

depende, naturalmente, de la velocidad angular del motor, la cual puede ser regulada por medio de un reostato manejado desde el mismo sitio donde se coloca el fogonero.

La temperatura del interior del horno no desciende nunca por debajo de 1.000 grados y se eleva algunas veces á 1.500 grados; se tiene, pues, una combustión completa é higiénica. Á la entrada, la temperatura en régimen es de 950 á 1.000 grados; en el momento de la apertura de las puertas para hacer la carga desciende durante un tiempo muy corto á 800 grados, pero después se eleva en seguida para alcanzar los 1.200 grados.

El vapor se recalienta á 300 grados y se utiliza en un turbo-generador trifásico de 200 kilovatios, que se intercala en la red del alumbrado de la ciudad. La instalación está en servicio desde hace siete meses y ha funcionado sin interrupción. Por término medio, una tonelada de basuras produce una energía de 52 kilovatios útiles en los cables de la población.

La instalación completa ha costado 500.000 francos, comprendidos en ellos los 44.000 francos de los hornos de ensayo.

El rendimiento en kilowat-horas por tonelada de basuras es elevado; en Brünn no es más que de 34, y en Fiume, con hornos Herberts igualmente, es de 50.

Las conclusiones de M. Dettman son las siguientes:

La energía eléctrica producida por una instalación de incineración puede utilizarse:

1.º Para actuar en un camino de hierro eléctrico metropolitano. En la mayoría de las poblaciones por debajo de 100.000 habitantes, la energía producida es suficiente para asegurar la tracción.

En las poblaciones de 100.000 á 170.000 habitantes, la energía producida por la instalación puede ser suficiente en ciertos casos. En las poblaciones de más de 170.000 habitantes, la energía producida por la incineración es sólo del 50 al 80 por 100 de la energía total necesaria á la tracción.

2.º Para un servicio de abastecimiento de aguas. En las pequeñas poblaciones se utiliza para este servicio la mitad ó las tres cuartas partes de la energía producida por la incineración. En las grandes poblaciones la energía es suficiente para asegurar enteramente este servicio; en verano será preciso tomar energía á la red general, pero en invierno se restituirá.

3.º Luz y energía motriz. En las ciudades de menos de 200.000 habitantes, la energía suministrada por la instalación de incineración podrá, por sí sola, servir la red durante los períodos de demanda mínima de energía. En las grandes ciudades se deberá ayudar aun durante el día á las generatrices de la instalación de incineración.—O.

REAL ACADEMIA DE CIENCIAS EXACTAS, FISICAS Y NATURALES

Discurso del Sr. D. Leonardo Torres Quevedo, en contestación al del Sr. Garcini (1).

Siguiendo la costumbre establecida, he de disertar brevemente acerca de algún punto relacionado con el bien pensado y bien escrito discurso del Sr. Garcini. Trata éste, como dice su autor, de la aplicación de las matemáticas á «operaciones financieras que, además de estar regidas por la ley del interés compuesto, quedan sometidas á la determinación de probabilidades de sucesos que constituyen las condicionales de efectividad de los derechos y obligaciones de los contratantes».

De algo relacionado con este tema he de hablar; pero deseando evitaros la molestia de oírme discurrir trabajosamente acerca de las mismas cuestiones que con tanta maestría ha tratado el

Sr. Garcini, me limitaré á exponer algunas consideraciones acerca de la confianza que inspira el cálculo de probabilidades, cuyas previsiones se toman como base sólida para fundar en ellas negocios de grandísima importancia. Asunto poco nuevo en verdad, pero que siempre ofrece interés, porque parece que ha de haber diferencias esenciales entre las leyes científicas, que afirman rotundamente, y las previsiones más ó menos aleatorias del cálculo de probabilidades.

¿Existen realmente esas diferencias? Acerca de este punto haré breves consideraciones, pero antes diré algunas palabras sobre la diferencia entre las verdades racionales y las verdades experimentales, y sobre el carácter contingente de las últimas. Perdonadme esta digresión, que procuraré hacer lo más breve posible y que me es necesaria para contestar á la pregunta que acabo de formular.

Dejando á un lado problemas metafísicos, acerca de la existencia de la realidad objetiva, que no son ahora del caso, podremos decir que el principal objeto de la ciencia experimental es estudiar el mundo exterior; determinar por medio de la observación y la experiencia las leyes de los fenómenos é imaginar hipótesis ó teorías que los expliquen. Pero ni las leyes se determinan con exactitud absoluta, ni puede razonablemente creerse que las hipótesis científicas sean fiel representación del mundo exterior.

El hombre de ciencia que imagina una teoría procede como el mecánico que construye un autómeta.

Recuerdo haber visto de niño un juguete que me produjo impresión profunda: era un canario entre unas ramas, que cantaba, movía la cabeza y las alas y aun saltaba de una rama á otra. ¡Parecía un pájaro vivo! Gran entusiasmo me produjo aquella que yo reputaba maravilla de mecánica, y mi mayor satisfacción hubiera consistido en ser dueño del pájaro, para deshacerle y ver lo que tenía dentro. No conseguí realizar tan ambicioso deseo, y por lo mismo pensaba con frecuencia en aquel prodigio y en las dificultades que habría encontrado su constructor, el cual, á mi juicio, habría estudiado con todo detalle el organismo de los canarios vivos y le habría copiado con gran exactitud en el autómeta.

Desvarios infantiles, sin duda. Bien se me alcanza ahora que dentro de aquella máquina sólo hubiera encontrado ruedas dentadas, resortes, palancas y otros mecanismos que en nada se parecen á los órganos de un ser vivo. Pero ¿mostraría más reflexión quien pensara que los átomos ponderables ó imponderables, las fuerzas á distancia, el éter, los torbellinos y todas las demás abstracciones ideadas por los hombres de ciencia tienen existencia objetiva?

«Probablemente, dice Echegaray, todas las construcciones científicas no pasan de construcciones simbólicas del entendimiento.»

Y poco después añade que, «á los grandes descubrimientos del análisis debe acompañar constantemente la comprobación experimental, para ver en cada momento si las dos series, la de los fenómenos naturales y la de sus imágenes, la de las realidades y la de sus esquemas, la del mundo exterior y la del mundo racional, marchan paralela y armónicamente adaptándose una á otra con absoluta exactitud; ó si, por el contrario, los nuevos términos se rechazan y se alejan, los moldes se rompen y su conformidad y concordancia se turban.»

La imposibilidad de conocer la naturaleza de las cosas salta en verdad á la vista, si se considera la manera de establecer las leyes y las teorías de la ciencia experimental.

El físico que establece una ley, por ejemplo, la relación entre la presión y el volumen de un gas á temperatura constante, realiza una serie de experimentos y en cada uno de ellos determina dos valores numéricos correspondientes el uno á la presión y al volumen el otro. Si se propone representar la ley por medio de una curva, dirá que ha determinado un punto; pero no le ha determinado con entera exactitud, porque al medir sus coordenadas—los dos valores numéricos á que antes me refería—

(1) El comienzo del discurso dando á conocer datos biográficos del Sr. Garcini lo publicamos en el núm. 1.707.

habrá cometido algún error; no hay ni se puede concebir que haya nunca aparatos enteramente libres de él. Así no podrá decir que la curva ha de pasar por un punto determinado; sólo le será lícito afirmar que pasará cerca de él á una distancia, cuyo límite máximo depende de los errores de observación. En resumen: nuestro experimentador ha determinado un cierto número de puntos y quiere hallar una curva que pase por cerca de todos ellos.

El problema es indeterminado; hay un número infinito de curvas que satisfacen á esa condición; ¿cómo elegir entre ellas, si todas son igualmente probables? La cuestión se resuelve eligiendo la más sencilla, la que menos dificultades ofrezca en las aplicaciones prácticas. Y la más sencilla elegimos, á veces, aun á sabiendas de que no es la más exacta. Aunque sabemos desde la época de Newton que la atracción entre dos masas varía en razón inversa del cuadrado de la distancia que las separa, suponemos que el peso de un cuerpo (atracción entre él y la tierra) es el mismo á diferentes alturas (es decir, á diferentes distancias). Y si algún día se confirmaran las hipótesis que suponen esta ley mucho más complicada, hasta el extremo de que á distancias sumamente pequeñas la atracción se cambia en repulsión, admitiríamos esta nueva ley para los fenómenos de orden molecular, pero seguiríamos diciendo en la mecánica terrestre que el peso de los cuerpos no varía con su posición, y en la mecánica celeste que la atracción entre dos astros varía en razón inversa de su distancia.

No es posible, fundándose en estudios experimentales fragmentarios é inexactos, imaginar un mundo racional que corresponda exactamente al mundo real, y aunque le imagináramos no sería esta correspondencia garantía de la realidad de nuestra hipótesis, porque según ha demostrado M. Poincaré, siempre que haya una hipótesis mecánica que explique un cierto orden de fenómenos, habrá una infinidad de hipótesis distintas que los expliquen igualmente, y no será posible determinar cuál de ellas es la verdadera. Las realidades son cosa completamente distinta de los esquemas con que nosotros las representamos. La comprobación de que habla Echeagaray indicará—cuando haya concordancia entre la serie del mundo racional y la del mundo exterior—que las leyes experimentales comprobadas son por el momento suficientemente aproximadas. Nunca demostrará que sean absolutamente exactas y menos aún que sean necesarias.

Todo esto lo pone de relieve Poincaré diciendo que un astrónomo que ha calculado las coordenadas de Saturno para un momento determinado, no debería en rigor asegurar que el astro ha de encontrarse á tal hora en tal lugar del cielo; debería limitarse á decir: Saturno estará *probablemente* á tal hora *cerca* de tal lugar del cielo. Y así, con dos adverbios, expresa los caracteres de las leyes experimentales que son únicamente verdades aproximadas y *probables*.

Las verdades de las ciencias abstractas, al contrario, aparecen como necesarias y rigurosamente exactas, pero esto proviene de que no se refieren á los fenómenos del mundo exterior, sino á las relaciones que existen entre ciertos entes de razón que no tienen realidad ninguna, que fueron imaginados y definidos por nosotros y cuyas propiedades nos son perfectamente conocidas, sin error posible, porque son precisamente aquellas que nosotros les atribuimos al definirlos.

De estas propiedades, que son ciertas por definición, deducimos por métodos puramente racionales leyes que necesariamente hemos de tener por ciertas, si no nos rebelamos contra los dictados de la razón.

Pueden equivocarse y se han equivocado con frecuencia los matemáticos que, desgraciadamente, nunca fueron infalibles, pero estos errores—puramente lógicos—han de achacarse á los hombres de ciencia y no al método que emplean, porque éste se reduce en último término á sacar conclusiones—deducidas con arreglo á las leyes de la lógica—de ciertas premisas aceptadas como verdaderas.

No cabe duda, á mi juicio, acerca del carácter de una ciencia

determinada; depende del alcance de sus afirmaciones; será una ciencia racional y abstracta si sus afirmaciones se refieren únicamente á puras abstracciones; será necesariamente una ciencia experimental si sus afirmaciones trascienden al mundo real.

Un cantero, que conocí hace muchos años, había aprendido á trazar un círculo que pasara por tres puntos; no tenía noción ninguna de Geometría; le llamó la atención aquella construcción tan sencilla, la repitió formando con los tres puntos triángulos muy diferentes y siempre obtenía el resultado apetecido. Si alguna vez no sale—decía con gran convicción—es que me he equivocado en el dibujo.

Para aquel hombre que no sabía qué cosa fueran las abstracciones geométricas, ni tenía noticia de ellas, aquella era una verdad experimental; él afirmaba que, por tres puntos señalados con un puntero en la cara plana de una piedra ó el terreno, que eran sus tableros de dibujo, se puede hacer pasar una raya de forma circular. Y esto lo afirmaba, como afirmaba que una piedra cae, porque lo había comprobado muchas veces.

Con experimentos análogos, convenientemente dirigidos, hubiera podido formular una Geometría experimental y rudimentaria.

De muy distinta manera enunciará la misma verdad un estudiante de matemáticas. Le han definido el punto, la recta, el plano, el círculo y otras abstracciones geométricas; le han hecho comprender que sólo á esas abstracciones se aplica la ciencia que estudia, que las figuras que traza en el encerado sirven para ayudar á la memoria y hacer más clara la explicación, pero que no puede buscar en ellas la demostración de los teoremas; le han demostrado de una vez para todas, en una forma absolutamente general, que por tres puntos de un plano, que no están en línea recta, puede pasar una circunferencia, y para él esta es una verdad exacta y necesaria. No necesita, ni puede hacer experimento ninguno, porque con abstracciones no es posible experimentar. Pero debe tener en cuenta que no puede aplicar al mundo real esta verdad con esos caracteres de certidumbre y exactitud. Para aplicarla necesitará primero demostrar la concordancia entre los cuerpos á los cuales ha de aplicarse, y las abstracciones á que se refiere la demostración matemática y esta concordancia nunca pasará de ser una verdad experimental.

En la observación y la experiencia han de fundarse necesariamente todas las leyes relativas al mundo real, y ya hemos visto que sobre tal fundamento sólo pueden asentarse verdades aproximadas y probables. A una probabilidad más ó menos grande se reducen, en definitiva, todas nuestras afirmaciones acerca de los fenómenos naturales; lo que hay en la mayoría de los casos, al formular una afirmación experimental, sabemos que la probabilidad de acertar es muy grande, pero no tenemos medio ninguno de someterla al cálculo.

En el cálculo de probabilidades sucede todo lo contrario: esta ciencia estudia precisamente aquellos casos en que es posible calcular matemáticamente el valor de una probabilidad. No se contenta con afirmar la probabilidad de que en una ruleta bien construida salgan el mismo número de *rojos* y de *negros* aproximadamente; calcula las probabilidades de que la relación entre los dos colores difiera más ó menos de la unidad, y afirma, por ejemplo, que en un millón de jugadas hay cien probabilidades contra una de que esa relación esté comprendida entre 1,0014 y 0,9986.

Esta es una verdad matemática que no puede comprobarse ni desmentirse por la experiencia. Un experimento sólo serviría para dar indicaciones acerca de la construcción de la ruleta. Si se realizase el millón de jugadas y la relación entre los *negros* y los *rojos* no estuviera comprendida entre 1,0014 y 0,9986, la ruleta podría parecer sospechosa; pero si saliera uno de los colores un millón de veces seguidas, afirmaríamos con entera seguridad que eso consistía en la construcción de la ruleta, no nos pararíamos á examinarla, ni aunque nos mostraran que la construcción era perfecta nos daríamos por satisfechos. Nunca

nos resignaremos á admitir que este hecho se produzca por pura casualidad, y, sin embargo, no podemos, en rigor, negar la posibilidad del caso. La cantidad de combinaciones en un millón de jugadas es enorme: el número que la expresa tiene más de trescientas mil cifras; en la gran mayoría de las combinaciones los *rojos* y los *negros* alternan sin ley ninguna, pero hay dos combinaciones en que sólo figura un color. ¿Por qué negamos á la casualidad el derecho á elegir una de ellas?

Para hablar con rigor matemático no diríamos que es *imposible* que el hecho ocurra, diríamos que es *improbable*, lo mismo que el astrónomo de Poincaré debería limitarse á decir que es *probable* que Saturno esté en tal punto del cielo á tal hora; pero en uno y otro caso la probabilidad es tan grande que equivale para nosotros á la certidumbre. La diferencia está, según dije antes, en que el cálculo de probabilidades pone siempre de manifiesto la posibilidad de que sus predicciones resulten equivocadas, sin que se infrinjan las leyes que sirvieron para establecerlas; mientras que las ciencias experimentales admiten en todos sus razonamientos la exactitud de las leyes que aplican y no pueden, de ordinario, admitir la posibilidad de equivocarse, sin ponerse en contradicción con estas leyes. Por eso sus afirmaciones son necesariamente más rotundas en la forma aunque no siempre tengan más sólido fundamento.

Pero aun esta diferencia desaparece en algunos casos. Permittedme citar lo que dice á este propósito M. Poincaré en uno de sus últimos libros: «Es sabido que en esta teoría (la teoría cinética de los gases) se explican todas las propiedades de los gases por una hipótesis sencilla: se supone que todas las moléculas gaseosas se mueven en todos sentidos con grandes velocidades y que siguen trayectorias rectilíneas que sólo se alteran cuando una molécula pasa muy cerca de las paredes del vaso ó de otra molécula. Los efectos que nuestros sentidos groseros nos permiten apreciar son los efectos *medios*, y en éstos, las grandes desviaciones se compensan, ó, por lo menos, es muy improbable que se compensen; de suerte que los fenómenos observables siguen leyes sencillas, como las de Mariotte y Gay-Lussac. Pero esta compensación de las desviaciones no es más que probable.

»Las moléculas cambian constantemente de lugar, y en estos desplazamientos continuos las figuras que forman pasan por todas las combinaciones posibles. Sólo que estas combinaciones son muy numerosas, casi todas conformes á la ley de Mariotte, algunas únicamente se separan de ella. Éstas se realizarán, pero será necesario esperarlas mucho tiempo; si se observara un gas durante un tiempo bastante largo, se le vería separarse, durante un tiempo muy corto, de la ley de Mariotte. ¿Cuánto tiempo sería necesario esperar? Si quisiéramos calcular el número probable de años, encontraríamos que este número es tan grande que necesitaríamos diez guarismos sólo para escribir el número de cifras que habian de componerle; poco importa, nos basta que ese número sea finito.

»No quiero discutir á qué el valor de esta teoría. Es claro que si se adopta la ley de Mariotte se nos aparecerá ya sólo con el carácter de contingente, puesto que ha de llegar un día que en que no será verdadera.»

En estos regiones muestra M. Poincaré con entera evidencia la analogía, la identidad que presentan el cálculo de probabilidades y algunas teorías físicas, y por eso el insigne matemático francés dice de ellas, en otra ocasión, que «están fundadas en las leyes de los grandes números, y el cálculo de probabilidades las arrastraría seguramente en su caída».

Cierto es que la aplicación de este cálculo presenta á veces dudas y dificultades, sea porque no se han determinado con suficiente exactitud las probabilidades á *posteriori* en cada caso, sea porque el número de casos considerados es demasiado pequeño, ó sea por otro motivo cualquiera; pero estas son dificultades inherentes á todo estudio práctico.

El Ingeniero que proyecta una obra fundado en fórmulas y datos numéricos, de aproximación á veces muy dudosa, no ob-

tendrá de ordinario más aproximación en sus cálculos que el actuário que proyecta una Compañía de seguros fundado en estadísticas fidedignas.

El cálculo de probabilidades es un guía útil y seguro en el cual puede depositarse absoluta confianza, siempre que se cuide de aplicarle en condiciones razonables.

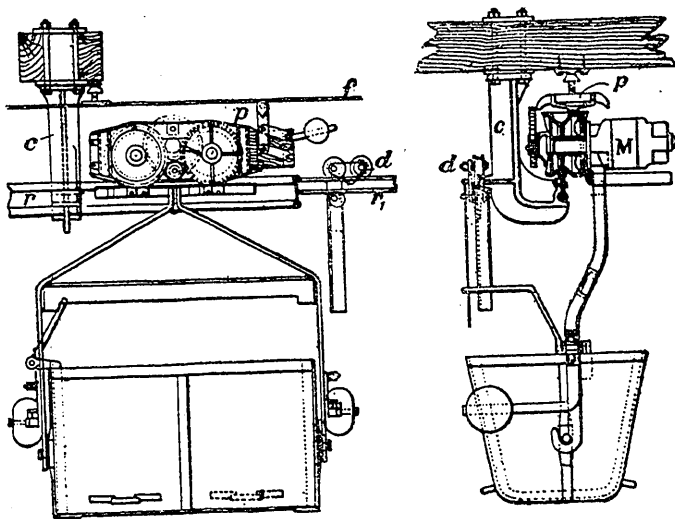
No necesitaba ciertamente, para continuar aplicándose, que yo le otorgara este certificado; pero, en fin, yo necesitaba hablaros de algo, y estas disquisiciones, inútiles en sí, habrán tenido á lo menos una utilidad: la de permitirme cumplir bien ó mal, más mal que bien, de seguro, el deber para mí gratisimo de abrir las puertas de esta Academia á nuestro nuevo é ilustre compañero.

TRANSPORTADORES SUSPENDIDOS

Si los transportadores funiculares para talleres presentan notables ventajas y han dado lugar en estos últimos años á aplicaciones extremadamente atrevidas, los caminos de hierro de un carril suspendidos con trenes eléctricos automotores encuentran útilmente su empleo en ciertos casos, sobre todo cuando la vía puede establecerse próximamente horizontal.

Diversos constructores los han instalado en grandes talleres, donde prestan excelentes servicios.

El tipo del monocarril suspendido que vamos á describir, según el *Stahl und Eisen* del 26 de Febrero, se construye por los talleres A. Koppel, de Berlín, y comprende (figuras 1.^a y 2.^a) un



Figs. 1.^a y 2.^a

carril *r* montado sobre silletras *c* y un hilo eléctrico *f*, sobre el cual se apoya un captador de corriente *p*, que forma parte del carrerón automotor. Éste descansa sobre dos rodillos y lleva el motor *M*, que los acciona por engranajes.

La cubeta basculante, de capacidad variable, va suspendida al carrerón, y un aparato de escape *d*, que se puede fijar en el lugar deseado, desplazándose á lo largo del pequeño carril *r*, igualmente sostenido por las silletras *c*, sirve para provocar el basculeo automático de la cubeta, que se descarga así sin parada del carrerón.

Se puede igualmente constituir trenes de cubetas simplemente suspendidas á carrerones sin motor, y enganchadas á un tractor más potente, que lleva un conductor, el cual realiza entonces las maniobras como sobre un camino eléctrico ordinario.

La vía se refuerza en este caso, y el peso del conductor, reforzado si es preciso con lastre, se suma al del tractor para asegurar la adherencia necesaria á la marcha del tren.—O.