Para lograr una demostración experimental, sería necesario determinar con exactitud la suma de energía recibida por un individuo en un tiempo dado, y la que queda en su economía, ya como movimiento, ya como calor. Para que el organismo sea una máquina, el balance tiene que ser exacto, y si no fuere exacto, eso indicaría que crea ó destruye energía y, por tanto, que no es una máquina. Estos experimentos son sumamente difíciles. Tendrían que llevarse á cabo en el hombre mismo, y se hace indispensable que estuviera en un lugar perfectamente cerrado y dispuesto por modo tal, que se le pueda proveer de alimento y de aire en cantidades determinadas, así como que pueda medirse el trabajo que ejecuta, el calor que se desprende de su cuerpo y la cantidad de materiales que elimina. Para hacer estos difícilísimos experimentos, algunos hombres científicos se han encerrado en un cuarto pequeño, ó cámara de seis á ocho pies de largo, sin otra comunicación con el mundo exterior que por medio del teléfono y de una abertura practicada en la pared que sólo se abría un segundo para proveer de alimento al prisionero. Hay que tener en cuenta, no solamente el alimento ingerido, sino también el consumido por la economía. Si la persona gana en peso, es prueba de que está acopiando materiales para el porvenir; mientras que si su peso disminuye, es que está consumiendo sus propios tejidos como alimento. Diariamente habría que tomar nota exacta del peso, habiendo que calcular también los sólidos, líquidos y gases que se han expelido de su cuerpo para que pueda ser exac-

to el balance de gastos é ingresos. Se ha construido para esta experimentación un aparato tan delicado, que el simple hecho de levantarse el individuo de la silla se marca por una elevación de temperatura. Á pesar de esta sensibilidad, el aparato es muy imperfecto y sólo mide las formas más visibles de energía, mientras que las más sutiles, como la fuerza nerviosa, no hacen impresión en él.

Los resultados de estos experimentos son, en general, de gran importancia. Aun cuando no haya sido posible prolongarlos mucho tiempo ni sus consecuencias ofrezcan la exactitud deseada, todos conducen á una misma conclusión. En lo que concierne á la energía ó al material mensurable, el organismo obra como cualquiera otra máquina. Dentro del aparato citado, sólo funciona descomponiendo cierta cantidad de alimento y empleando la energía que queda en libertad: la cantidad de alimento es proporcional al trabajo realizado. Los simples actos de dar el individuo unos cuantos pasos por la habitación ó de levantarse de la silla, se acompañan de un aumento en la cantidad de alimento descompuesto, de la materia sobrante eliminada y del calor producido. Si durante el período experimental se notara que quedaba en libertad menos energía que la cantidad contenida en el alimento asimilado, se observaría al mismo tiempo que el peso del cuerpo era mayor, lo que equivale á decir que el exceso de energía se ha almacenado. Aquí no hay energía creada ni destruida. Cuanto á la energía mensurable, todos los hechos comprobados sustentan el concepto teórico de que el organismo debe mirarse como una máquina que convierte la energía potencial de composición química (depositada previamente

en su alimento) en energía real de movimiento y de calor.

Desde luego se deja ver que el cuerpo es una máquina de orden muy superior, puesto que está en disposición de transformar la energía potencial en movimiento con menos pérdidas que las máquinas comunes. Como ya se ha dicho, en todas las máquinas se convierte la energía en calor, del que se pierde gran parte en el espacio por irradiación. Los experimentos ya descritos dan medios para determinar la proporción de energía suministrada en forma de alimento que puede utilizarse como fuerza motriz, siendo indudable que la cifra es mayor que la que se obtiene por cualquiera de las máquinas inventadas por el hombre.

De lo expuesto se deduce que, haciendo abstracción de los fenómenos nerviosos que ya se estudiarán, *los ingresos y egresos de la economía en lo concerniente á la materia y la energía son tales, que el organismo puede considerarse como una máquina que, cual las demás, transforma simplemente la energía sin crearla ni destruirla. Hasta este punto, por lo menos, los animales están bajo la ley de la conservación de la energía y son verdaderas máquinas.*

4. **Detalles de la acción del organismo.**—Volvamos á tratar algunos de los problemas secundarios relativos á los detalles del funcionamiento de los órganos vivos. Conocido es el modo de funcionar de una máquina de vapor, de mecanismo sencillo y al alcance de la inteligencia del hombre. Es cierto que no pueden comprenderse las fuerzas fundamentales del poder químico: pero esas fuerzas existen indudablemente, son la base de la ciencia y hacen comprensible el mecanismo de la máquina. El problema que hay que diluci-

dar es, si se puede llegar de la misma manera á una interpretación de los fenómenos del organismo viviente. ¿Es posible, valiéndose de las fuerzas físicas y químicas, explicar las actividades que se desarrollan en la economía? ¿Es posible que se haga tan fácil de entender el movimiento del cuerpo como el de la máquina?

5. **Explicación física de los principales fenómenos vitales.**—El ser viviente es, sin duda, infinitamente más complicado que la máquina de vapor y hay en él muchos procesos que deben estudiarse por separado. En una obra de la índole de ésta, es imposible hacerse cargo detenidamente de todos esos procesos, por lo que, y suponiendo el conocimiento previo de la fisiología, sólo se interpretarán algunas de las funciones vitales desde el punto de vista de las fuerzas físicas y químicas.

6. **Digestión.**—El primer paso para la transformación del combustible es el proceso digestivo, que nada tiene de misterioso ni implica fuerzas peculiares ni especiales. El alimento que entra en el cuerpo en forma de almidón, azúcar, grasa ó substancia protéida, sufre la acción de los jugos gástricos por manera tal, que su naturaleza química cambia lentamente, pero no de un modo especial, sino como lo haría en un laboratorio químico. Las fuerzas que efectúan este cambio en la estructura molecular son las de la afinidad química: lo que no se explica químicamente es la naturaleza de los jugos digestivos, conteniendo los de la boca y el estómago substancias dotadas de la propiedad de producir las alteraciones que se verifican en la digestión. Uno de los actos digestivos es convertir el almidón en azúcar. La relación entre ambas substancias es muy sencilla, transformándose la primera en la segunda adicio-

nando á cada molécula de almidón otra de agua, y destilando ésta gota á gota en el almidón. La ciencia ha encontrado medios sencillos para hacer esta unión química, y hoy, la formación de azúcar procedente de substancias albuminóideas es una de tantas industrias. La saliva tiene el poder de causar inmediatamente esta conversión: lo que se ignora es por qué lo tiene. El procedimiento es muy simple, al parecer, y no encierra más misterio que el de la afinidad química. Se sabe que la saliva contiene un *fermento* que es el agente activo de la transformación. Este fermento carece de vida y no necesita para ejercer sus efectos que lo rodee ningún tejido vivo. Separándolo de la saliva en la forma de polvo amorfo (en la que se conserva indefinidamente) no pierde su calidad siempre que se le ponga en condiciones adecuadas. Vese, por tanto, que la conversión del almidón en azúcar no es más que un cambio que ocurre en circunstancias dadas bajo la influencia de la afinidad química.

Lo que es cierto respecto á la digestión del almidón por la saliva, es lo también respecto á la digestión de otros alimentos en el estómago y los intestinos. Cada jugo digestivo encierra un fermento que produce un cambio químico en la masa alimenticia, resultado siempre de fuerzas químicas. Exceptuando la presencia de estos fermentos, la diferencia entre la química del laboratorio y la del organismo es pequeña.

7. **Absorción del alimento.**—El acto que después del anterior llama la atención es el paso del alimento por absorción del intestino á la sangre. El alimento digerido llega al tubo intestinal de un modo mecánico, merced á la acción muscular y una vez allí, pasa á la sangre á través de las

paredes del intestino. En esta absorción entran en juego otras fuerzas, siendo la principal la *osmosis*, fuerza física que no tiene conexión especial con la vida. Si dos líquidos de composición diferente están separados por una membrana (Fig. 1), actúa una fuerza sobre ellos que los

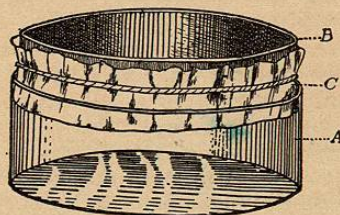


FIG. 1.—A, solución acuosa de azúcar; B, agua pura; C, membrana que separa ambos líquidos.

hace pasar de una a otra división de la membrana y los impulsa de manera que pueden vencer grandes resistencias. Un experimento muy sencillo ilustrará este hecho. La una vejiga membranosa llena de agua azucarada y sumergida en una vasija con agua pura. Una parte de la solución atraviesa de la vejiga a la vasija, como una parte del agua de ésta penetra en aquélla, debiendo tenerse en cuenta que las sustancias disueltas pasan de la solución mas débil á la más densa. En el caso actual, la cantidad de líquido transmitida á la vasija es menor que la pasada á la vejiga, lo que hace que ésta se dilate y suba en el tubo hasta *a* (Fig. 2). La osmosis, conocida también con el nombre de *dialisis*, se efectúa siempre que dos soluciones diferentes están separadas por una membrana, fenómeno puramente físico. Este procedimiento de la osmosis se basa en la absorción del alimento en el canal digestivo. La mayor parte de los alimentos son insolubles cuando se ingieren,

estado en el que no se puede verificar la osmosis; mas ya se ha visto que la digestión cambia la naturaleza química del alimento, el cual, disuelto en los jugos gástricos é intestinales, se hace dializable. La estructura del intestino se presta mucho á la osmosis, como lo demuestra la Fig. 3, que representa una sección transversa de la pared intestinal.

En la cavidad del intestino *A* está la masa alimenticia disuelta; *B*, son unas pequeñas proyecciones, llamadas *vellosidades*, que están cubiertas por una membrana. Una de estas vellosidades se ve aumentada de volumen en la Fig. 4, en la que *B* representa la membrana, en cuyo interior hay muchos vasos sanguíneos *C*. Como se ve, *B* separa dos líquidos: el alimento disuelto que está en el exterior de las vellosidades, y la sangre que está en el interior de ellas. Las circunstancias son favorables para la osmosis, que se realiza siempre que los contenidos intestinales encierran más material dializable que la sangre. Como esto es lo que acontece después que los alimentos han sufrido la acción de los jugos digestivos, pasará á través de la membrana del intestino y penetrará en la sangre. El primer factor en la absorción del alimento es físico.

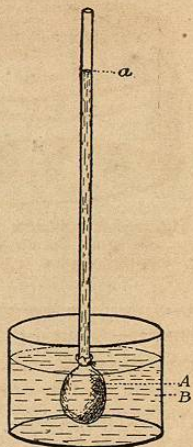


FIG. 2.—A, vejiga membranosa con la solución sacarina; B, vasija con agua pura. El azúcar penetra en la vejiga y hace subir el líquido hasta *a*.

Pero la osmosis no es el único factor que hace papel en este proceso. En primer lugar, el alimento, á su paso por el canal intestinal ó poco después, experimenta otro cambio, por manera

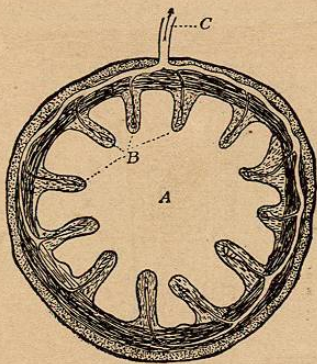


FIG. 3.—A, cavidad del intestino llena del alimento digerido; B, vellosidades con vasos sanguíneos; C, vaso sanguíneo grande que lleva el alimento absorbido fuera del intestino.

que cuando llega á la sangre ha sufrido otra modificación en su naturaleza química, y, si bien no se sabe mucho acerca de esas transformaciones, son del mismo orden que las digestivas y probablemente no envuelven más que procesos químicos. En segundo lugar, hay una fase en la absorción que permanece aún en la sombra. Parte del alimento se compone de grasa, la que se transforma por la digestión en partículas insolubles y, por tanto, no dialisables. La grasa no es susceptible de osmosis y se necesita algo adicional para explicar su paso á la sangre. Hasta ahora sólo se puede dar una interpretación parcial del hecho. La pared interna del intestino no es una membrana inerte, sin vida, sino que está constituida por fragmentos activos de substancia animada, los que, al parecer, se apoderan de las gotitas de grasa por procedimientos que los empujan hacia afuera, pasándolas después á través de sus propios cuerpos y depositándolas en la

superficie interior de los vasos sanguíneos. La Fig. 5 manifiesta algunos de estos trozos, cada uno de los cuales contiene unas cuantas gotas de grasa. Así pues, la absorción de ésta parece un acto vital, no regido simplemente por leyes físicas como la osmosis.

La explicación dada es contraria á lo que se llama *poder vital* de los últimos elementos del organismo. Las investigaciones acerca de este aspecto vital de la cuestión deben llevarse más allá, lo que se hará en el curso de estos estudios. Trátándose ahora sólo de establecer una comparación entre el organismo y una máquina, debe aplazarse este asunto.

8. **Circulación.**—Veamos ahora los medios de que se vale el organismo para distribuir el alimento que ha de emplear como fuente de energía. El encargado de esta función es el sistema circulatorio. Consta de una serie de tubos ó *vasos san-*

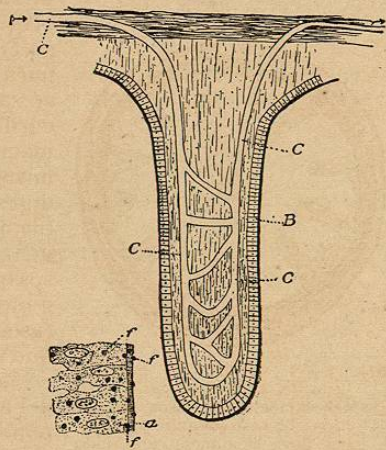


FIG. 4.—Diagrama de una sola vellosidad aumentada. B, membrana que cubre la vellosidad; C, vaso sanguíneo dentro de la vellosidad.

FIG. 5.—Cuatro células aumentadas de volumen de la membrana B en la Fig. 4. a, superficie libre; f, gotitas de grasa al atravesar las células.

*guíneos* que se reparten por todo el cuerpo y existen en todos los órganos y tejidos. Dentro de ellos está la sangre, líquido que los recorre continuamente, y en el centro del aparato hay una especie de bomba que conserva en movimiento á la sangre. Los vasos constituyen un sistema cerrado, por manera que la bomba ó *corazón* atrae el líquido de un lado haciéndolo pasar á otro, y después de haber recorrido el organismo entero, vuelve de nuevo al punto de donde partió. Al circular por toda la economía, lleva á cada órgano el material que necesita. Como ya se ha dicho (Fig. 3) la sangre recibe el alimento en el intestino y el oxígeno en los pulmones, conduciéndolos á su vez á los diversos tejidos. El sistema circulatorio es un medio por el cual se distribuye á cada órgano el alimento que requiere para sus funciones.

También en la circulación actúan las fuerzas físicas y químicas, y todos sus fenómenos generales están basados en principios de mecánica. La acción del corazón—dejando á un lado la potencia muscular—es la de una bomba: está provisto de válvulas de un mecanismo tan fácil de comprender como el de cualquiera otra bomba, á lo que se debe que la sangre circule siempre en el mismo sentido. Los vasos son elásticos, y el estudio de los efectos de un líquido impulsado rítmicamente dentro de un vaso elástico, explica los varios fenómenos anejos á la circulación. En efecto, la contracción rítmica del centro circulatorio empuja á intervalos cortos cierta cantidad de sangre á las arterias: éstas son grandes en la proximidad del corazón y más pequeñas en sus extremos, desembocando por éstos en las venas, en las que la sangre no corre con tanta facilidad

como cuando sale del corazón. La onda sanguínea, impulsada por cada latido cardíaco, ensancha ligeramente la arteria, lo que da ocasión á que el líquido siga su curso en el intervalo de los latidos; mas el corazón continúa latiendo y el acúmulo de sangre en las arterias ofrece la bastante presión para hacer pasar el líquido á las venas. Así es que la sangre arterial está bajo el influjo de cierta presión, mientras que la venosa sufre muy poca ó ninguna. Es innecesario entrar en más detalles, bastando lo que precede para hacer ver que la circulación es un acto mecánico.

Debe, sin embargo, fijarse la atención en el hecho de que en este problema hay por lo menos dos factores que caen bajo el dominio de lo que todavía se llama *fenómenos vitales*. El latido del corazón, debido á la acción muscular, es el primero, y el segundo, la contracción rápida de los vasos más pequeños que regulan el reparto de la sangre. Ambos son fases de la actividad muscular, y se hablará de ellos más adelante.

No sólo se explica por principios mecánicos la distribución de la sangre, sino también el suministro de alimentos á las partes activas del organismo. Como ya se sabe, la sangre que procede de los intestinos contiene el material nutritivo que ha recibido del material ya preparado. Ahora bien: cuando esta sangre atraviesa los tejidos activos, los músculos, por ejemplo, está otra vez en condiciones de efectuar la osmosis; los vasos sanguíneos de paredes muy delgadas se hallan bañados por un líquido llamado *linfa*. La Fig. 6 representa un trozo de tejido muscular rodeado de linfa. Ésta, que no se ve en el grabado, llena el espacio al exterior de los vasos sanguíneos, bañando á éstos y á los músculos. Como puede

verse, aquí también existe una membrana (la pared de los vasos sanguíneos) que separa los dos líquidos, y siendo la linfa de distinta composición que la sangre, se efectúa la osmosis y los materiales que pasaron por dialisis del intestino á la sangre penetran en la linfa por igual mecanismo. De ese modo va el alimento á la linfa y, puesta en contacto con las fibras musculares, toman éstas directamente el material necesario para sus funciones. La potencia que pone al músculo en aptitud de tomar lo que le hace falta dejando lo demás, es otro

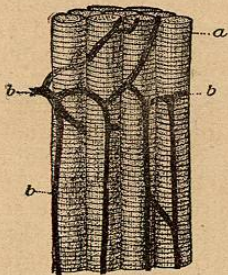


FIG. 6.—Trozo de músculo con sus vasos sanguíneos. *a*, fibras del músculo; *b*, vasos sanguíneos muy pequeños.

proceso vital de que se hablará más adelante.

9. **Respiración.**—Trátase ahora de las relaciones del sistema circulatorio con la función que suministra el oxígeno á la economía, absolutamente indispensable para las funciones vitales, basadas como las de la máquina, en la oxidación del combustible. El oxígeno se separa del aire de un modo muy sencillo. Al circular la sangre, se pone en contacto directo por una fracción de segundo con el aire, lo que se realiza en los pulmones, provistos de innumerables celdillas aéreas en cuyas paredes se distribuyen profusamente vasos sanguíneos. Ínterin la sangre está en éstos, no se halla realmente en contacto directo con el aire, sino separado de él por una membrana tan tenue que no ofrece obstáculo al cambio de gases. Estas células se conservan llenas de aire por la acción de los músculos: la contracción de

los del pecho hace que la cavidad torácica se ensanche y el aire penetre en las células del mismo modo que penetra en un fuelle. Después, la contracción de otra serie de músculos disminuye la capacidad del tórax y el aire sale de las celdas. Esto es tan mecánico cual lo que acontece en el fuelle del herrero.

Las relaciones del aire con la sangre son muy simples. Hay en ésta varios ingredientes químicos, entre ellos la *hemoglobina*. No importa ahora la procedencia de esta substancia, cuestión que pertenece al origen del organismo vivo y que se ventilará en la segunda parte de esta obra. La hemoglobina, constituyente normal de la sangre á la que comunica su color, es roja y tiene afinidades con el oxígeno, pudiendo separarse de la sangre y hacerse experimentos con ella en el laboratorio. Puesta en contacto con el oxígeno á una presión suficiente, forma una de esas uniones que los químicos llaman *combinaciones inestables*, porque con facilidad se descomponen. Si el oxígeno está á cierta presión la combinación se efectuará; mas si es inferior al punto de unión, ésta se destruye y la hemoglobina queda en libertad. Todo esto es puramente químico y puede hacerse en un tubo de ensayo. Ahora bien: esta asociación y disociación constituyen precisamente el fundamento de la respiración. La sangre que llega á los pulmones contiene hemoglobina, y siendo alta la presión del oxígeno en el aire, la hemoglobina se une inmediatamente con él al pasar la sangre por los vasos aéreos. Ésta es llevada por el torrente circulatorio á los tejidos activos que constantemente están consumiendo oxígeno para sus funciones. El resultado es que la presión del oxígeno es muy baja en estos tejidos



y cuando llega á ellos la hemoglobina oxidada, termina su asociación con el oxígeno, quedando éste libre. Después pasa á la linfa, de la que se apoderan los tejidos activos para llevar á cabo los procedimientos de oxidación de la economía. Por tanto, el fenómeno de proveer al organismo del oxígeno que necesita, es fundamentalmente químico.

10. **Eliminación de los residuos.**—La explicación del proceso de que se va á tratar ahora, ofrece sus dificultades. Una vez que el oxígeno y los alimentos llegan á los tejidos, la célula viva los adquiere. El material alimenticio se oxida y su energía latente queda en libertad, transformándose en calor, en movimiento ó en alguna otra función vital. Esta es la parte realmente misteriosa en el drama de la vida. Prescindiendo ahora del misterio, se considerará los resultados desde el punto de vista material.

En la máquina de vapor, la energía latente del combustible queda en libertad por la oxidación: el oxígeno del aire se une á los elementos químicos del combustible al que disgrega en cuerpos simples que pueden reducirse á tres: ácido carbónico ( $\text{CO}_2$ ), agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) y cenizas. La energía contenida en el compuesto primitivo no puede sostenerse en estos simples y se escapa en forma de calor. Igual procedimiento, si bien con alguna diferencia en los detalles, se efectúa en el organismo. Una vez que el alimento ha llegado á la célula viva se apodera del oxígeno y en cuanto á los residuos, el mecanismo es idéntico al que se acaba de describir: se fracciona en compuestos simples y la energía queda libre y se trueca en movimiento, impulso nervioso, etc. Dicho alimento se divide en simples, que son principal-

mente agua, ácido carbónico y cenizas que difieren de las que se obtienen del carbón en combustión. Pues bien; así como la locomotora necesita una chimenea para dejar salida á los gases y un cenicero para recoger las cenizas, así también el organismo tiene su sistema secretorio para eliminar los residuos ó desperdicios. Respecto á la eliminación del ácido carbónico y del agua, hay que referirse á lo que se dice en el aparato respiratorio, siendo el procedimiento sólo una repetición de lo que acontece en la difusión de los gases, la unión química y la osmosis. Baste decir aquí que el procedimiento es tan sencillo y se explica tan fácilmente como los ya descritos. La eliminación de estas materias sobrantes no es más que un problema de química y de mecánica.

Cuanto á la expulsión de las cenizas, hay algo más que nos pone otra vez frente á frente de la acción vital de la célula. Esta ceniza afecta principalmente la forma de un compuesto llamado *urea*, que se elimina de la economía por medio del sistema circulatorio y se separa de la sangre por los riñones. Hay en éstos un gran número de células, *células renales*, que tienen la cualidad de apoderarse de la urea al pasar la sangre por ellas para depositarla después en una serie de tubos que la llevan á la vejiga de la orina y de allí al exterior. La conducción de estas cenizas á la célula renal es cuestión mecánica basada simplemente en el curso de la sangre. Que la célula se apodere de la urea, es un fenómeno vital que debe aplazarse por ahora.

Hasta aquí no ha ofrecido serias dificultades este análisis, en cuyas conclusiones se conviene generalmente, y que nos ha traído á las siguientes deducciones: en lo que se relaciona con los pro-

blemas generales de la energía universal, el organismo es una máquina que ni crea ni destruye energías, limitándose á transformar una en otra. Consideradas así las funciones llamadas algunas veces vegetativas, se encuentran razones en las leyes físicas y químicas para explicar la acción del organismo en este sentido.

Ahora hay que fijar la atención algo más allá para ocuparse de funciones cuya naturaleza mecánica es menos evidente. Todas las operaciones y procedimientos ya descritos están bajo la dependencia del sistema nervioso que actúa como el maquinista en la locomotora.

**II. Sistema nervioso.**—Cuando se quiere aplicar los principios de mecánica al sistema nervioso, parece á primera vista que no hay medio de conseguirlo. Mientras se trataba de cuestiones relativas á compuestos químicos, al calor y al movimiento, ofrecía poca dificultad ajustar las leyes de la Naturaleza á los fenómenos vitales. Pero el problema respecto al sistema nervioso es muy diferente, pudiendo afirmarse que en realidad no ha empezado á estudiarse hasta muy recientemente y no está aún resuelto ni mucho menos. Verdad es que los fenómenos mentales y otros nerviosos se vienen estudiando desde hace tiempo; mas este estudio se reducía al de los fenómenos en sí mismos, sin pensar en sus conexiones con otros de la Naturaleza.

La primera cuestión es, si hay alguna relación entre la energía nerviosa y los otros tipos de energía. Conviene distinguir entre las simples transmisiones nerviosas y las funciones de la actividad mental. Si ha de encontrarse alguna correlación entre la energía nerviosa y las físicas ha de ser midiendo la primera y comparándola con las otras,

lo que se hace difícil por la carencia de instrumentos para apreciar directamente un impulso nervioso. En los experimentos hechos en el aparato de que antes se habló para averiguar los gastos é ingresos de la economía, los fenómenos nerviosos no dejaban huella aparente de un consumo extraordinario de energía física, lo que no debe sorprender, porque dicho aparato es demasiado tosco para estimar fracciones tan delicadas.

Está probado por diversos experimentos que hay correlación entre la energía nerviosa y la física. Era lo primero investigar si un estímulo nervioso se podría medir directamente. Cuando un nervio sufre algún estímulo, pasa á lo largo de él un impulso con una rapidez que se puede medir, así como cuando llega al cerebro un impulso nervioso produce una sensación de la que puede darse cuenta el que la recibe, siendo calculable el tiempo que para ello se requiere. Estos períodos son muy cortos, pero no instantáneos. También conviene estudiar en otros sentidos el impulso nervioso. Sabido es que éste puede despertarse por formas ordinarias de energía: un choque mecánico, químico ó eléctrico, tipos de la energía física, desarrolla energía mecánica, y si aplicado el choque á un nervio da origen á un impulso nervioso, es legítima la deducción de que el nervio es parte de una máquina apta para convertir cierta clase de energía física en nerviosa. Siendo esto así, hay que considerar esta energía en correlación con las otras formas de ella.

Otros hechos tienden á la misma demostración. No sólo puede el estímulo nervioso desarrollarse por un choque eléctrico, sino que la fuerza del estímulo es hasta cierto punto proporcional á la intensidad del choque. De igual modo