

REAL ACADEMIA DE CIENCIAS
EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

DISCURSO

LEÍDO EN EL ACTO DE SU RECEPCIÓN

POR EL ILMO. SEÑOR

D. LUIS SÁNCHEZ CUERVO

Y

CONTESTACIÓN

DEL ILMO. SEÑOR

D. BLAS CABRERA Y FELIPE

EL DÍA 1.º DE ABRIL DE 1925



MADRID
TALLERES «VOLUNTAD»
SERRANO, 48
1925

DISCURSO

DEL ILMO. SEÑOR

D. LUIS SÁNCHEZ CUERVO

SEÑORES ACADÉMICOS :

GRANDE y justificada ha sido mi vacilación en aceptar el honor que me habéis dispensado al llamarme a formar en vuestras filas; y este vacilar mío, vencido por cariñosas instancias, se inspira en el convencimiento de mi escasa o nula contribución en el cultivo del campo científico.

Si mis entusiasmos de la época escolar pudieron algún día hacerme pensar que mi vida pudiera consagrarse, al menos en parte, a especulaciones puras, ajenas al diario batallar en la lucha por la existencia, bien pronto la realidad se impuso, obligándome, como a tantos otros, a tomar un rumbo que conciliara las aficiones y las aptitudes con las necesidades. La huella imborrable que en toda trayectoria queda del impulso inicial, cualesquiera que sean las fuerzas que posteriormente actúen, me señala el obligado campo de actividad, muy por bajo de las serenas regiones de la Ciencia, y sólo algunas horas por semana, desde hace unos cuantos años, puedo refugiarme y solazarme en el reducido oasis que, para mí, significa mi curso de la Escuela de Caminos.

Pero como la modestia es más sincera cuando es sentida y demostrada por la conducta, que cuando es proclamada con palabras, no quiero insistir sobre la ausencia de merecimientos, y aquí vengo con el firme propósito de hacerme

perdonar mi atrevimiento colaborando con fe en vuestros trabajos dentro de aquellas regiones de la técnica que me son accesibles, y que vienen a constituir el eslabón, cada día más interesante, que enlaza la Ciencia con sus aplicaciones al desarrollo del progreso material.

Ha querido mi suerte que me corresponda el honor de suceder en el puesto que tan dignamente y por tantos años llenó el ilustre ingeniero de Caminos D. Amós Salvador y Rodrigáñez. Separado de él, en el advenimiento a vida ingenieril, por unas tres décadas, pertenecientes, además, a un período de intensa evolución nacional en todos los órdenes, apenas el azar me proporcionó alguna rara ocasión de ponerme, personalmente, en contacto con tan elevada mentalidad y tan peregrino ingenio. Pero si, por esta causa, nada puedo decir de mi eminente predecesor que no pertenezca al público conocimiento de sus proteicas actividades, es para mí una vivísima satisfacción la oportunidad que este acto me depara de rendir a su memoria el homenaje a que es, tan justamente, acreedor.

El recuerdo más vivo, por lo reciente, que mi generación conserva de D. Amós Salvador, es el que se relaciona con sus intervenciones en la política militante. En ella consiguió ocupar los más elevados puestos y en todos dió notorias pruebas de su gran cultura y de su laboriosidad asombrosa, al mismo tiempo que de una rigidez moral no común. Ministro de Hacienda dos veces, a él se debió la afortunada creación del Cuerpo de Contabilidad del Estado. Ministro de Agricultura y, más tarde, de Instrucción Pública y Bellas Artes, en todos los cargos dejó huellas profundas de la facilidad con que su espíritu flexible se adaptaba a las más variadas disciplinas.

Pero esta actuación política no comenzó sino cuando

en 1886, al lograr por vez primera su elección como diputado, ya D. Amós había alcanzado plena madurez, pasados los cuarenta años. Su labor legislativa y gobernante fué precedida de una actividad multiforme, menos conocida pero más interesante para cuantos, gustosamente, nos hemos mantenido aparte de las luchas políticas.

Casi adolescente, apenas obtenido su título de ingeniero de Caminos, reveló una insospechada erudición y un espíritu crítico acertado, en un brillante estudio biográfico y político sobre el marqués de la Ensenada, estudio que mereció preciada distinción en un concurso. Su no interrumpida contribución cultural se manifestó, después, en numerosos folletos y conferencias sobre los más variados temas literarios, artísticos y científicos, cuya exposición sabía siempre hacer en términos de amenidad y sencillez extraordinarias. Algunos de estos trabajos, como fueron sus conferencias en el Círculo de Bellas Artes, sobre *Perspectiva lineal*, fueron durante muchos años el texto adoptado para su enseñanza en varios Establecimientos, incluso en los estudios de preparación para el ingreso en la Escuela de Caminos.

Su conocimiento en los más variados ramos de saber hizo que le abrieran sus puertas, primero, la Academia de Bellas Artes, en 1893; la nuestra, cinco años más tarde, y, finalmente, la de Ciencias Morales y Políticas, en 1903. La inquietud espiritual de D. Amós, lo mismo abordaba asuntos de técnica artística al tratar de la *Perspectiva lineal y del relieve*, como de técnica gramatical en su discurso sobre *La Gramática en el examen de ingreso para la segunda enseñanza*, leído en la Academia de Ciencias Morales y Políticas; como de técnica militar en sus estudios titulados *Concepto de la Estrategia y Estrategia Naval*. Ciertamente es que, cediendo a la tendencia entonces en boga, D. Amós Salvador mordió en

la manzana de la política, y que a partir de este instante a la política dedicó una gran fracción de su tiempo y de sus pensamientos, destacando su personalidad con relieve extraordinario. Pero no debemos ver en él ni conservar de su recuerdo esta sola faceta de su saber; por el contrario, pensemos en lo notable que ha sido su aportación al acervo de la Ciencia y de la Técnica, y lamentemos, desde mi punto de vista, que la invencible inclinación a que cedieron tantos espíritus selectos en el último medio siglo, limitara la próspera cosecha que D. Amós rindió a la cultura científica española.

Al decir de cuantos tuvieron la fortuna de tratarle íntimamente, más que el hombre culto, con valer mucho, valía el hombre bueno. Su amor a todas las causas justas; su cordial acogida a cuantos a sus puertas llamaban pidiendo ayuda o consejo; su lenguaje esmaltado de palabras y giros clásicamente riojanos; su tuteo paternal a los jóvenes compañeros, fueron siembra continua de simpatías y afectos que le acompañaron a su tumba. ¡Que Dios le haya concedido el premio y el reposo que merece su fértil vida, ejemplo de bondad y de trabajo.

* * *

Rendido este tributo al recuerdo del hombre, por tantos títulos ilustre, a quien inmerecidamente sucedo en esta Academia, deber obligado, a que presto acatamiento, es el de leer una disertación sobre algún punto, relacionado con las materias que, principalmente, sirvieron de empleo a mi tiempo y de alimento a mi actividad. De entre aquéllas he escogido, por ser de las menos áridas y de mayor interés común, algunas notas sobre *La Energía*.

LA ENERGÍA

Su definición

De «epopeya de la humanidad» calificaba Ostwald la evolución del concepto de la energía, el más grandioso de cuantos, en el pasado, surgieron de la mente humana. Si *algo sucede*, es porque existe una transformación de energía. Sin ella no ocurren acontecimientos, *nada pasa*, el mundo es una tumba. De los dos clásicos conceptos, *materia* y *energía*, el primero se esfuma cada vez más para dejar al segundo que invada el Universo entero.

El concepto de *energía* es relativamente reciente, al menos con el claro significado con que aparece ante el hombre culto. El desarrollo de la civilización se ha realizado por etapas, caracterizada cada una por el uso de ciertos materiales o herramientas, y así hablamos de las edades de *piedra*, de *bronce*, de *hierro*. El progreso de la raza humana o es consecuencia o está asociado íntimamente con inventos o descubrimientos tales como el arco y la flecha, el fuego, el huso y la rueca, la pólvora, la imprenta y otros más recientes, como la máquina de vapor, el telégrafo y teléfono y el generador eléctrico. Son los medios de comunicación entre los humanos, llámense ferrocarril, imprenta, telégrafo o teléfono, los que, permitiendo la división del trabajo y la cooperación intelectual, han sido causa del enorme crecimiento en la velocidad del progreso. Pues bien: como estrato básico en que este progreso se cimenta, hallamos siempre la utilización de la energía, cada vez en escala mayor, por su creciente baratura y su más fácil acceso o distribución.

Todas las necesidades humanas, imprescindibles o sun-

tuarias, son satisfechas a través de la mano de obra, los materiales y la energía. El primero de estos tres factores es, a su vez, un compuesto de inteligencia y energía muscular. El alimento, el vestido, la vivienda, los medios de transportes y de comunicación, la luz artificial, el calor, etc.; todo supone y exige una transformación de energía, y hasta tal punto la civilización descansa sobre ella, que el cegar o tasar sus fuentes de generación significaría el retorno inmediato a la barbarie. Bien justificado estaría, pues, designar a nuestra época por *Edad de la Energía*.

¿Existe una buena definición de la *energía*? Estos conceptos tan amplios y universales presentan dificultad grande a dejarse encuadrar en una definición, aunque su realidad objetiva pueda no presentar duda alguna a la inteligencia. Tal pasa con el espacio, el tiempo, la electricidad, etc.

Se ha definido la energía, llamándola *«trabajo almacenado o capacidad para realizar trabajo»*. Se ha dicho que es *«una condición de la materia en virtud de la cual una parte definida de ésta puede cambiarse en otra parte también definida»*. Otras veces se pretende expresar su esencia diciendo que *«es el atributo de un cuerpo o de un sistema material en virtud del cual el cuerpo o el sistema puede realizar un trabajo»*; el trabajo, a cuya definición simultánea obliga, sería *«el vencimiento de una resistencia mientras se recorre una distancia»*.

Tal vez una definición impecable para un físico sea la que da el Instituto Smithsonian al decir: *«Cuando el punto de aplicación de una fuerza que actúa sobre un cuerpo se mueve en la dirección de la fuerza, ésta realiza un trabajo, siendo la medida de éste el producto de los números que miden la fuerza y el desplazamiento.»* La fórmula dimensional de la energía es, pues:

$$ML^2T^{-2}$$

«El trabajo ejecutado por la fuerza produce, sea un cambio en la velocidad del cuerpo, sea un cambio en la forma de éste, o, finalmente, produce a la vez ambos cambios. En el primer caso, el resultado es un cambio de energía cinética.»

No es preciso decir que si tal definición es irreprochable para el hombre versado en ciencias, daría al ignaro una idea infinitamente menos clara de la energía que el simple acto de elevar un peso. Dejemos, pues, que cada uno se la defina a su modo — o no se la defina — y pasemos revista a las fuentes u orígenes de energía que la humanidad tiene a su alcance para satisfacer sus crecientes necesidades.

Fuentes de energía

Toda la energía al alcance del hombre, si se exceptúa la que de un modo esporádico aportan a nuestro planeta los aerolitos, procede originalmente del Sol, legítimo rey, en el orden físico, de la Naturaleza, que de su benéfica influencia recibe la vida, tanto en el reino vegetal como en el animal.

Cuando quemamos carbón o petróleo, usamos una energía almacenada por la radiación solar hace millones de años, en los bosques de la época carbonífera. Son estos almacenamientos de energía fósil, como con elegante frase dijo un físico, los charcos que dejó dispersos, acá y allá, el reflujó de la marea cósmica. Cuando utilizamos un salto de agua, es también energía solar la que evaporó las aguas del Océano formando nubes que se condensaron en las tierras de fuerte altitud, para ser captadas por el ingenio humano y aprovechado el trabajo representado por su descenso. La alegre llama de la leña que ardiendo en el hogar conforta el cuerpo y el alma, tal vez nos fué enviada por el astro rey en la pasada

primavera y almacenada por misterioso proceso biológico. La energía muscular del hombre y los animales del Sol procede a través de transmutaciones mágicas, cada una de cuyas etapas, desde el desarrollo del vegetal hasta la combustión de los tejidos vivos, supera en misteriosa grandeza a las más impresionantes taumaturgias. La energía cinética que representan los movimientos de nuestra vivienda planetaria, del padre Sol se desprendió. El calor interno de la Tierra, igual origen tiene. En el mismo taller se forja el rayo, se producen los vientos, se forman las olas, se ordenan el flujo y el reflujos de los mares, y, en una palabra, allí se concentra cuanto concierne a las relaciones que bajo el aspecto de la energía, es decir, de la vida terrestre entera, mantiene el Creador con sus criaturas, a través del sutilísimo e inmaterial enlace representado por el llamado éter universal o imponderable.

Aunque sea el Sol el origen primero de toda energía en nuestro planeta, considerada aquélla en un instante actual, cabe tal vez clasificarla, *por su procedencia*, en las siguientes:

1.º Energía radiante recibida directamente del Sol.

2.º Energía mecánica, almacenada en los movimientos terrestres u obtenible de las mareas, para las cuales la Luna descarga casi íntegramente de su cuidado al Sol.

3.º Energía térmica, almacenada también desde la cuna de nuestro planeta, en su calor interno.

4.º Energía procedente de las sustancias radioactivas.

Si en cada una de estas procedencias queremos diferenciar las formas con que la energía se manifiesta al conocimiento humano, podríamos establecer las siguientes subdivisiones:

Energía solar: Radiación directa bajo forma de luz, calor, energía química o actínica. La atmósfera terrestre nos roba, probablemente, una considerable parte de esta ener-

gía espectral, transformándola en otras manifestaciones:

Vida vegetal.

Combustibles, sean carbón, petróleos o gases.

Energía muscular del hombre y los animales.

Agua corriente.

Viento, en la parte que no es originada por la rotación terrestre.

Movimientos de la Tierra: Mareas.

Viento, en parte, y olas.

Calor interno: Volcanes.

Manantiales de agua caliente.

Geysers.

Radiactividad: Radio.

Energía del Sol: La parte de energía solar que a la Tierra llega, en forma de radiación, es enorme. Si se prescinde de la absorción por la atmósfera, la energía recibida, cada minuto, por un centímetro cuadrado de superficie normal a los rayos solares, a la distancia media que separa el Sol y la Tierra, se eleva a 2,1 calorías, que equivalen a una potencia de 1,47 kilovatios por metro cuadrado, o un millón y medio de kilovatios por kilómetro cuadrado. Cuando todos los saltos de agua de posible utilización se encuentren ya aprovechados; cuando se hallen exhaustas las minas de carbón y los yacimientos petrolíferos; cuando se hayan agotado las escasas posibilidades prácticas que ofrecen los vientos, las mareas y las olas, la probable fuente de aprovisionamiento será la radiación solar. En las zonas tórrida y templada hay extensiones inhabitadas y aun inhabitables, que reciben en forma de radiación solar una potencia de varios millones de millones de kilovatios, es decir, millares de veces más que lo que se calcula permiten obtener los saltos

de agua del mundo entero, sumado a lo que representa todo el consumo de carbón y petróleo. Pero, infortunadamente, esta catarata de energía es imposible de captar económicamente, al menos con los medios que hasta nuestros días ha creado el ingenio humano. Ciertamente es que la extrema dilución de esa energía ha sido combatida concentrándola por medio de reflectores para producir vapor y accionar algún pequeño motor; mas la complicación y el costo son tan elevados, que sólo a título de alarde de ingenio o de vanidad suntuaria o extrema necesidad, y con sola aplicación a ínfimas potencias, cabe tomarlo en consideración.

Algunos eminentes pensadores, como el Dr. Steinmetz, han sugerido la idea de que el aprovechamiento futuro de la energía solar habrá de hacerse a través de la biología, por un proceso selectivo, resolviendo a la vez los dos problemas capitales: el de la energía y el de la alimentación.

Son de conocimiento vulgar los milagros que realiza la paciente selección. Cuando empezó a utilizarse la remolacha en la producción industrial del azúcar, el tamaño de esas raíces era, próximamente, la mitad del actual y también era la mitad la proporción de azúcar que contenían. Las hojas son captadores de energía que almacenan la que del Sol les llega, a través de la clorófila, para producir compuestos químicos; pero esta succión de energía es muy lenta y supone la vida entera de un hombre obtener un bosque de importancia escasa. ¿Por qué la habilidad humana no ha de poder crear, selectivamente, generación tras generación, nuevas especies vegetales cuyo desarrollo fuera cien veces más rápido que el de las actuales? Tal vez por este laborioso e inteligente proceso se llegue a recoger anualmente de nuestras tierras una cosecha anual de energía, particularmente si ésta se obtuviera en forma de alta calidad que no requi-

riese pasar, para su aprovechamiento, por la transformación en energía degradada o calorífica.

Dos clases de compuestos intervienen en la producción de los alimentos, a saber: los hidratos de carbono, productores de calor, y los nitratos, productores de vida. Los hidratos de carbono constituirían la cosecha de energía solar, y quedaría a resolver el problema del abastecimiento de nitrógeno, es decir, de proteína. Tal como ésta se obtiene de los vegetales y carnes, significa un derroche incalificable y extravagante; sólo una pequeñísima parte de la planta es proteína, y, aun así, requiere un año para su producción. Si para obtener proteína animal se pasa por la cría de ganado de cualquier género, el rendimiento es todavía más mediocre y el proceso más lento.

Pero la formación inicial y natural de la proteína es debida exclusivamente a micro-organismos, que nunca han sido tratados de un modo sistemático con miras a activar su función. Mientras que las plantas, aun supuesto el logro de especies más interesantes que las actuales, requieren al menos un año para cada generación, los micro-organismos dan una o más generaciones por día, es decir, una velocidad de creación centenares de veces mayor.

La cosecha vegetal, secada por el Sol, se convertiría íntegramente en combustible gaseoso, retornando al suelo, con las cenizas, los compuestos nitrogenados fertilizantes. El gas se utilizaría en máquinas de combustión interna, cuya energía irradiaría a amplísimas zonas de consumo, a favor de líneas de elevada tensión, del orden del millón de voltios, o se exportaría la energía en forma de combustibles líquidos obtenidos de aquellas destilaciones.

Así es como se entrevé la posibilidad de una ulterior solución de los dos problemas capitales: utilización de la energía

radiada del Sol y alimentación de la especie humana, quizás sin ampliar apreciablemente las actuales áreas de cultivo.

Energía de la Tierra

De los dos principales movimientos de la Tierra, el de traslación a lo largo de su órbita es obligada función de las leyes de movimientos planetarios, y persistirá mientras un astro no venga a perturbarla. No sucede lo mismo con el movimiento de rotación alrededor de su eje, el cual cabe suponer que pueda disminuir en velocidad, alargando la duración del día. Algunos fenómenos, como, por ejemplo, las mareas y vientos, representan un freno de aquel movimiento de rotación, aunque de efectos tan lentos que escapan a la mensurabilidad. La Luna ha llegado ya a la anulación de su movimiento rotatorio, describiendo sus puntos todas trayectorias paralelas e iguales según su órbita, si se desprecia la curvatura de ésta, y volviendo siempre a la Tierra un mismo hemisferio. Nada impide suponer que un proceso semejante pudiera seguir nuestro Planeta, y es curioso examinar la energía que por este hecho podría sacarse del almacén que su fuerza viva de rotación significa.

Para no perdernos en cifras inexpresivas por lo enormes, supongamos que al eje de la Tierra aplicáramos un potente freno o de él tomáramos movimiento para accionar generadores eléctricos. Si la potencia así creada a expensas de la energía rotatoria terrestre fuera de 1.000 millones de caballos y esta potencia la captáramos sin descanso durante 70.000 años, todo el efecto logrado al cabo de este enorme lapso de tiempo se manifestaría por el aumento de cinco minutos en la duración del día medio.

Y no es que la velocidad angular de la Tierra, con el cuadrado de la cual varía la energía rotatoria, sea grande; es, por el contrario, pequeñísima comparada con las que el hombre está acostumbrado a contemplar en sus máquinas. Es sólo de una vuelta por veinticuatro horas, o expresada en *radians* por segundo, al modo usual, de 0,00007. A pesar de esta lentitud, no puede uno sustraerse a la impresión que producen las cifras colosales de energía antes apuntadas; pero la razón reside exclusivamente en la pequeñez humana, en lo modestísimo de la escala en que se desarrollan sus actividades todas.

Otra fuente de energía en la Tierra almacenada es la de su calor interno. Bien poco es lo que sobre esto se sabe, y apenas cabe salir del terreno de las conjeturas. Cada treinta metros que en la Tierra se penetra verticalmente, la temperatura se eleva, poco más o menos, en un grado centígrado. De aquí se pretende inducir que a 15 kilómetros de profundidad reinará la temperatura del rojo, y que a 50 kilómetros las materias todas que forman el globo terrestre se hallan en estado líquido, a pesar de las enormes presiones a que están sometidas.

Muchos sabios niegan la posibilidad de que tal costra sólida, finísima si se compara con el radio terrestre, pueda contener la enorme masa de sustancias líquidas o fundidas, y buscan la explicación de los fenómenos de vulcanismo en otras causas muy distintas. Sea de ello lo que quiera, pocas son las esperanzas que cabe concebir en el calor central como fuente de energía que el hombre haya de emplear en la satisfacción de futuras necesidades.

El combustible

En toda la historia de la Humanidad, y todavía por muchos años, la más próspera fuente de energía que al hombre cabe utilizar es el calor almacenado en los combustibles, sean carbón, petróleo, alcohol, gas o madera. El consumo de carbón, si se atiende a la marcha general de su crecimiento, muestra hasta el término de la primera década del presente siglo un alarmante y constante incremento. Si aquel consumo se representa por una curva en coordenadas cartesianas, su segunda derivada se conserva constantemente positiva. A partir del estallido de la guerra mundial se contiene aquella velocidad de crecimiento, mientras se acentúa para el petróleo y sus derivados. La aviación, el automovilismo y el creciente uso de motores alimentados con aceites pesados, justifican la hipótesis de una posible penuria y explican la competencia encarnizada de todas las naciones poderosas, en lucha por la posesión de yacimientos petrolíferos.

La total extracción mundial de carbón es del orden de 1.000 millones de toneladas por año. ¿Hasta cuándo podrá durar este drenaje exhaustador de los recursos naturales? Estimaciones que se reputan de bien fundadas, afirman que existen en el mundo todavía inexplorados cuatro billones de toneladas de hulla que, si la intensidad de extracción no aumentara, asegurarían la satisfacción de la necesidad de este combustible por dos o tres mil años. Difícil es la predicción en estas materias; pero sí es cierto que lo más accesible es lo que ya se explota y que la continuación de la actual velocidad de crecimiento del consumo habrá de luchar con ingentes obstáculos que tal vez obliguen a cambiar el rumbo.

En la utilización intensificada de la energía hidráulica, asociada a la producción de electricidad, se encuentra tal vez el camino a seguir en un futuro próximo para frenar el consumo de carbón. No es esta energía un almacenamiento fósil y, por ello, agotable fatalmente; por el contrario, la energía radiante que del sol llega a los mares del planeta se encarga de renovar anualmente la valiosa cosecha, y este proceso durará cuanto dure el agua sobre la superficie terrestre. Cuando la tenue película que cubre unas tres cuartas partes de aquélla haya desaparecido, el hombre, organizado al modo actual, no existirá. El ensayo de encarnación transitoria ordenado por el Creador para cumplir en este pobre planeta una etapa de la evolución infinita espiritual hacia una asíntota de perfección, habrá de proseguirse en un medio más favorable, y el intervalo transcurrido entre la aparición sobre la tierra del *homo sapiens*, cuando las condiciones le han sido propicias y su definitiva eliminación de este escenario, apenas contará por un segundo en la historia del universo.

La energía hidráulica

Constituye la gran esperanza para la satisfacción del hambre de energía en las dos o tres centurias próximas, a menos que algún invento de los que producen un punto anguloso en la trayectoria de la civilización, tal como el aprovechamiento de la energía intra-atómica, se ofrezca a las posibilidades del hombre.

La estimación de los recursos hidráulicos desde el aspecto de la producción de energía conduce a cifras que se aproximan al millar de millones de caballos, una quinta parte de

los cuales se hallan enclavados en regiones accesibles a las zonas civilizadas.

Tal cálculo representa una aproximación muy grosera, pues ni en las naciones más adelantadas se ha hecho aún una ordenación, seriamente emprendida, para el cómputo de la energía hidráulica. Es explicable este retraso, porque esta energía no ha tenido apenas valor mercantil hasta que los maravillosos progresos de la industria eléctrica han permitido la conexión económica entre los puntos de producción y los de consumo, cosa que data de ayer y se encuentra todavía en plena fermentación técnica.

Además, todo hace suponer que aquella estimación se basa en la cantidad de precipitaciones y en las altitudes medias de los Continentes, implicando, por tanto, la regularización de los regímenes de los ríos mediante embalses. Si así es, las posibilidades que aquella cifra sugiere quedarán muy limitadas por las dificultades económicas y de variado carácter que a la regularización se oponen. Sin el sobregasto de la regularización de caudal, son ya muchos los casos en que el costo actual del carbón y de la energía con él producida hace comercialmente inaceptable el aprovechamiento de saltos de agua.

Una idea fecunda, que nuestra Patria no anduvo remisa en concebir, pero sí tarda en desarrollar, es la de conectar por una red nacional de líneas eléctricas, de mutuo intercambio y ayuda, los saltos alimentados por cuencas de fuerte altitud con los que poseen su cuenca sirviente a pequeña cota media. Este enlace de zonas hidráulicas de sequiaje invertido, combinado con la cooperación de centrales térmicas en boca de mina, quemando carbones de calidad muy baja, está llamado a producir resultados muy beneficiosos, y señala una orientación de indudable acierto.

Los vientos

De utilización antiquísima, desde que el hombre alcanzó cierto grado de civilización, debemos gratitud a la energía de movimiento que los vientos representan y que justifican al paganismo cuando les adjudicara una deidad, a veces irridada, a ratos propicia. Fué el viento quien permitió el contacto de unos pueblos con otros a través del mar que les separaba, y en sus alas viajó la cultura desde las cumbres de pueblos más adelantados a los senos o valles de la ignorancia. El viento, soplando en las velas de las frágiles embarcaciones, transportó el alfabeto, la numeración y el arte de cultivar las tierras. También en las altas y llanas mesetas asiáticas permitió el viento, en remotísimas épocas, salvar distancias que de otro modo hubieran sido prohibitivas para la comunicación entre los habitantes de aquellas tierras. El pan, alimento característico de la civilización, sirvió de acicate para ejercitar el ingenio humano en busca de la moltura económica y eficaz de los cereales por el viento.

Pero después de dedicar a la energía del viento un tributo de gratitud, justo es confesar que muy pocas esperanzas cabe fundar en ella para el futuro consumo. Se caracteriza aquella energía por su escasa concentración, su irregularidad y su carácter eventual, defectos que no bastan a compensar su baratura. Esta última cualidad hará que por mucho tiempo se conserve la navegación a la vela para el transporte de productos cuyo precio no consiente fácilmente la navegación por medio del vapor y cuyo plazo de viaje es, en amplia medida, indiferente; tal sucede con la sal común, los nitratos de Chile, etc. Fuera de estos casos, quedará relegada su

utilización a pequeñas bombas de abastecimiento de agua de pozo, agotamientos y otros similares.

Las mareas

Fuente también misérrima, si se considera desde un punto de vista mundial, no obstante haber sugestionado tantos cerebros inventores.

La carrera media de marea en las costas civilizadas de todos los Continentes, probablemente no llega a 2,5 metros y, con tan débil salto, se requieren circunstancias particularísimas de grandes estuarios con fácil cierre para que la producción de energía resulte remuneradora.

Además de ser tan escaso el desnivel, sólo la mitad de él entra en juego a los efectos de la potencia media obtenible durante el tiempo de marcha.

Las olas

La energía contenida en los movimientos ondulatorios de los mares agitados por el viento ha sido sometida fructuosamente al cálculo, llegando a establecer leyes que concuerdan exactamente con la experiencia. La potencia que tal movimiento implica es proporcional al desarrollo de la cresta y depende a la vez del cuadrado de la altura y de la relación, también en segunda potencia, de la altura a la longitud, siendo esta última la distancia entre dos crestas consecutivas. La energía de tal movimiento ondulatorio puede ser elevadísima. Un suave y rizado oleaje de ondas trocoidales con altura de olas de 15 centímetros, y en el que la longitud

—distancia entre crestas—sea de 8 metros, suministraría una potencia teórica de un octavo de caballo por metro lineal de cresta. Las olas más fuertemente tempestuosas, rara vez observadas, de gran velocidad, correspondientes a una altura de 25 metros y 120 metros de longitud de onda, suponen, por metro de cresta, una potencia o energía por segundo de tiempo superior a 10.000 caballos.

Pero, ¿quién capta esta potencia, ni aun otras que se cifran considerablemente por bajo?

El ingenio de los proyectistas se ha ejercitado sin trabas en este sugestivo tema. Renunciando, con lógica, a domeñar la tempestad, y acomodando, económicamente, el proyecto de instalación generadora a un valor medio que reine bastantes días del año, los aparatos o artefactos ideados, apenas salidos, es verdad, de la esfera de la especulación imaginativa, tratan unas veces de captar la energía representada por la elevación y el descenso de las partículas superficiales y de las próximas a la superficie; otras veces los medios de captación se fijan en la componente horizontal o de vaivén del movimiento de dichas partículas; otras, en fin, el inventor concede preferencia en su aparato a la utilización del impacto con que la ola rompiente en la playa extingue su vida.

La dificultad básica que hace augurar mal de semejante fuente de energía, estriba, no sólo en los órganos captadores, sujetos a los embates de las tormentas en las costas, que son interesantes en cuanto a la energía de sus olas, sino también en los mecanismos transmisores a la maquinaria que industrialmente ha de utilizar aquella energía.

Añádase a estos no despreciables obstáculos los que significan los aparatos de regulación para convertir en movimiento uniforme los intermitentes e irregulares espasmos del

oleaje; súmese a estos obstáculos la dificultad de acomodarse en cada momento a la altura de marea; adiciónese la necesidad de almacenamiento de energía que requiere un suministro de carácter tan eminentemente variable y eventual, si la instalación generadora ha de llenar las condiciones de continuidad y uniformidad, y se comprenderá las formidables barreras que cierran el paso a una sistemática utilización de la energía de las olas.

Energía muscular

La ciencia y el arte de la ingeniería, sujetando a servidumbre las energías de la Naturaleza, han sido los verdaderos redentores de los esclavos, cuya existencia constituía una necesidad social, de imposible sustitución en muchos países, a despecho de tantos siglos de cristianismo.

La necesidad social del trabajo corporal humano ha quedado eliminada por la captación o aprovechamiento de energías naturales. Desde el remero de la galera, obligado complemento del viento en maniobras o en calmas, hasta el segador, que ve su dura labor cumplida sin fatiga por la ingeniosa máquina agrícola, todos deben su liberación al ingenio y la ciencia del hombre, aplicado a la busca del mayor lucro y del óptimo rendimiento.

En efecto: aunque el rendimiento del motor humano es bastante elevado—un 8 por 100—, mayor que el de la mejor locomotora, su rendimiento en precio es muy bajo. El valor comercial de los 250 vatios-hora que diariamente pueden obtenerse sin agotamiento del hombre sano y de entrenamiento medio, apenas valen en el mercado 15 céntimos de peseta, mientras el conjunto de necesidades a satisfacer, comprendi-

do alimento, vestido, albergue, reparaciones—enfermedades—y sin contar los deberes y gastos que la familia impone—sostenimiento de la mujer—y sin computar tampoco, para su amortización, el gasto de primer establecimiento—niñez y adolescencia, hasta que pueda dedicarse al trabajo corporal—, no significan menos gasto de cinco pesetas diarias. Por triste que sea el decirlo, en este sencillo cálculo de crematística, más eficaz, desgraciadamente, en algunos casos, que las predicaciones del Cristianismo, estuvo basada en gran parte la abolición de la esclavitud.

Las condiciones y facultades nativas del ser humano le hacen poco apto para la generación de kilográmetros, y el progreso acentúa cada vez más esta ineptitud. La distribución de la energía ingerida puede polarizarse parcialmente, por el hábito, en un sentido u otro, variando del ser primitivo al ser civilizado y, dentro de éste, del trabajador manual al intelectual; pero no puede haber duda de que la trayectoria media, despreciando irregularidades accidentales—guerras, modas deportivas, etc.—, se dirige hacia la mejora de la fracción que de la total energía, recibida en forma de alimentos, se aplica a actividades de orden superior al trabajo mecánico. El hombre del porvenir, ni aun en el trabajo de trasladarse, gastaría apenas unos ergios por día. Se construyen ahora generadores termoeléctricos e hidroeléctricos con potencia unitaria de más de 80.000 caballos. Estos 60.000 kilovatios pueden producir en una jornada casi 1,5 millones de kilovatios-hora, es decir, la equivalencia del trabajo muscular de seis millones de hombres, muchedumbre superior, por mucho, a los cuatro millones y medio de esclavos que contenía América del Norte antes de la guerra de Secesión.

La máquina humana en este aspecto, como en todos, es maravillosa. Aunque se la haya asimilado con frecuencia a

un productor térmico de energía, que absorbe calorías y rinde trabajo mecánico, es lo cierto que nada que a esto se acerque ocurre en la realidad, pues, siendo su temperatura prácticamente constante, la segunda Ley de la Termodinámica asignaría a tal clase de máquina un deplorable rendimiento. Las transformaciones de la energía, desde el alimento hasta la combustión de los tejidos musculares, son hasta ahora de complejidad casi inasequible al estudio y aun a la hipótesis razonable. La electricidad parece, sin embargo, intervenir sin duda, y la histología muestra que en la transmisión de la onda nerviosa, desde el cerebro a los músculos ejecutores, hay una patente semejanza entre la función de los conductores discontinuos, como el primitivo cohesor de limaduras, y la de las neuronas y extremidades de las fibras nerviosas, tal como resulta de los estudios de Cajal.

El trabajo corporal del hombre y el de los animales, que tan predominante lugar han ocupado en la Historia, lleva camino de desaparecer por entero, y, desde ahora, el tanto por ciento que representa en el balance anual de la energía es prácticamente despreciable. Así contribuye la ingeniería a la elevación del espíritu, realizando los fines inescrutables que motivan nuestra presencia en la tierra al consentirnos el cultivo más y más intenso de las facultades mentales.

Energía intra-atómica

Hombres de positiva ciencia ven en la energía condensada en forma de materia la linfa inagotable y siempre presta a brotar para calmar nuestra creciente sed.

Si en los explosivos más potentes se acumula en cada gramo de peso la equivalencia de algunos miles de calorías,

la desintegración espontánea de un gramo de substancia radiactiva, tal como el radio, torio o uranio, desarrolla muchos millones de calorías, es decir, es muchos millares de veces mayor que la del más terrible explosivo. Pero, desgraciadamente, desde nuestro punto de vista, mientras en éste la liberación de la total energía se hace en brevísimo tiempo, nadie ni nada ha podido, hasta ahora, forzar la potencia obtenible de un gramo de radio, es decir, la velocidad con que aquella energía es cedida. Ni las más elevadas temperaturas, ni las fortísimas presiones, ni los más potentes campos electrostáticos, nada logra perturbar la parsimonia con que el calor emana del radio.

La energía interna de éste presenta caracteres esencialmente diferentes de los de la energía química. Obedece aquélla a la ley exponencial, es decir, a la ley de la probabilidad, que rige también el desarrollo de energía producida por las fuerzas cósmicas.

Si consideramos a los sistemas planetarios como átomos cósmicos, las mismas leyes que rigen la energía representada por el lanzamiento de masas planetarias en el universo son aplicables al lanzamiento por el átomo de radio de partículas α y β al espacio ambiente. Cuando se hallan en presencia masas de cualquier naturaleza, que obedecen en sus atracciones a fuerzas centrales, como ocurre con el sol, los planetas y los cometas de nuestro sistema, y como parece ocurrir entre los electrones positivos y negativos del átomo, nacen movimientos orbitales más o menos complejos. Si en estos movimientos llegan dos masas a estar suficientemente próximas, pueden cambiar entre sí energía; sólo es cuestión, en este caso, de probabilidad el que, a consecuencia del cambio de energía, una de las masas adquiera suficiente velocidad para sustraerse a la atracción del sistema y lanzarse al infi-

nito espacio, convirtiéndose en partícula proyectada fuera del átomo o sistema solar.

Nuestro sistema solar constituye un átomo estable, por estar formado de solo un sol, como masa central, y de planetas que recorren órbitas casi circulares, que no les consienten una aproximación suficiente para que su velocidad quede afectada por ello. Solamente los cometas, con órbitas elípticas de fuerte excentricidad, parecen haber sido lanzados en algunos casos, tras de una visita a las proximidades solares, al espacio infinito, en órbitas abiertas. En sistemas solares que posean dos o más grandes masas centrales, como frecuentemente ocurre, cabe la posibilidad de que sus planetas se acerquen hasta el punto de causar modificaciones de su velocidad, como consecuencia del intercambio de energía, tales que se origine la desintegración del átomo cósmico por la proyección de partículas planetarias. Estaríamos entonces en presencia de átomos inestables.

Aceptada esta asimilación, que las actuales ideas sobre la constitución del átomo parecen justificar, llegamos a la consecuencia de que la energía liberada por la desintegración es la procedente de movimientos orbitales, lo que explica a la vez su enorme valor y la indiferencia del fenómeno a la acción de causas exteriores. Sigue el fenómeno las leyes de la probabilidad porque ésta es la que determina que se produzca el conjunto de circunstancias requerido para que las relaciones de posición y de velocidad de las partículas causen el escape de una de ellas, como producto del recíproco conflicto.

Es interesante notar que la radiactividad, es decir, la inestabilidad, es propiedad peculiar de los átomos más pesados. Si se considera la enorme suma de energía intra-atómica concentrada en el radio, hay que imaginar que no la tienen

menor, sino tal vez mayor, los átomos estables. Así, el uranio, pariente próximo del radio, se convierte en éste, liberando calor, lo que prueba que su energía interna es superior a la del radio aunque su radiactividad sea millones de veces menor.

OTRAS FUENTES DE ENERGIA

La electricidad atmosférica

Aunque hayamos pasado revista rápida a las fuentes más importantes de la energía al alcance del hombre, es evidente que la lista no queda agotada, ni remotamente, pues el universo entero se encuentra sumergido en un infinito océano de energía.

Por ejemplo, conocido es el hecho del aumento de potencial electrostático con la altitud. La comunicación establecida entre dos zonas de diferente elevación permitiría convertir en actual la energía que tal campo de fuerzas implica, como lo hizo por primera vez Franklin con su cometa.

La dificultad de un aprovechamiento de carácter algo sistemático se deriva de la difusión de esa energía que, para ser captada en cantidades apreciables, exigiría órganos de desmesurada extensión y difíciles de mantener. De vez en cuando leemos en la Prensa de vulgarización científica que, mediante tal sistema de globos o de armaduras elevadas, se ha conseguido drenar de las altas capas atmosféricas electricidad suficiente para la alimentación de instalaciones generadoras de ensayo. Jamás, que sepamos, se ha comprobado este género de noticias, que, o son solamente producto de fermentos imaginativos, o responden a presuntas pruebas

concluyentes de experimentadores faltos de cultura sólida y del juicio crítico necesario.

La concentración de la energía diluída en el campo electrostático que rodea la tierra se produce espontáneamente y pasa al estado actual cuando se descarga, durante las tormentas, el condensador formado por las nubes y la tierra, dando lugar al rayo. Parece, en una primera impresión, que si llegáramos a domesticar esta potente manifestación de energía natural, domeñando su salvajismo explosivo, obtendríamos una suma interesante de energía.

Sin embargo, nada hay más lejos de la realidad. La energía desarrollada en la descarga ruptiva ofrece los caracteres de una explosión rapidísima; el factor de intensidad de aquella energía—tensión eléctrica—es de enorme valor medio, del orden de 50 millones de voltios; el factor intensidad eficaz de la descarga oscilante es de valor apreciable, por ejemplo, 1.000 amperios; pero, aunque la potencia media así desarrollada durante el fenómeno sea tan elevada—50 millones de kilovatios—, la brevísima duración de este régimen, duración que puede estimarse en una milésima de segundo, conduce a un desarrollo total de energía equivalente a medio kilovatio-hora. Con arreglo a las tarifas de alumbrado eléctrico que en Madrid rigen, el valor comercial de la energía de un rayo es, pues, apenas de 50 céntimos, aunque el Municipio y el Estado no eximieran de sus impuestos a tales manifestaciones de la actividad atmosférica, una vez aprovechables. Bastaría este sencillo cálculo para aplacar las fantasías exaltadas, en busca siempre de un maná energético.

Energía biológica

Ascendiendo en las categorías de la energía es, tal vez, lícito apuntar a formas superiores y, por ello, de complejidad infinitamente mayor. Tal ocurre con la energía biológica y con la energía psíquica, a las que dedicaremos algunas palabras.

Ante todo, ¿es lícito calificar de *energía* la biológica, en el sentido que venimos dando a aquella palabra? Aunque el uso vulgar lo autorice así, parece evidente que la energía biológica es algo *especial*, distinto de cualquier forma de energía, que no puede expresarse ni medirse en kilográmetros, ni aun siquiera cabe para definirla referir su conocimiento a ningún otro. Lo mismo ocurre con la electricidad, así como todo lo fundamental. Cabe definir el magnetismo como una manifestación de cargas eléctricas en movimiento; cabe, quizás, reducir la materia a la existencia de electricidad; pero ni la carga eléctrica ni la vida pueden expresarse en términos de materia ni de energía.

En todos los ejemplos de energía cabe aplicar el principio de la conservación o constancia; pero nunca es posible hacerlo en biología. Una simiente, el grano de mostaza de la parábola bíblica, puede dar origen a infinitos descendientes a través de un número ilimitado de generaciones. Pero si la vida no es energía ni es materia, dirige la energía y, por intermedio de ella, organizaciones materiales que sin ella no existirían, estructuras cuyo único agente productor posible es la vida, desde la brizna de hierba a la concha del molusco; desde la locomotora a la catedral.

La vida utiliza las actividades todas en que la energía se manifiesta, sea tomándolas en estado actual, sea determi-

nando, a modo de fulminante, el paso a ese estado de la que se halla en estado potencial. Cada planta, en cada instante, pone a su servicio la energía que a torrentes llega a la tierra en forma de temblores de éter. No las convierte en fuerza, ni tampoco en trabajo; pero las hace útiles a un organismo que la vida gobierna. Así ocurre en todos los casos, sea o no accesible a nuestro conocimiento el *modo* o forma de hacerlo. Cuando una locomotora corre rauda por los rieles, o cuando un buque atraviesa el Océano, es también la vida el agente determinante de la utilización de energía solar, almacenada en el carbón desde remotos siglos, energía que sin la intervención del hombre, es decir, de la vida, jamás hubiera impulsado al barco ni al tren. En estos ejemplos, el modo de intervención de la vida es accesible a nuestro conocimiento; no lo es en el caso de la planta; pero, en unos y otros, la vida no es energía, aunque haga ésta utilizable en una dirección o con un fin determinado, sea produciendo luz en la luciérnaga, con rendimiento luminoso de 100 por 100, sea provocando la explosión de un polvorín o el disparo del cañón por la voluntad de un hombre.

Energía psíquica

La pluma vacila en seguir los mandatos del pensamiento cuando intenta referirse a esta forma de energía, ante el temor de verse calificada de extravagante y aun de ridículo *snobismo*. La ausencia de pensadores españoles, de consagrada autoridad, que sobre esta cuestión se hayan producido de un modo público, encoge justificadamente mi ánimo.

Mas, ¿por qué no desechar este temor si lo aconseja la sinceridad? Decía Ostwald que «lo que caracteriza al verda-

dero pensador es que se aparta de las ideas corrientes y no retrocede ante lo tenido normalmente por absurdo».

Hay infinidad de cosas que son juzgadas de imposibles sólo a causa de la extensión de nuestra ignorancia presente. Así hubiera ocurrido hace unos pocos años con la radiotelegrafía y radiotelefonía como ocurre en estos momentos con los fenómenos de telergética, producidos de un modo subliminal por personas dotadas de facultades especiales, susceptibles, como todas, de desarrollarse y amplificarse por su cultivo. No hay en estos fenómenos una *contradicción* con las leyes conocidas, sino una *extensión* de nuestra experiencia y de nuestros conocimientos.

Desde otro aspecto, hay, aun entre personas muy cultas, un conservadurismo que se resiste a aceptar la realidad de un hecho si no va aparejada con su explicación satisfactoria, basada en leyes conocidas. Así, decía William James: «Ocurre muy a menudo que la posibilidad de existencia de un acontecimiento es tenazmente negada durante largo tiempo, hasta que se le puede interpretar. Llegado este instante, es admitida sin dificultad.»

Esta actitud mental puede ser un bien en algunos casos, tal vez los más; pero significa un freno para la evolución y la extensión de los conocimientos cuando el escepticismo sistemático incluye a hombres de ciencia probada que han contribuido personalmente a su progreso. Como dijo Sir Jhon Herschel: «El observador perfecto debe tener sus ojos abiertos para recibir la impresión de cualquier acontecimiento que, con arreglo a las teorías conocidas, *no debiera ocurrir*, porque éstos son los hechos que sirven de llave a nuevos descubrimientos.»

Hay, finalmente, en muchos casos de por medio el prejuicio y el temor de que acontecimientos nuevos y misterio-

sos puedan estar en pugna con dogmas y credos religiosos. Estos escrúpulos no tienen razón de ser ante la investigación experimental, que no prejuzga inicialmente cuáles sean las causas primeras de cualquier fenómeno. Lo desconocido o desacostumbrado no ha de ser, forzosamente, en sí mismo un objeto de reverencia religiosa, ni debemos obligadamente incluir en los credos cuanto en un momento determinado está fuera del alcance de nuestro conocimiento. El campo de la Metafísica pudiera ceder terreno al de la Física, y así ocurre en realidad cuando se compara la vida mental de un salvaje con la de un hombre civilizado. Por ejemplo, en un eclipse de sol, ve el primero *el dedo de Dios*; es un caso evidente de intervención providencial directa; pero no lo es para el segundo.

Con razón se ha dicho que la frase puesta en boca de Hamlet hay que modificarla en el sentido de que no son *muchas*, sino *todas, las cosas que hay en los cielos y en la tierra que no alcanza a comprender nuestra razón*. Un poco más de vapor de agua en nuestra atmósfera nos hubiera tal vez impedido por muchos siglos formar del universo nuestro actual concepto. Todo es misterioso, y la diferencia entre unos fenómenos y otros, puramente subjetiva, nace de la frecuencia o de la rareza de aquéllos en nuestra vida ordinaria.

No pretendo con esto rechazar de plano la necesidad de una extremada prudencia cuando se trata de hechos nuevos o extraordinarios. En realidad, la investigación científica ha de buscar y trazar la estrecha senda de la verdad entre la Scylla de los entendimientos pétreos cerrados a toda novedad y la Carybdis de la aceptación ciega, sujeto de explotación para el charlatanismo y la superstición.

¿Es, acaso, dudoso que existen campos de fuerza psíquica que actúan sobre masas de este sutilísimo carácter, más

sutil que el de las masas eléctricas y magnéticas, sensibles a los campos de sus respectivas fuerzas, aunque, como éstas, se apoyen o encarnen en un soporte material, pedazo de hierro o cuerpo humano? Estas fuerzas del campo creadas por la presencia de masas psíquicas arrastran a otra que bajo su acción caiga, siguiendo su dirección y sentido, para llevarlas a posiciones de optimismo o tristeza, simpatía u odio, laboriosidad o apatía, religiosidad o agnosticismo. Esta idea está lejos de ser moderna y, por el contrario, la reflejan instintivamente muchos refranes, que sintetizan la experiencia de siglos, tales como: «no con quien naces, sino con quien paces», «dime con quién andas...», «un loco hace ciento», etc.

Nada hay que en esto se oponga forzosamente al libre albedrío. El ser humano puede remontar el campo psíquico contrarrestando las fuerzas del mismo, acumulando energía potencial, que extraería del depósito o reserva universal, *ánima mundi*, como también lo confirman refranes: «querer es poder», «la fe hace milagros y transporta las montañas», etc.

La comunicación más frecuente y más íntima cada vez entre los humanos, como consecuencia del desarrollo de la imprenta, del telégrafo, de la telefonía y radiotelefonía, del aprendizaje de lenguas extranjeras o del laudable intento de un idioma universal, van haciendo independiente la intensidad del campo psíquico de la distancia a que se hallan sus masas creadoras y, aunque algún refrán diga que «ojos que no ven, corazón que no siente», es indudable el aumento de solidaridad espiritual humana en sus dolores, sus alegrías, sus terrores. Estamos presenciando estos días, gracias a la radiodifusión—*broadcasting*—, cómo millares de almas, alejadísimas y extrañas unas a otras sin comunicación sensorial, vibran en sintonismo, unidas por los inmateriales hilos del éter universal, *substratum* del campo de fuerzas psíquici-

cas, como lo es de los campos electromagnético y electrostático.

Según esto, las fuerzas psíquicas no obedecerían en su intensidad, al menos en lo que a la distancia se refiere, a las leyes que rigen las fuerzas centrales, aunque sí cabe concebir que las masas puedan ser mayores o menores y su contribución a formar el campo les sea proporcional. Así, un orador vibrante, de fuerte personalidad, polariza y arrastra las masas psíquicas de sus oyentes en la dirección del campo que su presencia crea; un Napoleón arrastra entusiastas en pos de sus reprobables planes a millones de almas.

A medida que la cooperación humana eleva el índice de civilización, el universo entreabre el santuario de sus infinitos misterios y se hacen accesibles al hombre nuevas formas de energía, cada vez más utilizadas y exquisitas. Desde la grosera energía mecánica y muscular, única conocida en los tiempos precivilizados, hasta la forma eléctrica de la energía, tal como ahora se presenta a nuestro conocimiento, hay un abismo mucho mayor que entre la energía eléctrica y la psíquica. En esta última forma, como en todas, el trabajo es consecuencia de dos factores: uno, de intensidad, la fuerza psíquica del campo que las masas en presencia crean; el otro, la extensidad, es un movimiento de la masa sobre que el primero actúa; pero movimiento no espacial, sino, según una dimensión, todavía desconocida, de carácter metafísico o metaetérico.

Bien sabido es de todos el generoso intento de la fundación Solway para la aplicación de la energética a los fenómenos sociales, intento basado en el reconocimiento, más o menos explícito, de la existencia de los campos psíquicos. En este mismo orden de ideas, un ilustre ingeniero español, don Antonio Portuondo y Barceló, publicó, en 1911, un estudio

titulado *Apuntes de Mecánica social*, fruto maduro de un cerebro privilegiado que, desgraciadamente, no ha alcanzado toda la resonancia que justifica su superioridad sobre cuantos trabajos análogos han aparecido.

Al aludir, de pasada, a fenómenos, todavía mal comprobados, de carácter psíquico-mecánico, no discutimos la causa última ni negamos que cabe la posibilidad de error en el experimentador más hábil y más práctico, que puede ser víctima de fraudes o de alucinaciones repetidas y hasta en el mismo sentido siempre. En tesis general, el testimonio de un solo sabio, por eminente que sea, no puede compeler a la creencia en fenómenos reputados por increíbles sobre la base de la pasada experiencia; pero excedería los límites razonables de toda prudente incredulidad mantener esta actitud ante la ratificación de una pléyade de hombres colocados en la cumbre de la investigación por una labor de muchos años y de una veracidad fuera de toda duda. Según Sidgwick, «al decir que una maravilla es contraria a la experiencia, no podemos significar otra cosa sino que es *distinta* de la experiencia *previa*, o, por mejor decir, que es diferente de aquella experiencia *previa* que ha sido colectada y sistematizada por personas competentes. Pero esto quiere decir solamente que se trata de algo nuevo y extraño, y, cuanto mayor sea la maravilla, más exigente se ha de ser en los testimonios que afirmen su realidad».

No cabe contestar a tales testimonios con un encogimiento de hombros, actitud que sería bien ajena a la perpetua interrogación que debe caracterizar al hombre pensador e investigador. Nos encontramos ante hechos que marcan la aurora de algo que ha de constituir una esfera novísima de conocimientos, continuando la etapa que se inició al final del pasado siglo con la aparición de los rayos catódicos, los ra-

yos X y, finalmente, con el descubrimiento revolucionario sobre las radiaciones y sobre la constitución de la materia. Menos fecundo aparecía el terreno misterioso de la electricidad en la época remota del primer campo electrostático mostrado por Thales de Mileto, y aun en la mucho más próxima de Galvani y Volta; mucho más sospechosa se mostraba a la ignorancia de la Edad Media la labor de los astrólogos, culminada hoy en la teoría de la Relatividad.

TRANSFORMACIONES DE LA ENERGIA

La energía—repetidamente lo hemos apuntado en las líneas que preceden—es susceptible de transformarse, convirtiéndose de unos a otros modos de manifestarse. A título de enumeración, que está lejos de agotar la lista, enunciaremos los siguientes ejemplos corrientes:

Térmica en mecánica: Expansión de vapores o gases: máquina de vapor.

Térmica en química: Disociación.

Térmica en eléctrica: Pilas termoeléctricas.

Térmica en radiante: Incandescencia; llamas y lámparas.

Térmica en biológica: Efecto del calor solar en la vida animal y vegetal.

Mecánica en térmica: Choque; rozamiento; compresión.

Mecánica en química: Detonantes o fulminantes.

Mecánica en eléctrica: Máquinas electrostáticas; dínamos.

Mecánica en radiante: Desconocida.

Mecánica en biológica: Desconocida.

Química en mecánica: Motores de explosión.

Química en térmica: Combustión.

Química en eléctrica: Pilas primarias y las secundarias en la descarga.

Química en radiante: Fosforescencia.

Química en biológica: Consunción de tejidos animales.

Eléctrica en mecánica: El motor eléctrico.

Eléctrica en térmica: Efecto Joule.

Eléctrica en química: Pilas secundarias, durante la carga.

Eléctrica en radiante: Tubos Crookes o de vacío.

Eléctrica en biológica: Corrientes galvánicas, en Medicina.

Biológica en mecánica: Actividad animal.

Biológica en térmica: Calor animal.

Biológica en química: Producción de tejidos y grasas.

Biológica en radiante: Fosforescencia animal; el gusano de luz.

Biológica en eléctrica: Electricidad animal; la raya y el gimnote.

DENSIDAD DE LA ENERGIA

La concentración de la energía, es decir, la cantidad de ésta que puede almacenarse en un volumen o en un peso determinado, ofrece gran interés bajo diversos aspectos. Exponemos a continuación algunos ejemplos.

Energía química.—Es uno de los almacenamientos más densos. La combustión de un kilogramo de hidrógeno produce más de 12 millones de kilográmetros o de 30 kw.-h. Es posible que, dado el carácter tan acentuadamente exotérmico de esta combinación, la formación del agua, bajo la acción de elevadas temperaturas o de descargas eléctricas, fuera el fenómeno predominante en las primeras edades de la Tierra. La vida aprovechó para manifestarse inicialmente la aparición de este medio favorable.

Las demás combustiones suponen una densidad mucho menor. Por kilo de buen carbón no se puede almacenar más de unos 9 kw.-h. El petróleo, según su calidad, acumula en igual unidad de peso alrededor de 10 kw.-h.; el alcohol, la mitad; la leña seca, un 60 por 100. Todas las otras oxidaciones, del calcio, magnesio, fósforo, sodio, etc., proporcionan cifras del orden de la del carbono, pero inferiores (algunas combustiones, como las del nitrógeno y el cloro, son endotérmicas). Su capacidad de almacenamiento por kilo no excede, en los más potentes, de 2 kw.-h.

Las baterías de acumuladores son de lo más mediocre bajo este aspecto de la densidad energética. En las de plomo no se pasa de unos 10 vatios-hora por kilogramo; en las más ligeras, tipo de tracción, de electrolito alcalino, la densidad puede ser cuatro veces mayor.

Energía mecánica.—Los proyectiles constituyen por gran diferencia el almacén más denso de energía mecánica, a causa de su gran velocidad, que figura por la segunda potencia al evaluar aquélla. Si la velocidad es de 1.000 metros por segundo, cada kilo de proyectil almacena 50.000 kilográmetros, equivalentes a 0,15 kw.-h. Si se tratara de un material muy denso, por ejemplo, el tungsteno, cuya densidad se acerca a 20, en un decímetro cúbico de proyectil se almacena casi 3 kw.-h.

Se ve, pues, que mecánicamente sólo puede aspirarse en el caso más favorable a densidades de energía semejantes a las que corresponden a almacenes químicos.

Energía hidráulica.—En un salto de agua, cada litro situado en el canal de carga supone un almacenamiento de energía de 1 kilográmetro por metro de desnivel que el salto tenga. Si este desnivel es de los más fuertes que se utilizan, por ejemplo, de 1.000 metros, cada litro almacena unos

3 vatios-hora. El almacén es muy precario en cuanto a su densidad. No obstante, se usa industrialmente en gran escala, porque dándonos el Sol la elevación del agua a la altitud correspondiente, y ofreciendo la Naturaleza el vaso o la casi totalidad de éste, el hombre tiene poco que hacer o gastar para su aprovechamiento. Es por eso uno de los almacenes más baratos, pero no puede trasladarse de sitio, como un explosivo, una carga de carbón, etc.; se transporta la energía mediante su conversión en eléctrica.

Energía eléctrica.—Bajo forma de campo electrostático cabe almacenar energía; pero la densidad lograda es inferior a la que se obtiene de los más modestos almacenes mecánicos. Así, un dieléctrico como la mica de excelente calidad, cuya pendiente electrostática de ruptura es superior a un millón de voltios, y cuyo poder inductor específico es elevado, permite una densidad energética de sólo 0,05 vatios-hora por decímetro cúbico.

La línea de transporte de energía más importante de España, en cuanto a la tensión empleada (132.000 voltios), y que enlaza con Bilbao el aprovechamiento hidráulico del Alto Cinca, salvando una distancia de casi 300 kilómetros, almacena, en forma de campo electrostático, una energía cuyo valor pulsatorio alcanza un máximo de unos pocos vatios-hora.

Si la energía se almacena en formación de un campo electromagnético, las mayores inducciones magnéticas, por ejemplo, del orden de 60 kilolíneas por centímetro cuadrado, correspondientes a campos de intensidad aproximada de 40.000 unidades, es decir, trabajando casi a una saturación completa, la densidad de energía es de unos 28 vatios-hora por decímetro cúbico, o sea, muy modesta, aunque exceda considerablemente a la de los campos electrostáticos.

La misma línea de transporte entre el Cínca y Bilbao, a que antes hemos hecho referencia, cuando trabaja a plena carga de 50.000 kilovatios, almacenará en el éter circundante, en la total longitud de aquélla, una energía de valor oscilante entre cero y una decena de vatios-hora.

Sin embargo, es muy interesante observar que precisamente el campo electrostático permite obtener densidades muchísimo más elevadas que las alcanzadas por cualquier otro medio, si la densidad se refiere a la unidad de peso y no a la de volumen. Me refiero a esos maravillosos tubos de vacío, en los cuales ese grado de vacío se lleva a límites tan extremos que su presión absoluta hay que medirla con el micrón de columna de mercurio. A pesar de esta tenuidad del aire contenido en la ampolla, todavía cada centímetro cúbico contiene tantas moléculas como habitantes tiene la Tierra, es decir, unos 2.000 millones.

Pues bien; aunque la rigidez dieléctrica del aire a la presión atmosférica es sólo de unos 30 kilovoltios por centímetro y esta rigidez disminuye cuando se pasa a presiones inferiores, si el vacío se continúa, se eleva aquélla, y, además, el valor del campo electrostático es siempre mucho más elevado en la proximidad inmediata de los electrodos. En esta proximidad, el campo puede alcanzar valores de un millón de voltios por centímetro.

Referida la energía por centímetro cúbico que este campo representa a la pequeñísima cantidad de materia que aquella unidad de volumen contiene en vacío tan extremo, obtenemos densidades de energía de muchos millones de joules o de calorías por gramo de materia, es decir, densidades millares de veces más elevadas que las del explosivo más energético, y muy superiores a las que por cualquier otro medio cabe obtener.

Aquellas densidades son ya del orden de las de la energía intra-atómica de los cuerpos radiactivos. Tal vez por ello los fuertes campos electrostáticos en el vacío extremo constituyan un medio fértil de experimentación para la transmutación de unos cuerpos en otros, en busca de la «piedra filosofal».

EL TRANSPORTE DE LA ENERGÍA

Complemento y requisito obligado de la difusión de la energía, son los medios de transportarla. Sin la posibilidad de realizar este transporte económicamente y a largas distancias, dormirían inactivos los grandes depósitos energéticos de nuestro planeta. Toda la organización social está cada vez más intensamente basada en producir en un lugar y consumir en otro (materias primas, alimentos, energía), y por ello los medios de transporte de todos los elementos de vida y actividad adquieren importancia mayor en el transcurso del tiempo.

Fueron los ferrocarriles los medios iniciales que permitieron transportar en gran escala la energía almacenada en forma fósil en los combustibles; pero sólo con el advenimiento y la rápida evolución de la electrotecnia ha sido posible alcanzar el desarrollo extraordinario que hoy presenciamos, de cuya trascendencia en todos los órdenes no nos damos clara cuenta por lo mismo que en su torbellino vivimos. Hasta al transporte de la energía psíquica alcanza en sus aplicaciones la electricidad; primero, mediante el telégrafo y teléfono, completados por la prensa, a modo de red de distribución conectada al final de la línea de transporte; después, desde fecha muy reciente, los conductores se hacen innecesarios, y, a modo de diapasones sintonizados, vibran simultáneamen-

te centenares de miles y aun millones de almas, con idénticas sensaciones. Mañana, la palabra del Pontífice podrá ser físicamente oída en el mismo instante *urbi et orbi*.

Desde el experimento realizado en 1883 entre Lauffen y Francfort hasta nuestros días, el desarrollo industrial de los transportes de energía eléctrica ha marchado en movimiento acelerado, de crecimiento incomparablemente mayor que el de ninguna otra manifestación de la actividad y del ingenio humanos. La razón básica se halla en la docilidad que la forma eléctrica presta a la energía para su transmisión, y en la facilidad y elevado rendimiento con que se cambia en cualquiera de las otras formas bajo las cuales el hombre utiliza la energía.

Inicialmente, la corriente eléctrica se transportó y distribuyó exclusivamente bajo la modalidad llamada *continua*, tal como la generaba la máquina Pacinotti o Gramme. Cuando la entidad de la potencia a transportar fué creciendo, la necesidad de altas tensiones para la economía del transporte y las exigencias de aislamiento eléctrico determinaron, al inventarse el transformador, la evolución decidida hacia la corriente llamada *alterna*, tanto en la generación como en el transporte, aunque reservando la *continua* para la distribución. Hoy, la tendencia inequívocamente señalada, es el empleo de la forma alterna desde el lejano generador hasta el último y más insignificante receptor. Mañana, es decir, en época próxima, la generación se hará, eléctricamente, en corriente alterna; el transporte en continua, y la distribución en alterna.

Es el órgano conmutador de la máquina generadora quien limitó la elevación de las tensiones hasta los valores exigidos por la economía y fué causa del abandono de la corriente continua. Una inteligencia privilegiada y una voluntad tenaz, encarnadas en el profesor Thury, lucharon denodadamente

en las trincheras de la corriente continua mediante la apelación al transporte con intensidad constante y tensión variable, obtenida esta variabilidad por reguladores automáticos, ingeniosísimos para aquella época, y a la conexión en serie de sucesivos generadores. Aun se conservan los transportes de energía que bajo esta forma abastecen en parte la villa de Lyon. Dos transportes Thury tuvimos en España, instalados uno en la región minera de Linares y otro en Guipúzcoa, pero ambos desaparecieron desde principio de este siglo, y en el mundo entero la técnica se colocó decididamente al lado de la corriente alterna para la transmisión a potencial constante e intensidad variable, no obstante los fenómenos, de complicación creciente con la tensión, a que dan lugar la autoinducción, la capacidad electrostática y, sobre todo, la combinación de ambas.

La simplicidad de la corriente continua, cuya utilización para el transporte implica la desaparición de gran número de aquellos fenómenos, es la causa de que se tornen los ojos a ella, pero evitando el caer, al hacerlo así, bajo la tiranía insoportable del órgano conmutador, mal llamado *colector*, de la máquina de corriente continua. La generación se hará siempre en forma alterna, y serán los maravillosos, los admirables tubos de vacío, los encargados de transformarla, para su transporte, en corriente continua de elevadísima tensión.

La entidad creciente de las potencias a transportar y las consiguientes elevadas tensiones requeridas han puesto a prueba la habilidad ingenieril, con innegable éxito. Hoy no existe ya límite al transporte eléctrico de la energía, como no sea el dependiente de conveniencias económicas, representadas por la mayor proximidad de otras fuentes productoras a los centros de consumo. El tipo de estos grandes transportes se aproxima al designado en América por los *tres 250*,

es decir, 250 millares de caballos, transmitidos a 250 millas y a la tensión de 250 mil voltios. En previsión del porvenir, se han practicado ya ensayos de laboratorio con tensiones que alcanzan al millón de voltios, ensayos que han conducido a una comprobación plena de la licitud de extrapolación en las leyes experimentales que fundamentan al presente el estudio de los problemas suscitados por las líneas de alta tensión.

Estos problemas crecen en complejidad con velocidad superior a la de las tensiones empleadas. Hállase al paso, en primer término, el aislador, constituyendo la preocupación máxima por su vital influencia en el éxito del transporte eléctrico, ya que sus deficiencias están afectadas del elevado coeficiente que su número representa en la línea. Fueron, principalmente, sus condiciones de resistencia mecánica el obstáculo contra el que hubo que luchar; se tomó hábilmente el partido de contornear este obstáculo en vez de atacarle de frente, apelando al moderno tipo de las cadenas o rosarios de elementos aislantes, a partir de la tensión de 70.000 voltios, máxima a que se adaptan los aisladores de soporte rígido.

Si la componente en fase con la tensión (*conductancia*) de la *admitancia* en derivación que presente una línea de transporte es prácticamente nula por lo que afecta a los aisladores, no sucede así por lo que a otros aspectos concierne. Las elevadas tensiones favorecen la ionización del aire en la proximidad de los conductores, quebrantando su cualidad eminentemente aisladora. Esta acción se ve favorecida en la regiones de apreciable altitud por la intensidad que en ellas adquieren las radiaciones ultravioleta que el Sol nos envía y que la tenuidad de la atmósfera no puede absorber. Consecuencia de todo ello es la aparición de una pérdida de energía,

distinta del efecto Joule en los conductores, y que se manifiesta bajo la forma de efluvios; se designa bajo el nombre de efecto *Corona*, palabra cuya procedencia española es debida a haberse apreciado este efecto por primera vez en las líneas de transporte de California, en donde tantas huellas se conservan de la dominación española. El aspecto por que se hace aparente a la vista es realmente asimilable al aura luminosa que suele circundar en las pinturas la cabeza de los ángeles y santos. Al oído se hace notar por un ruido como el aleteo de moscas.

Tal sumando de la *conductancia* derivada, que universalmente se ha convenido en llamar *perditancia*, puede alcanzar valores muy elevados, de varias centenas de kilovatios por kilómetro de línea. Se lucha contra él aumentando el radio de los conductores y alejando éstos entre sí. En los ensayos antes aludidos, a un millón de voltios, como tensión de transporte, los conductores eran tubulares, con diámetro aproximado de diez centímetros. En las condiciones de los grandes transportes actuales, el aumento de diámetro milita en favor del empleo de conductores de aluminio con alma de acero, con los cuales se ha construído en España la línea que enlaza Bilbao con el Alto Cinca.

La presencia de la *susceptancia* en derivación, y de su efecto combinado con el de la *reactancia* en serie, ambas uniformemente distribuídas, originan fenómenos enteramente desconocidos, por inapreciables, en los primeros tiempos, de las líneas cortas y a tensiones modestas. Así ocurre, por ejemplo, con la a veces elevadísima corriente de carga que toma la línea cuando ningún receptor está conectado a ella, corriente que puede exceder la capacidad de un generador, requiriendo poner varios en paralelo; y como la estabilidad de la marcha en paralelo a excitación tan débil y aun nula, pues-

to que la corriente magnetizante proviene de la línea, puede ser, no sólo precaria, sino imposible de lograr, llega a ocurrir que la capacidad unitaria de los generadores de una Central productora venga obligada, sólo por las condiciones de la marcha sin carga, a un valor mínimo, muy superior al que por otras razones se hubiere elegido.

Aquella acción conjunta de capacidad y autoinducción es causa de que en vacío o a débiles cargas inductivas la tensión de línea en el extremo sea mucho más elevada que en el origen (efecto Ferranti). Hasta tal punto este efecto puede acusarse, que el coeficiente de regulación de tensión adquiera valores inadmisibles, como, por ejemplo, de 50 por 100 y más, obligando, ineludiblemente, al empleo de compensadores síncronos en el extremo de la línea, a fin de proporcionar a ésta un número de kilovoltamperes adecuados a la compensación de la potencia reactiva propia del sistema en cada régimen de carga.

Tema de preocupación grave en estas modernas líneas a tan elevadas tensiones, de cuyo funcionamiento tantos servicios vitales se hallan pendientes; es la producción de cortocircuitos accidentales, que tomarían proporciones de catástrofe, dada la enorme potencia alimentadora, si el ingenio de los electricistas no lo hiciera casi inofensivo mediante recursos varios, como son: el empleo de interruptores rápidos capaces de cortar millones de kilovoltamperes; el uso de carretes de reactancia, sin hierro, en barras ómnibus o entre ellas y los generadores; y, principalmente, la autoprotección para generadores y transformadores, derivada de la gran reactancia de fugas magnéticas con que deliberadamente se construyen.

Para el estudio del régimen a que da lugar un cortocircuito que se produzca en un punto de un sistema de líneas

interconectadas, se construyen ingeniosas reducciones en escala de estos sistemas, provocando cortocircuitos en miniatura que permiten la determinación experimental de la distribución que como consecuencia de aquél se establece y la contribución a la potencia puesta en juego por el cortocircuito, de cada central generadora, a la red conectada.

No menos destructores efectos pueden derivarse de las sobretensiones o golpes de ariete eléctricos nacidos de la inserción o supresión brusca de una fracción importante de la carga, que origina la producción de ondas viajeras oscilantes de frente rígido, entre un extremo y otro de la línea, cuyo amortiguamiento corre sólo a cargo de la resistencia óhmica de ésta.

En previsión de estas sobretensiones producidas por las ondas viajeras o por descargas atmosféricas, se dotan los transformadores de escudos protectores y se refuerza el aislamiento de las primeras espiras que han de recibir el choque.

La seguridad del servicio, puesto que su interrupción puede arrastrar la casi paralización de la vida ciudadana, es otra de las serias preocupaciones que han ejercitado la habilidad de los ingenieros, sea aplicándola a hacer inofensivas las descargas atmosféricas, llevando la experimentación hasta crear verdaderos rayos artificiales, sea a limitar la acción de una avería o de un accidente, a fin de evitar que trascienda al resto del sistema. Esta última forma de la actividad técnica se manifiesta en estos últimos años, aparte el empleo de estaciones intermedias de seccionamiento, por la creación de numerosos tipos de relés, tan eficaces en su acción, que se cita el caso de una importante red americana de alta tensión en la cual no se ha interrumpido el servicio ni

una sola vez en un año, no obstante haber ocurrido en ella más de cien cortocircuitos.

Otro problema accesorio, pero de importancia esencial para la explotación de semejantes redes de transporte, es el logro de una buena y segura comunicación telefónica, que enlace los puntos de producción con los de consumo, comunicación cuyo factor de seguridad ha de ser aún más elevado que el de la misma línea de transporte, ya que el caso de avería de esta última hace más necesaria la telefónica. La solución que parece abrirse paso, aun cuando se halla todavía en los balbucesos de la infancia, es la comunicación radiotelefónica por medio de ondas dirigidas que utilizan los mismos conductores de la línea de alta tensión. Basta que uno de éstos conserve su continuidad, para que la comunicación telefónica quede asegurada.

La interconexión de líneas de alta tensión y de centrales productoras, llegando a formar verdaderas redes o sistemas nacionales, eleva al máximo la complejidad, introduciendo otros problemas inherentes a la distribución de la carga entre los centros productores con arreglo a la mayor conveniencia de cada momento.

Sólo una ultraespecialización de los técnicos, sumada a los poderosos medios económicos que poseen las grandes Sociedades constructoras de maquinaria y aparatos eléctricos, ha podido dominar los obstáculos que surgen a cada nuevo escalón que ascendemos en el orden de las potencias transportables, de las distancias que han de salvarse y de las tensiones requeridas, factores, los tres, ligados en íntima trabazón.

Difícil es pronosticar lo que el porvenir nos reserva en esta materia del transporte de la energía; pero no es temerario suponer que en fecha no lejana las naciones tendrán

interconectadas todas las fuentes de producción económica, a través de un completo sistema arterial que permita, en todo instante y en cualquier punto, obtener, diríamos que por evocación, el aprovisionamiento en cantidades ilimitadas de esta savia del progreso material, que tanto y con tanta intensidad repercute en el mejoramiento moral del género humano.

CONTESTACIÓN

DEL ILMO. SEÑOR

D. BLAS ^{DE} CABRERA Y FELIPE

SEÑORES ACADÉMICOS :

DEBO a nuestro presidente el para mí señalado honor de dar la bienvenida a uno de los técnicos españoles que mayores desvelos ha dedicado a nuestro engrandecimiento industrial, en su doble condición de educador de nuevas generaciones de ingenieros y director de empresas nacionales. El Sr. Sánchez Cuervo llega a esta Casa rodeado del respeto y la consideración de cuantos conocen sus talentos y prodigiosa actividad, y se le recibe con la alegría consiguiente al aumento de prestigio que ella alcanza con su presencia.

Este sentimiento no impide que demos el último adiós, con la tristeza propia de una despedida que corta treinta años de vida común, a quien llevó sobre su pecho la medalla que desde hoy ostentará el Sr. Sánchez Cuervo. Este homenaje no significa mengua en la alegría con que se abren las puertas al nuevo Académico; es prueba del afecto que D. Amós Salvador supo conquistar entre sus compañeros, y de agradecimiento por los desvelos que siempre dedicó a esta Casa, principalmente en el breve tiempo que ocupó su presidencia.

Antes que esta posesión de la medalla número 19, y que el título de ingeniero de Caminos, existe entre estos dos hombres una comunidad de afanes por el engrandecimiento de la Patria, aunque los medios que uno y otro han utilizado sean ra-

dicalmente opuestos, que no en vano pertenecen los Sres. Salvador y Sánchez Cuervo a generaciones distantes casi medio siglo en el tiempo, y mucho más en los ideales que las han animado. Vino a la vida el Sr. Salvador en el período de nuestra Historia en que el talento consideraba como su ocupación más excelsa dar realidad a unos ideales políticos, por los cuales los hombres de la época se jugaban frecuentemente la vida. El Sr. Sánchez Cuervo pertenece, por el contrario, a una generación que se aparta voluntariamente de los menesteres de la política y aplica sus actividades en el campo de la Ciencia, o de la Industria, o de las Artes, o de los otros múltiples aspectos de la vida, que es mucho más compleja de lo que pensaban nuestros abuelos y nuestros padres. Creían ellos servir más eficazmente a la Patria organizando su Constitución política, ya de acuerdo, ya en oposición con los ideales proclamados por la Revolución francesa. Por el contrario, estima nuestra generación que lo fundamental en los pueblos no es la forma externa, que representa su Constitución política, sino la riqueza de su contenido en aquello que es característico de la vida moderna: la abundancia de su aportación al progreso humano en todos sus órdenes.

Asombraría a nuestros abuelos el que un hombre de la altura mental del Sr. Sánchez Cuervo no se sienta tentado por la política y prefiera la confección de un proyecto de electrificación de ferrocarriles a modificar, en un sentido más liberal o más conservador, nuestro Código fundamental. En cambio, miramos muchos de nosotros con pena las energías malgastadas por muchas inteligencias de primer orden del pasado siglo en la discusión de problemas que se nos antojan completamente secundarios. Y no es que sintamos menos que ellos las libertades individuales o la independencia de la Patria; es que sabemos que las unas y la otra no se conquis-

tan y conservan sino con el fomento de la cultura y el mejoramiento material. Son inútiles las libertades cuando no se saben usar, y es ilusoria la independencia mientras seamos tributarios del Extranjero en las más elementales exigencias de la vida contemporánea.

Por esto yo aplaudo con entusiasmo a nuestro compañero cuando le veo trabajar con ahinco por la utilización más completa de los factores de riqueza que la Naturaleza nos brinda, no sólo formulando proyectos inmediatamente realizables, sino haciendo obra de propaganda en las publicaciones profesionales de nuestro país en pro de una transformación en sentido moderno de nuestra industria nacional. Lo proclaman sus trabajos sobre la técnica de utilización de las energías hidráulicas de que podemos disponer y de la electrificación de los ferrocarriles; su intento de fabricación en España de la maquinaria eléctrica, y la fundación de la Sociedad española para la fijación del nitrógeno atmosférico.

* * *

El discurso del Sr. Sánchez Cuervo responde a la preocupación de su vida. Fiel a ella, hace un análisis cuidadoso de las fuentes de energía hoy a nuestro alcance y de aquellas otras que se vislumbran para un porvenir más o menos próximo, así como de las condiciones de su transporte.

No es mi papel seguir al nuevo Académico en su disertación, porque ni lo dicho por él necesita mayores esclarecimientos, ni soy capaz de agregar nada que merezca ser escrito, en el orden de ideas que guían sus pensamientos. Y ello es lógico, por la distinta posición en que nos colocamos el Sr. Sánchez Cuervo y yo frente a la Naturaleza. Desde nuestros respectivos puntos de vista los mismos hechos ofre-

cen perspectivas diferentes y merecen una valoración muy diversa. Esta disparidad surgió ante mi espíritu desde las primeras páginas de su discurso. En ellas se comienza señalando las dificultades que ofrece definir el concepto de energía; pero pronto nuestro compañero abandona el tema para comenzar la disección de sus diferentes fuentes. Seguramente hubiese yo dedicado mucha mayor atención al primer punto que al segundo, y aun en el estudio de cada una de tales fuentes habrían llamado mi atención aspectos y problemas que al Sr. Sánchez Cuervo no le interesan o le preocupan de un modo muy secundario. Y al hablar así no pretendo dar mayor importancia a mi punto de vista. Sin que tampoco desee desacreditarlo, es notorio que si todos los hombres pensaran como yo, el progreso material de la humanidad habría marchado mucho más lentamente que lo ha hecho. Y de rechazo es seguro que la Ciencia pura habría encontrado dificultades insuperables en su desarrollo. Cada hombre puede escoger como tema de sus pensamientos aquel aspecto de las ciencias y de la vida en general más adecuado a su propia idiosincrasia; pero la humanidad necesita guardar la armonía indispensable si ha de avanzar en el conocimiento y dominio de la Naturaleza.

Decía que el Sr. Sánchez Cuervo pasa rápidamente por las dificultades que se ofrecen al tratar de definir la *energía*, y yo os confieso que es este problema uno de los que puede captar mi atención más intensamente. En efecto; ¿no es interesante comprobar la oscuridad con que esta noción se ofrece a nuestro espíritu, siendo así que corresponde a una realidad fundamental de la Naturaleza? Podría decirse con mayor énfasis que es toda la realidad.

La primera vez que esta noción penetró en la esfera de nuestros conocimientos fué en el estudio del movimiento,

fenómeno el más simple de cuantos podemos aprender del mundo exterior. Postulando con Newton que el impulso de una fuerza es igual a la variación de la cantidad de movimiento del cuerpo que sufre su acción, se deriva como corolario la igualdad del trabajo al incremento de la fuerza viva. Si este incremento es positivo, el cuerpo gana *algo* que le transmite la acción de la fuerza; si negativo, lo cede a los agentes frenantes del movimiento. Esta *cosa* adicionada al cuerpo, o por él perdida, es precisamente *la energía*, y aquel corolario del postulado newtoniano constituye la ley de su conservación, que más tarde había de convertirse en el principio más fundamental de toda la Física.

Mientras no rebasó los límites de la Mecánica, su existencia quedó ignorada, aunque ya en los *Principios* de Newton aparece claramente formulado como escolio de la tercera ley del movimiento. Pero es poco probable que su propio autor se haya percatado de todo su alcance e interés. En efecto; dentro del limitado dominio de esta ciencia, dicho principio no puede aportar la solución de ningún problema que escape a la aplicación inmediata de los postulados fundamentales. Ciertamente, es en ocasiones camino más expedito para resolver algunos de ellos, pero sin que intrínsecamente agregue nada.

Mas la Mecánica, tan sencilla y tan perfecta considerada como construcción lógica, labora sobre un esquema de la Naturaleza que las más de las veces está muy alejado de la realidad. Acaso la teoría del sistema planetario sea el único ejemplo en que tal aproximación pueda llenar las exigencias de nuestra facultad de conocer, pues no es posible negar que la previsión de las configuraciones de los planetas en los cielos es acreedora de toda nuestra admiración. Baste recordar las únicas cuatro anomalías de los movimientos planetarios,

que Newcomb reunió en su clásico balance de la Mecánica celeste.

Pero cuando descendemos a la teoría de nuestras máquinas, y aun a los movimientos más sencillos que se producen al alcance nuestro, y en los cuales podemos influir directamente, la Mecánica es impotente, evidenciándose esta impotencia precisamente en el hecho de no resultar justificado el principio de conservación de la energía. En el maravilloso mecanismo que es un reloj de pesas, mientras éstas descienden y la gravedad ejecuta el trabajo correspondiente, el reloj se mueve; pero en cuanto aquéllas han terminado su carrera y se detienen, el reloj también se para. He aquí un trabajo hecho por la gravedad e inmediatamente destruído. La Mecánica para explicar el caso introduce los frotamientos, pero no se descubre por tal medio el paradero del trabajo, como no se admita su completa destrucción, con lo cual sería difícil evitar el *perpetuum mobile*, pues si en la Naturaleza existe destrucción de energía, ¿por qué no se ha de crear?

Salvar el escollo ha correspondido a otro capítulo de la Física: la teoría del calor. Todo frotamiento produce calor en proporción al trabajo gastado en él; es decir, entre dicho trabajo y el calor que desarrolla existe una relación que sólo depende de las unidades en que se hayan medido ambas magnitudes. Esta fué la conclusión a que llegaron Mayer (1842) y Joule (1842-1878); el primero, por un razonamiento sencillo, que se apoya en las leyes de los gases, y el segundo, por una larga serie de experimentos efectuados en el intervalo de tiempo señalado. Por uno y otro camino se llegó al mismo resultado: extensión del principio de la conservación de la energía, elevado así a postulado fundamental de toda la Física, y, por tanto, aplicable a todas las formas de energía y a los cambios entre ellas.

De todo intento he dicho antes que la energía en Mecánica es una cosa que se transporta de unos cuerpos a otros; una cualidad susceptible de medida, siempre soportada por la materia. Y tanto es así, que en presencia de una energía localizada en regiones del espacio vacías de la materia ordinaria, como en el caso de una onda electromagnética, se ha acudido al expediente de suponer un medio que le sirva de soporte. Tal es la justificación del *éter*.

En la Física construída según estas ideas, la materia y la energía se complementan, constituyendo como el cuerpo y el espíritu de la Naturaleza, y si no parece concebible la existencia de la última sin la primera, la materia sin energía queda convertida en un vasto dominio de muerte. Como corresponde a esta posición privilegiada de ambas entidades, se las ha considerado sometidas a una ley de conservación, que para la materia tiene un abolengo mayor que para la energía, pues fué formulada por Lavoisier en el último tercio del siglo XVIII, como consecuencia de sus estudios referentes a la combustión. Ciertamente, sin dichas leyes de conservación sería imposible construir la Ciencia, pues no habría posibilidad de plantear una ecuación; pero su valoración fué un poco diferente de como hoy empezamos a hacerla: por ejemplo, en cuanto a la de Lavoisier se refiere, los químicos le llevaron hasta afirmar la constancia del contenido de cada elemento químico en la Naturaleza.

Cuando, al finalizar el siglo XIX, fueron descubiertos los elementos radiactivos, se evidenció la escasa solidez de las bases de la ciencia hasta entonces construída; pero no se comprendió inmediatamente dónde estaban los lugares débiles. Equivocadamente creyeron algunos en la crisis del principio de conservación de la energía. De lo que nadie dudó fué del de conservación de la materia. Hasta que Einstein

dedujo los corolarios de sus postulados relativistas, no apareció con franca claridad el error existente en la ordenación que tácitamente hacíamos todos de la primacía en los principios de conservación. No corresponde el primer lugar al de Lavoisier, sino al de Joule-Meyer; más aún, la conservación de la masa se deduce de la invariancia de la energía en un sistema aislado, pues aquélla se reduce al cociente $\frac{E}{c^2}$, donde E es toda la energía encerrada en el cuerpo y c la velocidad de la luz.

Ciertamente es imposible una confirmación directa del indicado corolario, pues la ciencia clásica únicamente da los cambios de energía que acompañan a los fenómenos físico-químicos; cuyos cambios, divididos por c^2 , representan variaciones de masa tan insignificantes que la mayoría de las veces están fuera del alcance de nuestros métodos de medida: al menos por ahora y por todo el tiempo a que pueda extenderse una previsión lógica del progreso científico. Sólo existen dos o tres fenómenos en que ya se ha podido evidenciar la correlación entre los cambios de energía y de masa, o al menos prever la posibilidad de una prueba experimental. En el primer caso están las variaciones de masa testimoniadas por la desviación de un electrón en movimiento, sometido a un campo exterior, o por la estructura fina de las rayas espectrales. En el segundo se encuentra la determinación de los cambios de masa que son consecuencia de la integración del átomo de un elemento químico, por lo que pudiéramos llamar la supercombinación de protones y electrones. Aquí la dificultad no estriba en medir dichos cambios de masa, pues éstos caen muy dentro de lo permitido por la técnica actual. Por ejemplo, en la formación de un átomo-gramo de *He* por supercombinación de cuatro átomos-gramo de *H*

la disminución de energía es tal, que existe una pérdida aparente de masa de 30,8 miligramos. La dificultad radica en que desconocemos el modo de provocar a voluntad las dichas supercombinaciones o su destrucción.

Pero ya sea por las pruebas indirectas indicadas, ya por la repetida confirmación de los corolarios de la teoría de Relatividad, parece innegable que la expresión

$$m = \frac{E}{c^2}$$

que define la masa por la energía, es exacta, y por ella podemos, recíprocamente, calcular la energía interna, E , de cada cuerpo partiendo de su masa; esto es, la energía que obtendríamos si nos fuese dado aniquilar dicha masa. He aquí un modo de hablar que hubiese autorizado un cuarto de siglo atrás a cualquier profesor de Física para suspender a uno de sus alumnos, parodiando la frase célebre con que Bertrand comenzó su crítica de la Mecánica de Hertz.

Volviendo a nuestro razonamiento, hoy podemos decir que el aniquilamiento de un átomo-gramo de hidrógeno nos proporcionaría $9 \cdot 10^{20}$ ergios, o sean 90 000 millones de kilovatios. Y cuenta que el átomo H es el más pobre de cuantos la naturaleza nos depara. Yo pregunto ahora: ¿tiene algo de extraordinario que los ingenieros acaricien la ilusión de llegar algún día a disponer de estas poderosas fuentes de energía? Claro es que estamos muy lejos de que la referida ilusión se convierta en realidad; pero no tanto de llegar a la disociación voluntaria de los átomos más complejos en los protones y electrones que los integran, y no es despreciable esta otra fuente de energía: la reducción de un cuarto de átomo-gramo de He a uno de H libera todavía 690 millones de kilovatios, que es una cifra respetable.

Es muy justo el anhelo de disponer de tan enormes cantidades de energía, por otra parte condensadas en tan pequeña cantidad de materia que el problema económico de los transportes pierde la importancia casi decisiva que posee en la técnica moderna. Pero, además, ya hoy podemos afirmar que tales esperanzas no son una utopía. La Naturaleza misma parece darnos el ejemplo de la aniquilación constante de la masa, utilizada como fuente de energía, gracias a la cual se produce la lenta evolución del universo hacia estados que ignoramos, pues nuestra ciencia ha de conformarse con el conocimiento de la tangente a la curva que representa dicha evolución, en la inmediatez del momento y del lugar de ella que podemos llamar nuestro.

Es el caso que astrónomos y geólogos buscaban con interés comprensible el explicar la invariabilidad de la temperatura del sol, a pesar de las pérdidas que sufre continuamente por radiación. Representan éstas la cifra no despreciable de $3,8 \times 10^{33}$ ergios por segundo, o sea casi medio cuatrillón de kilovatios, mientras los fenómenos físicos o químicos que en la ciencia clásica podían ponerse a contribución con dicho fin, no alcanzan a una aportación de energía suficiente para explicarnos la lentitud con que se produce el agotamiento de nuestro astro central. En el caso más favorable, su edad no rebasaría los 20 millones de años, demasiado corta para satisfacer lo que exige nuestro conocimiento actual de la historia del sistema planetario.

Y esto que decimos del sol se refiere a cualquier otra estrella.

La dificultad se resuelve por el aniquilamiento de la materia, que decía antes. Estamos hoy seguros de que los átomos se reducen a pequeños sistemas planetarios, cuyo sol central es el núcleo atómico y sus satélites son los electrones

que neutralizan la carga positiva de aquél. La Mecánica cuantista postula la estabilidad de ciertas órbitas, gracias a lo cual no se precipitan los electrones sobre el núcleo; pero tal estabilidad no es absoluta. Los electrones ruedan de unos pisos a otros inferiores cuando en ellos existen alojamientos libres; sólo en el último, el más cercano al núcleo, parece que toda caída posterior es imposible. Pero no ha de olvidarse que nuestro conocimiento de los fenómenos naturales se halla limitado a un intervalo insignificante. La estabilidad absoluta de este último piso es casi seguro que no significa otra cosa que una probabilidad de caída mucho menor que para los pisos superiores. Claro es que entonces la ocurrencia del hecho en un intervalo que esté dentro de nuestra escala de tiempos puede ser muy rara, y las manifestaciones de sus efectos quedarán por bajo del alcance de nuestros medios de percepción.

Concretémonos al caso de un átomo de hidrógeno, para no complicar las posibilidades del fenómeno. La caída del electrón sobre el núcleo supone el aniquilamiento de dicho átomo y, por tanto, una pérdida de masa de $1,66 \times 10^{-24}$ gramos, o sean 15×10^{-4} ergios, equivalente a $4,17 \times 10^{-17}$ kilovatios-hora. Si suponemos que por cada segundo de tiempo se aniquilasen de este modo un millón de átomos, la temperatura de los $6,06 \times 10^{23}$ que existen en un gramo de hidrógeno se elevaría en proporción inferior a una cienmilésima de grado, mientras la masa disminuye en 1,5 trillonésimas de su valor. Ciertamente se trata de una cantidad muy inferior al alcance de nuestras balanzas más sensibles: habría que esperar más de un millar de años para que las microbalanzas actuales comenzaran a denunciarnos el indicado aniquilamiento del hidrógeno. Pero es el caso que, así y todo, es excesivo para interpretar la energía del sol, puesto que,

calculada la pérdida de masa por la radiación, no rebasa de la fracción 2×10^{-21} , o sea un millar de átomos por cada gramo de hidrógeno.

Por consiguiente, nada se opone de nuestra experiencia a tal hipótesis de destructibilidad de la materia. Vuelvo a preguntar: ¿tenemos derecho a llamar ilusos a los ingenieros que sueñan con fuentes de energía comparables a éstas? Ciertamente, no tendrá nuestra generación la suerte de asistir a semejante acontecimiento. Acaso el día en que ello sea una realidad, nuestro recuerdo se habrá borrado de la memoria de los hombres, pues ni siquiera nuestras bibliotecas tienen la resistencia contra la destrucción del tiempo que las tabletas de arcilla de las babilónicas. Ello no debe amenguar el entusiasmo de los técnicos, pues uno de los más hermosos atributos del espíritu humano es prolongar nuestra existencia individual más allá de todo límite en el pasado y el futuro, pues goza igualmente con la contemplación de las cosas que fueron en la noche de los tiempos o que serán en el más remoto porvenir.

Sin embargo, sería insensatez correr en pos de estas fuentes ideales de energía abandonando las mucho más pobres pero más al alcance de nuestra mano, que la industria puede ya utilizar en proporción muy superior a lo que hace hoy. Es esto particularmente interesante para nuestra patria y, al dar la bienvenida, en nombre de la Academia, a nuestro nuevo compañero, quiero terminar diciéndole en vuestro nombre que las puertas de esta Casa se han abierto en gracia a lo mucho que ya ha hecho para mejorar nuestra condición; pero que ello no significa saldar su cuenta, sino obligarle doblemente en su cometido. Cuantos hemos obtenido esta merced, nos hallamos en circunstancias análogas, dentro de nuestra esfera de acción; pero todos esperamos que el Sr. Sánchez Cuervo nos supere en entusiasmos y eficacia.