

## CAPÍTULO IV

### LA CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA

#### § 15.—MECÁNICA UNIVERSAL.

El problema de la escala domina toda la ciencia. El hecho de que los movimientos de diversas dimensiones se conozcan por el hombre como *cualidades* diferentes impide suponer un individuo parecido al hombre y que conozca á cada instante, en el mismo lenguaje, todos los movimientos en todas las escalas. La utilización del sentido de la vista de las formas está restringida en el hombre al conocimiento de los movimientos de la escala llamada mecánica, como los movimientos de las piedras, el curso del agua, el balanceo de los árboles por el viento. Para los movimientos de dimensiones más pequeñas, ese sentido es impotente, y por una generalización extrahumana aplicamos el lenguaje matemático á los movimientos más pequeños que podemos percibir como tales movimientos. Dada la naturaleza de los protoplasmas vivos y sus tres categorías de modos de conocer, mecánica, coloide y química, no pode-

mos concebir un ser vivo que pueda ser capaz de emplear por su cuenta el lenguaje de la mecánica universal. La mecánica universal realiza, pues, desde este punto de vista, el *desideratum* del lenguaje científico impersonal. No sólo es impersonal, sino que no es específico, es decir, que las escalas del conocimiento humano no se señalan aquí aparte, ni se tratan de una manera más privilegiada que las de tal ó cual animal. La mecánica universal ignora si tal movimiento lo conoce el hombre con la cualidad de sabor, color ó de sonido; no conoce tampoco las cualidades relativas á la vida de las hormigas ó de las amibas, ni conoce los diversos lugares en los que se encuentra localizado, en la escala general, el fenómeno vital. La mecánica universal, que no es un lenguaje personal, ni humano, ni animal, no es un lenguaje propio de los seres vivos. Está *fuera de la vida*, aunque se haya creado para los seres vivos. Tal lenguaje permitirá estudiar la vida, así, como un fenómeno cualquiera, lo que no hubiera podido hacerse con un lenguaje específico ó solamente «biológico» (1).

Resta saber si esta generalización que ha puesto á la Ciencia fuera de la vida es legítima; saber si el punto de estima, resultado de los es-

(1) Es decir, con un lenguaje propio de una especie animal, ó de todos los seres vivos sin excepción.

tudios humanos, ha podido abandonarse sin peligro en la confección de esta ciencia universal, que no atañe directamente al hombre, sino por sus aplicaciones al dominio de la escala de los movimientos mecánicos.

§ 16.—LA ENERGÍA NO TIENE ESCALA.

Una de las circunstancias de esta *despersonalización* de la Ciencia es que los puntos de referencia, las cosas importantes de la ciencia, no serán los puntos de referencia, las cosas importantes de la vida humana. Así es como la Ciencia del siglo XIX ha descubierto una cantidad mensurable que no conoce directamente el hombre, *porque no tiene escala: la energía.*

Si la Ciencia llega á ser verdaderamente impersonal, esa cantidad constante, la energía, será una entidad en el sentido absoluto de los metafísicos. Hay en esta afirmación algo que choca á nuestra idea de la relatividad de los conocimientos humanos, y habrá de estudiarse, pues, de cerca este problema antes de clasificarlo. Es el problema fundamental de la filosofía moderna.

Ese algo que no tiene escala en nuestra mecánica universal, y que permanece constante á través de todas las transformaciones, cognoscibles al hombre, del mundo en que vivimos, sería evidentemente todavía una cosa constante,

si, en vez de estudiar el universo con nuestro sentido de la vista de las formas, efectuáramos las medidas en otro lenguaje sensorial susceptible de generalización. Lo que es constante no nos parecería constante en cualquier punto de vista que nos pusiéramos para estudiarlo. Porque hemos reducido todos los cambios del mundo á movimientos mensurables es por lo que hay conservación de la energía; y habríala también si se hubieran estudiado los cambios del universo con cualquier otro sistema de medida, siempre que fuera impersonal.

Una consecuencia importante se desprende en seguida del principio de la conservación de la energía, si ese principio es verdaderamente general, y es que el hombre conoce ó puede conocer, directa ó indirectamente, todas las transformaciones, todos los cambios del mundo en los que es cuestión la energía. Sabemos medir las variaciones de energía en los cuerpos químicos, en los coloides, en los cuerpos cálidos ó electrizados, en los sistemas mecánicos. Así que una transformación acaece en uno de esos dominios, la cantidad de energía que se gasta en él se encuentra integralmente en uno de esos otros *conocidos* del hombre. Jamás desaparece ninguna cantidad de energía, bajo una forma desconocida, más allá de los límites del mundo que nos es cognoscible.

Si tal cosa se demostrara podría sacarse cualquiera de estas dos conclusiones:

1.º Á pesar de todos los esfuerzos que hace el hombre para crear la ciencia impersonal, la energía no es independiente de la naturaleza del mismo; y no es más que una invariable, cómoda para utilizarla en los cálculos del mundo, *con la que el hombre está en relación* por las diversas escalas por las que pasan los movimientos que nos son cognoscibles.

2.º O, al contrario, el hombre está colocado en medio de los fenómenos naturales de manera que sea directa ó indirectamente sensible á *todos* los cambios, cualesquiera que sean, que se produzcan en el mundo.

Aceptar la segunda conclusión sería admitir que el hombre ha llegado al conocimiento de algo absoluto, por su ciencia impersonal. Si, al contrario, se acepta la primera, la noción de energía no aparecerá más que como un cómodo artificio para los cálculos referentes al mundo conocido del hombre.

#### § 17.—LA EXISTENCIA DE INVARIABLES.

El descubrimiento de los cuerpos radioactivos ha puesto recientemente á discusión el valor científico del propio hecho de la conservación de la energía. Se han preguntado los sa-

bios si la energía producida por la radioactividad proviene de una provisión de energía química acumulada en los cuerpos considerados equivocadamente como simples é indestructibles, en cuyo caso, el principio de la conservación de energía saldría victorioso de la prueba. Han pensado otros que la radioactividad es la transformación en una forma de energía accesible al hombre, de una forma de energía inaccesible á nuestras investigaciones. Si así fuera, el principio de la conservación de la energía no sería verdad para las formas de energía conocidas del hombre, las únicas en que ha podido utilizar las medidas para el establecimiento de ese principio, y la cantidad de energía cognoscible al hombre no sería constante.

Hoy parece establecerse que la energía radioactiva proviene de un origen químico, pues la destrucción es tan lenta que es difícilísima de apreciar. Es menester muchísimo tiempo para medir el coeficiente de la transformación radioactiva. Aguardando que tal medida se efectúe, y que despeje todas las dudas si se realiza, los físicos, en cuyo nombre he de citar á Sagnac, se han preguntado (1) si, en el caso de que no se demostrara el origen químico de la energía

(1) Yo mismo he emitido esta hipótesis hace años, proponiendo la experiencia de los péndulos comparados. Véase *Las leyes naturales*, op. cit., pág. 116.

radioactiva, no podría hallarse su equivalente en otra forma de energía conocida del hombre, la energía grávida, por ejemplo, que da á los cuerpos la aceleración de la pesantez.

Gustavo Le Bon, en fin, ha supuesto que la energía pudiera aparecer en compensación de una destrucción de materia. Eso sería el aumento de una cantidad considerada como constante, la energía, á expensas de otra considerada igualmente constante, la masa. Es lo que ha llamado G. Le Bon la *desmaterialización de la materia*. No hay que confundir esta manera de ser con la que vengo hablando, y en la que la radioactividad resultaría de una descomposición química de un cuerpo creído como simple. Si se acepta, en efecto, esta última hipótesis, la masa es constante de una parte y la energía lo es de otra. En la hipótesis de Gustavo Le Bon no hay más que una constante, la suma de la masa y de la energía.

De todos modos, salvo las circunstancias en que se produce la radioactividad, que, si no son raras, no son por lo menos importantísimas como cantidad de energía liberada, con relación á las demás cantidades de energía cuyas transformaciones nos sorprenden siempre, fuera de esos casos, en los que no hay nada extraordinario, los principios de la conservación de la masa y de la conservación de la energía parecen es-

tablecidos sobre bases suficientemente sólidas. Es indispensable, desde luego, desde el punto de vista filosófico, preguntarse si esas dos invariables, la masa y la energía, corresponden á entilidades verdaderamente impersonales, ó si, por lo contrario, no hay que ver en ellas sino definiciones *a posteriori* para comodidad en los cálculos.

He hablado de la conservación de la energía antes de hablar de la conservación de la masa, aunque Lavoisier sea históricamente anterior al descubrimiento de los principios de equivalencia, por lo que la cantidad llamada energía es menos directamente accesible á la imaginación del hombre, y también porque la conservación de la masa (1) de una materia dotada de *inercia* puede parecer menos interesante para todos los filósofos.

El conjunto de estos dos principios de conservación tiene desde luego una consecuencia que no es nada halagadora para la vanidad del hombre. Tiene éste á su disposición *provisiones* formadas de materia y energía, y gracias á esas provisiones ejecuta trabajos que considera como muy importantes, y cuando trata de hacer el

---

(1) He mostrado ya en *Las leyes naturales*, op. cit., cómo puede definirse la masa de un cuerpo sin recurrir á ninguna otra noción que á las del cantón de la visión de las formas. No he de insistir aquí sobre ello.

balance de su actividad advierte que el resultado es nulo. ¡Se ha agitado en vano, sin haber podido tocar las provisiones de que se creía dueño y que se encuentran intactas á su lado! ¡Se ha movido en un círculo, como una ardilla en una jaula! He propuesto representar en adelante simbólicamente toda la actividad animal por la fórmula ( $A \times B$ ), en la que  $A$  representa el cuerpo del animal y  $B$  el mundo que le rodea. Podría aplicarse una fórmula idéntica á todo fenómeno teniendo por sitio un cuerpo transportable entre los demás cuerpos. La expresión de la conservación de la masa y de la energía sería entonces:

$$\Sigma (B \times A) = 0$$

símbolo de la vanidad de todos los refuerzos. No es, pues, inútil averiguar si se oculta algo convencional en las definiciones de la masa y de la energía. En la evolución universal tenemos necesidad de puntos de referencia, de cualidades constantes, y es menester indagar si la masa y la energía nos suministran realmente las invariables pedidas.

#### § 18.—LAS PROVISIONES.

La posibilidad de la demostración experimental de la constancia de un aprovisionamien-

to está supeditada á la posibilidad de realizar una delimitación de la que no salga nada como provisión sin que pueda medirse exactamente su valor. En cuanto á Lavoisier, su experimento de la conservación de la masa lo hizo en recipientes cerrados impermeables, con sólidos, líquidos y gases, es decir, en las tres formas que conocemos las masas materiales. Para empezar indicaré esa ley de Lavoisier, que puede enunciarse así: «Cuando en un continente, del que no sale masa alguna, se efectúa cualquier suerte de cambios, la masa total de los cuerpos contenidos en él no varía». Gustavo Le Bon afirma que en ciertos casos eso no es cierto y que una parte de la masa puede desaparecer como tal para transformarse en energía. Se ha creído, además, observar desde hace tiempo que, más allá de una cierta velocidad, la masa de un cuerpo no es constante; pero se trata de velocidades que no son usuales en la vida del hombre, y las transformaciones de que habla Gustavo Le Bon son poco importantes en la vida ordinaria. No he de ocuparme aquí de las excepciones posibles á las leyes de conservación, pues solamente me propongo saber si esas leyes, cuando se comprueban, corresponden á una realidad ó á una definición. El problema es más fácilmente abordable por la parte de la energía.

## § 19.—ORIGEN DE LA NOCIÓN DE ENERGÍA.

La noción de energía es anterior á su definición matemática. En el sentido etimológico, la palabra energía significa «capacidad de trabajo». Dícese que un sistema contiene cierta cantidad de energía cuando hay en él la posibilidad de efectuar una cantidad de trabajo. La medida de la energía puede convertirse en medida de trabajo, y es en la definición de trabajo donde hay que buscar la parte posible de conversión.

En el lenguaje humano, desempeñar un trabajo quiere decir realizar un cambio en el medio ambiente. El hombre que ha realizado ese cambio, ha trabajado, ha hecho un esfuerzo, gracias al cual se ha efectuado una modificación que *sin él* no hubiera ocurrido. Si, por ejemplo, cojo una piedra y la levanto del suelo para ponerla sobre un declive, he cumplido una necesidad á la que soy indispensable. *Sin mí* la piedra hubiera permanecido en tierra, donde estaba. *Sé* que la piedra no tenía *en ella* lo que es preciso para realizar sin mi concurso esa ascensión. Si esa piedra hubiera sido un bloque de pólvora *B*, en el estado en que se hallaban las de *Iéna* un segundo antes de la explosión, me habría engañado diciendo que no

tenía en ella considerables capacidades de trabajo. En ese bloque de pólvora, inerte en la *escala* de los objetos visibles para mí, ocurren, á mi entender, en una escala pequeñísima é invisible, fenómenos que arrojan una prodigiosa cantidad de energía mecánica. Pero en la época en que se originó la noción del trabajo desempeñado por el hombre y de la inercia de los cuerpos brutos, nuestros antepasados no encontraron en su ruta montones de pólvora *B*, y cuando sobrevenía algún cambio en las disposiciones de los cuerpos brutos más familiares, conocidos como *incapaces de desplazarse por sí mismos*, se atribuía ese cambio á la intervención de un hombre ó de un agente cualquiera productor de lo que hubiera producido un hombre. Evaluábase así la grandeza del cambio observado y preguntábase qué esfuerzo había necesitado un hombre para efectuarlo.

Así, de la comprobación de cambios acaecidos en un mundo que se consideraba *a priori* como incapaz de cambiar por sí mismo, nació la noción de *agentes* capaces de producir esos cambios, como los produciría un hombre. Semejante opinión ha sido el resultado natural de la idea psicológica inicial, de la diferencia establecida desde el principio entre el *yo* y el *no-yo*, conteniendo el *yo* las posibilidades de trabajo y de cambios por hacer en el medio ambien-

te. Este dualismo inicial ha sido el punto de partida del dualismo ulterior; primero el mundo y el hombre, ó los agentes comparables al hombre; luego, la masa inerte y la energía capaz de mover las masas y de transformar el substratum desprovisto de espontaneidad. Con semejante dualismo es con el que se ha creado la mecánica universal; y ese dualismo se conserva en nuestro tiempo, aun después de que la aplicación de la ciencia al estudio de la vida ha demostrado la ilegitimidad de la separación del organismo del ambiente. En un medio conteniendo un hombre, el hombre forma parte del medio con el mismo título que los demás elementos, y no es un creador de movimiento, de transformaciones; *soporta*, en vez de imponerlas, las leyes rigurosas que se aplican también á los demás elementos del mundo. Á pesar de todo, el dualismo, calcado sobre el *yo* y el *no-yo*, ha persistido. Es cómodo para el cálculo, pero debemos preguntarnos cuál es su valor filosófico.

#### § 20.—LOS CAMBIOS.

¿Cuál es la significación, ante todo, de la palabra cambio? Esta palabra tiene una significación inmediata en el lenguaje humano. Conozco el mundo en un cierto momento, un instante

después conozco otro mundo diferente; las diferencias constituyen un cambio. No voy á preguntarme si soy yo ó el mundo quien ha cambiado, pues en mi lenguaje humano, yo, observador, soy algo inmutable y fijo. Puedo apreciar el cambio observado por mis sentidos en las diversas escalas de la actividad exterior. Si mi ciencia es mayor, puedo medirlo, y si hago una medición impersonal, desapareciendo en la operación, sé que otro hombre, empleando los mismos procedimientos, obtendrá el mismo resultado. Convencido de antemano de que el mundo es incapaz de cambiar por sí mismo atribuyo el cambio medido á un *agente* capaz de producirlo, y de la medida del cambio saco el esfuerzo necesario para producirlo. No sólo he inventado el *agente* del movimiento, sino que tengo la pretensión de medirlo. Esos agentes, calcados sobre mi propio modelo, con los que lleno el universo inerte por sí mismo, son las fuerzas.

Según el cantón de la actividad universal en que ocurre el cambio que observe, imaginaré y evaluaré *fuerzas* diferentes, pero todas con el carácter común de poder introducir cambios en el universo inerte. Puesto que los principios de equivalencia establecidos en el decurso del siglo XIX han mostrado que todo cambio, de cualquier naturaleza que sea, *equivale* á un cambio

mecánico, limitarémonos á estudiar lo que se llama cambio en la mecánica del movimiento visible, parte de nuestra ciencia actual á la que se aplica con facilidad el lenguaje matemático y el humano.

Antes de entrar en tal estudio observaré sencillamente cuán difícil es expresarse hoy á propósito de estos problemas del cambio, una vez que sabemos que todo evoluciona y que todo cambia. El cambio no es la excepción, sino la regla. Nada hay inmutable en el mundo; el viento sopla, el río corre, el árbol retoña. El único modelo estable, en apariencia, que encontramos, nos lo dan los cuerpos sólidos, en los guijarros del camino, que evolucionan más lentamente que nosotros, pero que evolucionan, sin embargo. Ahí está, pues, lo que es origen de la noción de inercia, base de toda la mecánica y de todas las filosofías.

#### § 21.—INERCIA Y LÍNEA RECTA.

El *principio* de la inercia enúnciase así: Un cuerpo no puede modificar por sí mismo su estado de reposo ó de movimiento. El guijarro que está en la carretera no trepará *por sí* una pendiente, como lo hará un ratón. La expresión «por él mismo» indica claramente la comparación que ha sido el punto de partida de la

fórmula. Evidentemente, se ha comparado el guijarro á un ser vivo, como he observado más arriba. El guijarro no tiene en sí los medios que yo tengo para subir la pendiente, si lo deseo. Si observo, pues, que la piedra, ayer en medio del arroyo, está sobre el muro próximo, deduciré que no ha subido sola, sino que un agente, capaz de producir los efectos que yo produzco, la ha transportado. Dejemos á un lado, por el momento, el caso en que un ser vivo ha intervenido. Siempre que un cuerpo bruto ha cambiado de lugar, decimos que una *fuerza* le ha movido, y calculamos el valor de esa fuerza midiendo el desplazamiento. Hecho eso, el dualismo se ha introducido en la mecánica y no la abandonará ya.

Creada una vez la noción de fuerza, se da al principio de inercia otra expresión. La traducción en un nuevo lenguaje de la historia del guijarro sería: un guijarro que está en el arroyo no se mueve si no está sometido á alguna fuerza.

En mecánica se da también del principio de la inercia una fórmula un poco diferente: «Un cuerpo que no está sometido á ninguna fuerza no puede tener más que un movimiento uniforme y rectilíneo». Esta fórmula sorprende mucho á los niños cuando se les enseña. Al menos me sorprendió muchísimo cuando la apren-



dí. La noción de inercia es tan natural en el hombre, que yo la acepté sin ningún trabajo. Una piedra en el arroyo está inerte; yo, que ando, no lo soy. Pero me sorprendía que pudiera considerarse como inerte un cuerpo dotado de movimiento, aunque ese movimiento fuera uniforme y rectilíneo. Preguntábame también por qué esas dos cualidades especiales, la uniformidad como velocidad y la dirección rectilínea, se escogían como quitando al movimiento todo valor como cambio. Se me hubiera podido responder: «Un movimiento es algo que tiene dos cualidades, la velocidad y la dirección, y mientras esas dos cualidades no cambian, el movimiento permanece semejante á sí mismo y no cambia». Y me habría obligado á declararme satisfecho, aunque no lo estuviese en realidad. Comprendo perfectamente que un movimiento se defina en cada instante por su velocidad y su dirección; es más, creo que en nuestro sistema matemático actual, ninguna definición permite con más facilidad medir los elementos de un movimiento; pero de que semejantes convenciones sean cómodas, no deduzco que representen algo absoluto; veo, al contrario, dos elementos convencionales nuevos, la línea recta y la velocidad uniforme, que se introducen en la definición de la fuerza, é infiero de ello que la fuerza debe ser algo muy con-

vencional. No acepto, así, que se dé como un *principio*, como el principio fundamental de la inercia, el enunciado invertido de la definición que se ha juzgado cómodo escoger para esas cosas misteriosas que se llaman *fuerzas* y que no he visto jamás.

No tenía yo, cuando niño, las mismas maneras de razonar que hoy. Esos movimientos rectilíneos y uniformes, que no tienen el valor de un cambio, me han maravillado muchísimo. He soñado con móviles que atravesaban nuestro ambiente con un movimiento rectilíneo y uniforme y que no contaban con el estado del mundo, y confieso que no los he visto. Se me ha señalado como ejemplo el movimiento de una bola de billar; pero ese movimiento acaba por detenerse y no es uniforme aunque sea rectilíneo. En la máquina de Atwod, el ingenioso experimento de la supresión de la masa adicional realiza el movimiento rectilíneo y uniforme, ligeramente retardado, sin embargo, por el roce. Pero justamente la disposición es ingeniosísima, y ha debido derrocharse mucho genio para realizar luego ese género de inercia que debía recorrer el mundo. El único modelo verdaderamente correcto de un movimiento rectilíneo y uniforme suminístralo un tren que marcha sobre una vía recta con una marcha constante. Nadie dirá que ese movimiento resulta de la au-

sencia de todo esfuerzo. El mecánico sabe cuánto calor y cuánta atención cuesta realizarlo.

El *principio* (?) de la inercia no es, pues, sino una definición, la definición de la fuerza en mecánica, y tengo el derecho de afianzarme sobre las convenciones incluídas en esa definición, ya que será empleada á su vez en la del trabajo, que se empleará en la de la energía, cuyo valor filosófico quiero discutir.

El único modelo de un cuerpo que manifiesta su *inercia* nos lo da un guijarro que yace en el suelo. Ese modelo es el que ha dado la noción de inercia á nuestros antepasados; pero ese guijarro *pesa* sobre el suelo; todos los tratados de mecánica nos indican que está sometido á la acción de una fuerza incesante, la pesantez. Para ser justo habrá que completar el principio de la inercia con esta indicación: no conocemos cuerpos en el mundo que no estén sometidos á alguna fuerza. Eso bastaría, acaso, para impedir que se aceptara como demostrado el dualismo mecánico, fuerza y materia, energía y masa. Hay que desconfiar de los procedimientos de análisis que los alumnos pueden tomar por realidades. El ciclo de Carnot, que descompone una transformación real en transformaciones teóricas, isotermas y adiabáticas, hace soñar á muchos estudiantes que tratan de imaginarse transformaciones imposibles.

## § 22.—LOS PRINCIPIOS DE EQUIVALENCIA Y LAS DEFINICIONES CONVENCIONALES.

Volvamos á la energía.

Un hombre que se propone mover una piedra ha de hacer un esfuerzo mayor si la piedra es grande y pesada que si es pequeña y ligera; tiene que vencer una inercia más considerable. He indicado ya (1) cómo ha sido posible corresponder á esa sensación de esfuerzo algo completamente mensurable por los procedimientos del cantón de la visión de las formas. Puede uno medir de un modo indirecto las masas, y puede hacerse directamente comparándolas á una masa tipo por medio de la balanza. Remito á mi obra, para el tránsito de la medida de la masa al cálculo de la fuerza que cambia en movimiento, por la medida de la aceleración del mismo. Esa aceleración es la única manifestación de la fuerza. La fórmula que calcula la fuerza por el producto de la masa y de la aceleración, toma en cuenta á la vez el grandor del cambio operado y el grandor de la masa sobre que actúa. Todo eso es muy lógico; pero, aun calculado así, la fuerza, el gran-

(1) *Las leyes naturales*, op. cit.

dor matemático, es el resultado de convenciones múltiples, siendo la más sorprendente la del papel atribuido á la línea recta en las definiciones. Esta introducción de la línea recta en todos sus procedimientos de análisis es instintiva en el hombre. La misma palabra dirección está sacada de ella, y no sabemos hablar del movimiento, aun del curvilíneo, sin aludir á la línea recta. Todas esas necesidades del lenguaje hacen que muchos quieran considerar la *fuerza* como una entidad, como un grandor convencional. Nada lo prueba como este teorema de la mecánica elemental: se puede reemplazar el sistema de todas las fuerzas aplicadas á un cuerpo sólido por un sistema extremadamente sencillo que equivalga exactamente al primero, de una infinidad de maneras. Es, pues, evidente que las fuerzas no son sino grandores convencionales, cómodos para analizar el estado de un sistema de cuerpos, y se escoge en cada caso el más cómodo posible.

El que los cambios de velocidad y de dirección sean elementos convencionales, cómodos para el análisis de un cambio en el estado mecánico de un sistema de cuerpos, no quita ninguna realidad al cambio que se analiza. En geometría analítica, refiérese una curva á un sistema de coordenadas arbitrariamente escogido, y eso no impide descubrir las propiedades reales

de la curva, propiedades independientes del sistema de ejes al que se la refiere.

Definida, con las convenciones que acabo de estudiar, la fuerza, tiene una ventaja desde el punto de vista humano, y es que corresponde con más ó menos exactitud á una sensación humana, á la sensación de esfuerzo. Es posible así hablar de fuerzas en el lenguaje psicológico, y ése es, evidentemente, el origen de la convención que ha llevado á considerar como un grandor importante el producto de la masa por la aceleración. El trabajo de la fuerza depende del tiempo en que el esfuerzo se ha efectuado y del trayecto que ha recorrido el cuerpo sometido al mismo. Recogemos, pues, una vez más, el lenguaje corriente ó psicológico, el que habla del hombre como de algo separado del medio ambiente introduciendo principios absolutos.

Tenemos aquí un sistema de cuerpos; introduzco en él, por un esfuerzo voluntario, una modificación. Tal modificación, resultante de un esfuerzo, será una cosa *creada*, que podrá transformarse, pero *no desaparecerá nunca*, y que en todas sus transformaciones permanecerá equivalente al esfuerzo producido. He ahí enunciado en lenguaje vulgar el principio de la conservación de la energía.

La observación corriente no es favorable á

este principio. Si muevo una roca sobre una vía horizontal, gasto un esfuerzo considerable, y sin embargo, cuando ceso en mi esfuerzo, la roca se detiene sin haber adquirido una provisión de energía correspondiente, permanece al mismo nivel y he trabajado, al parecer, de un modo inútil. Mi error se debe á que mi observación, precisa desde el punto de vista mecánico, no lo es desde el punto de vista térmico.

La roca no ha ganado energía mecánica rodando sobre una superficie plana; pero su roce ha desarrollado un calor que no he tenido en cuenta. Para observar experimentalmente la conservación de la energía mecánica, hay que escoger un sistema en el que haya sólo fenómenos mecánicos con el menor desperdicio bajo la forma de calor ó de electricidad. Un péndulo bien construído es un buen modelo para tal experimento, sobre todo si se puede evitar su roce contra el aire. Estando en reposo vertical el péndulo, así permanecerá indefinidamente si un hombre, ó un agente comparable á un hombre, no interviene para sacarle de su posición á costa de un esfuerzo. Suministrado este esfuerzo una vez para siempre, el péndulo, abandonado á sí mismo, oscilará, y en cada instante, en energía total, en cuanto péndulo oscilante equivaldrá al esfuerzo empleado para ponerlo en movimiento. Prácticamente, hasta en

las mejores condiciones, el péndulo mejor suspendido, oscilando en el vacío, acabará por pararse, pues su energía mecánica se gastará poco á poco en los roces productores del calor. Así, pues, si se ejerce un esfuerzo en un sistema mecánico, ese esfuerzo se encuentra representado en seguida en ese sistema hasta que sale de él bajo una forma ó bajo otra, pero de un modo equivalente á lo que era al principio.

Si en lugar de hablar ahora el lenguaje corriente, consideramos el sistema formado por el hombre, la Tierra y el péndulo, no hablaremos ya de un esfuerzo creado por el hombre, sino que comprobaremos que la cantidad de energía empleada por el hombre para poner en movimiento el péndulo encuéntrase luego en el péndulo oscilando. Así, en el sistema creado por el hombre, la Tierra y el péndulo, sistema que consideramos provisionalmente como aislado del resto del mundo, ha habido un *desplazamiento* de cierta cantidad de energía, pero con la balanza exacta de ganancias y pérdidas.

Cuando esta comprobación se encuentra en falta, se debe encontrar siempre, representan una parte de la energía mecánica desaparecida cantidades *equivalentes* de calor, de electricidad ó de otra forma cualquiera de energía.

La posibilidad de talequivalencia, establecida por los sabios del siglo XIX, entre las cantida-

des de trabajo y las cantidades de calor, por ejemplo, parece probar más bien que, á pesar de su definición convencional (producto de una fuerza por el trayecto recorrido,  $M \gamma e$ ), el trabajo mecánico corresponde á algo real. Se ha llegado á una definición matemática del trabajo, definiendo separadamente los elementos convencionales; pero en el producto de esos elementos de lo que se llama trabajo, las convenciones de las definiciones primeras desaparecen, como desaparecen en las invariables de una cónica las conversiones que han presidido á la elección de los ejes de coordenadas.

### § 23.—DEFINICIONES SIMÉTRICAS.

Es posible dar, de este principio de la conservación de la energía mecánica, una fórmula calcada sobre la del principio de la inercia. Habiendo visto lo que se oculta de convencional en el enunciado de este primer principio, podemos proponernos buscar, en el enunciado análogo del principio de la conservación de la energía, lo que hay de convencional y lo que hay de verdad experimentalmente conquistada. Hé aquí primero el enunciado calcado sobre el anterior:

Un sistema de cuerpos no puede cambiar por *si mismo* el estado de reposo ó de movimiento de su centro de gravedad.

O también:

El centro de gravedad de un sistema de cuerpos que no está sometido á ninguna acción exterior no puede tener sino un movimiento rectilíneo y uniforme.

Concíbese muy bien que estas dos fórmulas son, en nuestro lenguaje convencional empleando las líneas rectas y las velocidades, la expresión de la conservación de la energía en un sistema aislado (1). Sí, en efecto, sin aporte exterior de energía, el centro de gravedad del sistema sufriese una aceleración, podremos, midiéndola, calcular un trabajo correspondiente, y ese trabajo se habrá hecho con nada.

Supongamos, para fijar las ideas por medio de un sencillo ejemplo, que el sistema aislado lo formen únicamente dos cuerpos. Si uno de ellos sufre, sin aporte exterior de energía, una aceleración dada, el otro deberá sufrir también una aceleración tal que el resultado combinado de esas dos aceleraciones sea para el centro de gravedad de los dos cuerpos una aceleración nula. Bajo esta forma, el principio toma el nombre de *igualdad de la acción y de la reacción*. Conside-

(1) La forma del enunciado así realizado sigue siendo convencional, pues habla del movimiento rectilíneo y uniforme del centro de gravedad; pero el sistema considerado es en sí un sistema teórico irrealizable. No hay sistema puramente mecánico y el valor filosófico de la conservación de la energía está en los principios de equivalencia.

ro, por ejemplo, en el espacio dos de esos móviles teóricos, teniendo uno y otro una velocidad uniforme y una dirección rectilínea. Cada uno de ellos está, por definición, sustraído á toda influencia exterior; y lo mismo ocurre á su conjunto, conjunto cuyo centro de gravedad tiene un movimiento uniforme y rectilíneo. Si los dos cuerpos chocan, toman uno y otro dos aceleraciones, compensándose de tal manera que el centro de gravedad de sus conjuntos continua su marcha monótona.

#### § 24.—EQUIVALENCIA Y EQUILIBRIO.

La consecuencia de estas consideraciones es que, si un sistema de cuerpos puede considerarse como aislado, ninguno de los del sistema puede ser objeto de un cambio sin que el conjunto de los demás sufra como él un cambio correspondiente y que compensa al primero. He propuesto (1) sustituir la expresión «sistema aislado» por la de «sistema completo», que defino por la propiedad que tiene de «llevar en sí su facultad de cambiar». El principio de la conservación de la energía en tal sistema es el enunciado de la existencia de *uniones* entre las diversas partes del mismo.

(1) V. *Las leyes naturales*, op. cit.

Esta observación hácenos comprender que el principio de la inercia tenga la misma forma que el de la conservación de la energía. Una masa continua, un cuerpo sólido, es, en efecto, un sistema de cuerpos reunidos por uniones tales que su disposición relativa no varía.

El movimiento de una masa tal que se mueve uniformemente es, pues, un caso particular del de los cuerpos de un sistema aislado, caso particular en el que todos los cuerpos, componiendo el sistema, tienen velocidades iguales y paralelas.

La existencia de las *uniones* que acabamos de descubrir, bajo el enunciado del principio de la conservación de la energía, se nos manifiesta en la naturaleza de una manera más ó menos evidente, según los casos. Y es fácil de observar, sobre todo cuando no hay en juego más que fenómenos puramente mecánicos, transmisión de movimiento por choques, movimientos pendulares, oscilatorios, etc.

Es más difícil de observar cuando pasa del cantón de la visión de las formas en los diferentes cantones, como en el térmico ó en el sonoro. Pero entonces es más interesante su comprobación. La principal conquista de la Ciencia del siglo XIX es esa de la *equivalencia* de las formas de energía manifestándose en diferentes escalas. El principio general de la conser-

vación de la energía aparece en la comprobación de *uniones* entre las diversas partes del mundo que conocemos y los diversos fenómenos que se manifiestan en él en las escalas más diversas. En otros términos: la conservación de la energía es un fenómeno de *equilibrio* (1). En el universo que conocemos, donde todo cambia sin cesar, los cuerpos que parecen más independientes de los otros, tienen entre sí relaciones ocultas que hacen que ningún cambio sea indiferente al conjunto en que se produce. Y son esas relaciones ocultas las que hemos encontrado el día en que nuestra ciencia impersonal, á través de nuestros modos arbitrarios de notación (2), ha concebido esa *invariante* del mundo perpetuamente movable, invariante que no tiene ninguna escala y que permite, por consecuencia, añadir y adicionar legítimamente cantidades en apariencia tan desemejantes como las cantidades del trabajo mecánico y

(1) Se dice que dos cuerpos están en equilibrio cuando cada uno de ellos es un factor del estado de reposo ó de movimiento del otro.

(2) La noción de masa proviene también de cálculos hechos por medio de elementos convencionales del cantón de la visión de las formas, como he demostrado en *Las leyes naturales*. La ley de Lavoisier, siguiendo la conservación de la masa á través de todos sus avatares, muestra que esa noción tiene, como la de energía, un valor independiente de las convenciones por las cuales se llega hasta ella.

las cantidades de calor. De la noción de esfuerzo, punto estimado de la etapa psicológica, el hombre ha sacado preciosas indicaciones que le han permitido utilizar, en lenguaje matemático impersonal, el punto observado y calculado, que es la conservación de la energía.

\*  
\* \*

El estudio de la conservación de la energía lleva directamente al del equilibrio universal; pero hay un problema importante en el que hemos de ocuparnos antes de abordar la exposición de ese lenguaje nuevo del equilibrio, que será tan fecundo, sobre todo en biología; es el del *sentido*, en el que pasan los fenómenos naturales.

La igualdad que expresa la conservación de la energía no indica de ningún modo que tal fenómeno haya sido la causa y tal otro el efecto; tomando el efecto por causa se obtendría la misma ecuación. Una Memoria de Sadi Carnot es la que ha dilucidado por primera vez el problema del sentido de los fenómenos; se da en consecuencia el nombre de principio de Carnot al principio que indica el sentido del curso natural de los hechos. Vamos á estudiarle ahora, antes de abordar el problema general del equilibrio.