

ENSAYO
SOBRE LA ESTRUCTURA LÓGICO-GENÉTICA
DE LAS
CIENCIAS FÍSICAS

Ensayo

sobre la

Estructura Lógico-Genética

de las

Ciencias Físicas

(Tesis doctoral)

por

JUAN DAVID GARCIA BACA

TIPOGRAFIA OCCITANIA

Mallorca, núm. 410

1935

PRÓLOGO

El trabajo presente es una aplicación del método proyectivo a la física teórica.

El método proyectivo se ha a los conceptos por él formados como una sucesión matemática convergente a su límite.

Cinco sucesiones conceptuales empleo aquí. Las que van: 1) de formulación sensible a expresión formal; 2) de relativismo a absolutización; 3) de pluralidad a unificación; 4) de ontología general a ontología regional; 5) de definiciones absolutas a definiciones de coordinación.

Las cinco determinan como límite un sistema de categorías, las categorías regionales de la física; convergen en un determinado mundo de esencias. Cuáles sean éstas, será objeto de un trabajo, complemento de esta tesis doctoral.

El sistema de categorías regionales de la física queda, pues, aquí solamente indicado, aludido. No pretendo fijar una interpretación, sino más bien presentar los materiales que a ella conducen.

He procurado evitar la técnica matemática; trabajo más dificultoso y menos lucido que sacar a las planicies del papel los monstruos matemáticos de integrales y ecuaciones diferenciales.

No sé si todos me lo agradecerán; solamente lo sentiría si la falta de tal movilización perjudicase la valoración de lo físico, que es en definitiva mi principal intento.

Un humilde ensayo de "salvación filosófica" de la física, he aquí lo que quisieran ser estas páginas.

LINEAS GENERALES DE LA EVOLUCION DE LOS CONCEPTOS Y LEYES DE LA FISICA TEORICA

CAPÍTULO PRIMERO

Eliminación progresiva de los aspectos sensibles.

- 1.º Aspectos sensibles de la física (pág. 15).
 - a) División en tratados.
 - b) Definiciones básicas.
 - c) Imágenes básicas.

- 2.º Formalización de la física: medios, tipos, estadios (página 37):
 - a) Estadio clásico: medios empleados.
 - b) Estadio formalista: medios empleados.
 - c) Estadio moderno: medios empleados.

- 3.º Evolución de formulación sensible a expresión formal: en tres ejemplos (pág. 45).
 - a) El principio de conservación de la energía.
 - b) El principio de la entropía.
 - c) El átomo.

- 4.º Consecuencias generales (pág. 57).

CAPÍTULO SEGUNDO

Eliminación de lo relativo en física. Estadios.

1.º) Elementos relativos en física (pág. 61).

- a) Ecuaciones diferenciales.
- b) Constantes indeterminadas.
- c) Sistemas de coordenadas.

2.º) Eliminación de los elementos relativos: medios según las diversas etapas (pág. 73).

- a) Integración.
- b) Ecuaciones cuánticas.
- c) Cálculo diferencial absoluto e invariantes.
- d) Métodos originales.

3.º) Consideraciones generales: y ejemplos (pág. 75).

- a) Peso atómico absoluto.
- b) La constante energética.
- c) La constante de la entropía.

CAPÍTULO TERCERO

Eliminación de la pluralidad de nociones. Unificación conceptual

1.º) Medios de unificación (pág. 81).

- a) Por una noción superior.
- b) Por equivalencia mutua sintética.
- c) Por un invariante superior.

2.º) Evolución histórica de la unificación conceptual. Medios (página 95).

- a) Física clásica.
- b) Física moderna.

CAPÍTULO CUARTO

Transformación de los elementos metafísicos en la física clásica y moderna

1.º) Transformación del concepto substancia (pág. 101).

- a) Determinaciones metafísicas.
- b) Transformaciones en la física clásica.
- c) Transformación en la física moderna.

2.º) Transformación del concepto individuo (pág. 107).

- a) Determinaciones ópticas clásicas.
- b) Transformación en la física clásica.
- c) Transformación en la física moderna.

3.º) Transformación del concepto de causalidad (pág. 116).

- a) Determinaciones ópticas clásicas.
- b) Transformación en la física clásica.
- c) El principio de causalidad en la física moderna.

CAPÍTULO QUINTO

Introducción consciente de las definiciones de coordinación

1.º) Algunas consideraciones sobre la estructura del espacio geométrico y definiciones de coordinación (pág. 137).

2.º) Teoría del espacio físico y definiciones de coordinación (página 143).

- a) Determinación de la geometría real. Tres definiciones de coordinación.**
- b) Geometría y fuerzas. Principio de Mach. Cuarta definición de coordinación.**
- c) Fusión de geometría y física. Principio de equivalencia.**
- d) Topología del espacio físico. Consecuencias.**

***LINEAS GENERALES DE LA EVOLUCION DE LOS
CONCEPTOS Y LEYES DE LA FISICA TEORICA***

La primera dirección en que parecen evolucionar los conceptos y leyes de la física va de formulación guiada por lo sensible a expresión formal. Es difícil encontrar un término que cuadre perfectamente al punto de partida y al de llegada. Con todo el par “formulación sensible”—“expresión formal” es lo suficientemente claro y elástico para abarcar los mil matices que encerraré. Corresponde más o menos al proceso que Ortega Gasset llama, en el terreno artístico, “deshumanización”. Formular un concepto, una ley, un experimento *sensiblemente* incluye someter lo matemático a lo que presentan directamente los sentidos, las imágenes de origen sensorial, las metáforas sensibles; de manera que lo sensible dirija lo formal, lo matemático. La evolución de la física se dirige hacia una expresión formal, entendiéndose por formal, lo que admita una formulación matemática o lógica pura. Esta dirección no es rectilínea, es más bien ondulante. A lo largo de este capítulo precisaré tales inflexiones.

CAPÍTULO PRIMERO

Aspectos sensibles de la Física

(a)

División de la física en tratados

La correspondencia del número de partes, orden, delimitación y disposición interna en que se divide la ciencia física, con el número de sentidos externos del hombre, no es solamente un puro hecho casual, sin transcendencia científica: el ámbito de su influjo se extiende desde el dominio experimental, a través de las clases de instrumentos, hasta las definiciones y principios más fundamentales. Vamos a recorrer brevemente, casi por alusiones, algunos aspectos sensibles de la física.

La división clásica de la física teórica nos descubre las siguientes coordinaciones físico-psíquicas.

1.^a La cinemática pura corresponde a las percepciones de espacio, tiempo y movimiento. En cinemática pura se comienza fijando un sistema de coordenadas, que no es sino un conjunto de elementos para localizar perfectamente los acontecimientos, o sea el escenario y fondo inmutable sobre el que proyectarán sus sombras esquemáticas los sucesos físicos. Se toma el tiempo como una coordenada más, que hará el oficio de variable independiente; y sobre este telón, cuadrículado por las coordenadas, los diversos movimientos irán señalando sus trayectorias varia-

das, más o menos complejas, siempre acromáticas. Nada de fuerzas, o de causas, entre aquí para explicar el por qué y el cómo de los diversos movimientos. Esta separación entre movimientos y fuerzas, entre lo que parece "efecto" y lo que se tiene por "causa", es, desde el punto de vista filosófico, muy "innatural", casi inexplicable, sobre todo si admitimos que la categoría causalidad es una forma a priori, necesaria para el conocimiento del mundo. De modo que esta aporía, este desconcierto de filósofo ante la existencia, dentro de la ciencia física, de un tratado sobre efectos en que sistemáticamente se eliminan las causas, debe conducirle a buscar la razón íntima de tal hecho científicamente indiscutible, y trabajado con cariño por los físicos en su independencia antimetafísica.

Los sensibles llamados comunes son fundamentalmente el espacio o extensión y el movimiento que siempre describe una u otra figura y por medio del cual solemos "descubrir" el tiempo físico. Las percepciones sensibles correspondientes no nos conducen de ordinario a las causas. La contemplación de las órbitas y posiciones de los astros, el puro mirar un objeto en movimiento que nosotros no causamos, son actitudes naturales e inmediatas. Si admitimos que los sentidos no pueden descubrirnos nunca la causalidad misma (el hecho de causación produciéndose) habremos de concluir que es una coordinación muy natural la que existe entre cinemática, como tratado relativamente independiente dentro de la física teórica, y los sensibles comunes.

La cinemática nos proporciona, pues, una fotografía acromática, en puras líneas incoloras, del aspecto exterior del universo material contemplado a través de los sensibles comunes.

La unidad de significación de la cinemática pura, como tratado científico, depende de la unidad natural de la actitud puramente contemplativa del universo por medio de los sensibles comunes.

Esta coordinación inconsciente e inconscientemente establecida entre dos campos tan heterogéneos como el físico y el psíquico trae consigo una cierta sensibilización de nuestro conocimiento del ser físico, cuyas ventajas e inconvenientes científicos se irán notando, eliminando o reforzando a lo largo de la evolución de la física. A continuación veremos qué consecuencias se

derivan de este influjo sensible sobre la noción de velocidad, fundamento de la cinemática.

2.^a La segunda parte de la física teórica clásica acostumbraba a tratar de la mecánica en sus dos partes, estática y dinámica.

La dinámica, como dominio científico, se coordina con los fenómenos en que nosotros intervenimos con esfuerzos, con impulsos, arrastres, movimientos que causan otros: es decir, el conjunto de fenómenos término de nuestra actividad muscular forma una unidad correlativa al sensible propio, al modo fenoménico original del sentido muscular activo. Aparece la noción de fuerza como causa del movimiento. La cinemática comenzará a perder su independencia parcial dentro de la física. Por una transposición muy natural, cuyos fundamentos no hemos de estudiar, supondremos que para todo movimiento o cambio se da una causa de tipo fuerza más o menos parecida a nuestro esfuerzo. Con ello hemos construído un nuevo campo de nociones, al parecer de suficiente unidad interna, "la dinámica", o "el conjunto de fenómenos que supone causas de tipo fuerza". O bajo otra forma: "el conjunto de fenómenos a que tiene aplicación, en que interviene el principio de causalidad eficiente": conjunto de estructura doble; la de los efectos, por un lado: la de las causas eficientes materiales, por otro". Si queremos dar a esta caracterización un matiz más severo diríamos: "la dinámica es el conjunto de fenómenos en cuya constitución entra la categoría de causalidad, estructurándolo con la relación causa-efecto".

Por mucho que formalicemos la definición de dinámica no podremos quitarle su origen sensible; como explicaré inmediatamente se refleja esto en la noción fundamental, la de fuerza. Hasta Einstein no perderá la fuerza, ni la dinámica, su matiz humano, su alusión continua a esfuerzo muscular y a movimientos externos por él causados.

3.^a La estática, como parte especial de la mecánica general, (unidad teórica construída después y sobre la estática y dinámica), no justifica su relativa independencia en los tratados clásicos sino por su origen sensible. Corresponde al conjunto de sensaciones de presión sin efecto externo de cambios locales.

Peso que sostenemos sin bajar la mano, empuje a una grande masa que no conseguimos mover... En estos y semejantes casos se da la fuerza, el esfuerzo, el empuje, impulso o como queráis llamarlo; mas sin el efecto espectacular de los casos dinámicos. La estática forma una subunidad científica bajo la categoría (llamémosla así) de "causalidad mutua compensadora"; que con otros términos se llama "equilibrio dinámico, estado de tensión".

Si afinamos progresivamente la noción sensible primitiva llegaremos a poder traducirla matemáticamente, mas no por eso perderá la marca de procedencia. Parecerá que hemos hallado un medio de unificar un conjunto de fenómenos bajo una nueva categoría básica "causalidad mutua equilibrada"; discutiéndola será posible subdividir el tratado, deducir leyes secundarias, etcétera. Con todo veremos que la unidad científica de la estática es muy precaria; que su noción básica, aun formulada matemáticamente, se resiente de su origen sensible. Nos hallamos ante un nuevo caso de unificación psíquica de lo físico, con apariencias de unificación lógica. La repercusión de este elemento humano en las nociones será objeto de nuestro particular estudio.

4.^a Resultan coordinaciones vulgares las de tratado de la luz con el sentido de la vista, tratado del calor con el sentido de la temperatura, tratado del sonido con el sentido del oído.

Y al hallarse la electricidad, como al parecer no pertenecía a ningún sentido especial, se fueron dividiendo sus fenómenos según los dominios anteriores. Los efectos mecánicos se trataron según las ideas de la mecánica clásica; los caloríficos se adjudicaron al modelo clásico de calor; los luminosos, al tratado de la luz... La electricidad careció hasta Maxwell-Hertz de unidad interna científica, porque el criterio, director implícito y parcelador del campo científico, no eran sino los sentidos, las unidades psíquicas cognoscitivo-sensibles; y faltaba un adecuado principio de unidad psíquica para los fenómenos eléctricos.

Estas coordinaciones no son ni ficticias ni inofensivas. Son hechos históricos, muy naturales y de inmensa transcendencia para la estructura científica de la física teórica.

No voy a examinar todas las repercusiones, sino únicamente

elegiré unos ejemplos, lo más aleccionadores que sea posible, para nuestras finalidades lógicas. Más adelante desarrollaré ampliamente la evolución de formulación sensible a expresión formal en tres nociones básicas; la energía, la de entropía y la de átomo.

Si, como acabamos de ver, las unidades cognoscitivo-psíquicas (los sentidos) son los principios unificadores espontáneos de los diversos dominios de la física, se dará el siguiente proceso:

a) el conjunto de observaciones básicas, en su unidad y designación de fenómenos *típicos, primarios, orientadores* será determinado por el sentido correspondiente. La observación natural quedará, pues, dividida en compartimientos naturales (psíquicamente) y dentro de cada uno se encontrará ya hecha la designación de "fundamental y secundario".

b) los experimentos y los correspondientes aparatos en su misma estructura, fines y objetos a experimentar, resultados esperados... quedarán también automáticamente encerrados dentro de los correspondientes compartimientos. Se experimentará ya en una dirección determinada; se construirán los aparatos, orientados al aspecto sensible y se pretenderá notar los datos por el mismo sentido sobre cuyos objetos versan.

c) las observaciones afinadas por los experimentos proporcionan las leyes experimentales sobre las cuales se basarán las consideraciones teóricas. Tenemos, por tanto, que si el influjo sensible es real, se darán tantos compartimientos de observaciones, experimentos y aparatos, leyes y teorías cuantos son los sentidos, en su funcionamiento normal, orientados hacia lo más llamativo y propio.

Así de hecho ha sucedido en la constitución de la física teórica.

Las máquinas primitivas; palancas, poleas, ruedas... son evolución natural de los miembros del hombre. Los experimentos con lentes, prismas, espejos, láminas... que parten de luz y dan sus resultados bajo forma de luz, son histórica y psicológicamente los primeros. Los aparatos ópticos, bajo forma de prolongación, afinamiento, acomodación al "ojo" humano, forman una mayoría abrumadora en la óptica clásica. No voy a clasificar bajo

este punto de vista todos los aparatos de cada tratado por su grado mayor o menor de analogía con las funciones de un sentido: me saldría de la finalidad de este trabajo. Basten las indicaciones anteriores. La importancia de la intervención activa de un sentido en cada aparato explica el hecho significativo de que los aparatos que registran solos todo el proceso, los que traducen los resultados bajo fenómenos de un sentido diverso del correspondiente a los fenómenos, objeto directo del estudio, son de muy reciente invención.

5) Un ejemplo más concreto: tomemos el tratado de la electricidad en la obra "Traité de Physique" de D. O. Cwolson (cinco tomos en la traducción francesa), toda ella de tipo clásico, a pesar del punto de vista energético en que se coloca. Vamos a ver cómo las observaciones determinan los aparatos y éstos las leyes.

Comienza Chwolson señalando los *hechos fundamentales*.

a) Al frotar algunos cuerpos, por ejemplo, el ámbar con una franela, atraen los cuerpos ligeros (vgr. una bolita de corcho); y luego de realizarse el contacto, los repelen. Y otros hechos ya conocidos por cualquier estudiante de física; ya que casi todos los autores comienzan el tratado de la electricidad de la misma manera, señalando "hechos fundamentales"; que resultan ser los que por *casualidad* se presentaron a un *sentido*.

b) Este fenómeno de atracción y repulsión da lugar sin más a los aparatos "fundamentales"; los electrómetros. Nada más natural en efecto que fijar el cuerpo electrizado, causa de tales movimientos, poner convenientemente otro cuerpo electrizado cerca de él, añadir una escala para medir.

c) Basta mirar el proceso para deducir que "la ley fundamental" expresará una atracción o repulsión entre dos cuerpos. Efectivamente, fué la que primeramente se halló. Ley de Coulomb (1785). Y este hallazgo ya no es casual. Lo imponía el mismo proceso. La ley es

$$f = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$
; la fuerza atractiva es igual al producto de las canti-

dades de electricidad (de signo contrario), dividido por el cuadrado de la distancia mutua.

Nos hallamos claramente ante un aspecto sensible en la construcción de aparatos y de leyes. El calificativo de "hechos, leyes, aparatos básicos" agrava el influjo de lo sensible. Será menester todo el genio de Maxwell-Hertz para romper con esta dirección que destrozaba la unidad profunda

de los fenómenos eléctricos por el inconsciente, mas poderoso influjo clasificador y orientador, de los sentidos.

Los tratados de espíritu moderno comienzan ya de una manera muy diferente. Por la noción de campo eléctrico, algo totalmente invisible, definen las magnitudes básicas y plantean las ecuaciones diferenciales de Maxwell; y por una serie de deducciones, llegan, entre otras consecuencias, a la famosa y fundamental ley de Coulomb.

Notemos la contraposición de ambos métodos.

a) El clásico deriva la atención a los cuerpos y leyes visibles; el moderno, al campo invisible.

b) Ya no existen cuerpos típicos ni hechos básicos, señalados por tales por la misma naturaleza; contra la tendencia clásica. inconscientemente guiada por lo sensible inmediato.

c) Los experimentos ya no siguen los caminos de la observación, como en la física clásica.

d) Desde el punto de vista matemático; en las exposiciones de espíritu moderno se emplea el cálculo vectorial en el que entra como elemento nuevo el de la dirección (carácter vectorial) que en la observación directa desempeña un papel secundario por ser menos sensible que otros datos.

e) Con el método clásico no posee unidad interna el tratado de la electricidad. La tiene relativamente muy acentuada en la física moderna.

La física moderna no ha respetado la unidad impuesta a los tratados por los sentidos correspondientes. Por ejemplo, la teoría de la radiación ha fundido en uno grandes partes de los tratados del calor y de la luz.

Hallándonos al presente en una fase depuradora del influjo sensible no es aún hacedero señalar las partes independientes (relativamente) de la física que correspondan a grupos de fenómenos físicos con independencia objetiva. Nos falta aún una anatomía y fisiología científica del universo físico. Sólo entonces podremos definir perfectamente las nociones, estableciendo una correspondencia biunívoca, si fuera posible, entre los tratados de la física y las partes de lo físico. A lo largo del presente trabajo expondré los resultados obtenidos en esta dirección lógico-óptica. Es, pues, de suma importancia descubrir el influjo de lo sensible, tal como parece ser dado a nuestros sentidos sobre las nociones y leyes físicas, antes de pretender levantar una ontología de lo físico, que no sea una psicología de lo físico.

(B)

EL INFLUJO DE LO SENSIBLE EN LAS DEFINICIONES
BASICAS

Indicaré nada más tres ejemplos que pongan de manifiesto el matiz sensible que conservan, aun en su formulación matemática, las nociones de velocidad (cinemática), la de fuerza (dinámica), la de tensión o equilibrio (estática).

1.º Noción fundamental de la cinemática: velocidad.

a) Coloquémonos en la actitud ordinaria de contemplar un movimiento; un pájaro que pasa ante nuestra vista, y que seguimos con la mirada, un tren que se aleja de la estación...

Ante todo *vemos* tales fenómenos en un escenario, sobre un fondo, paisaje o contorno que se nos presenta como inmóvil, con puntos más o menos destacados y fijos siempre, que nos permiten decir: "el objeto que se mueve, se halla aquí, va a llegar a tal punto, pasa por delante de..." Es decir, se da siempre un sistema sensible de *coordenadas concretas*.

Por afinación científica de esta noción llegaremos al concepto de *escenario geométrico puro*, cuadrículado, formal, que no otra cosa es un sistema de coordenadas. Él nos permite decir, "el punto ha recorrido tantas unidades de longitud, forma tal ángulo..."

b) En la observación sensible de un movimiento, se dan siempre un punto de partida más o menos definido y una dirección: técnicamente diremos que la velocidad es un vector.

c) El movimiento se refiere siempre a dos términos en reposo; el observador y el sistema concreto de coordenadas. Es decir, admitimos naturalmente dos términos de referencia fijos que pueden coincidir en uno.

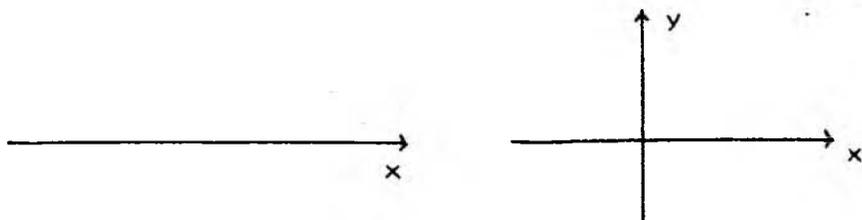
d) El movimiento lo *vemos* "en" un cuerpo, aun cuando el cuerpo que se mueva aparezca como el contorno entero que viene a nuestro encuentro. Aspecto del paisaje al ir en tren.

e) En el movimiento descubrimos el tiempo; y en este descubrimiento espontáneo entra necesariamente la referencia a las coordenadas concretas, a puntos fijos del paisaje, a otro cuerpo que se mueve más despacio...

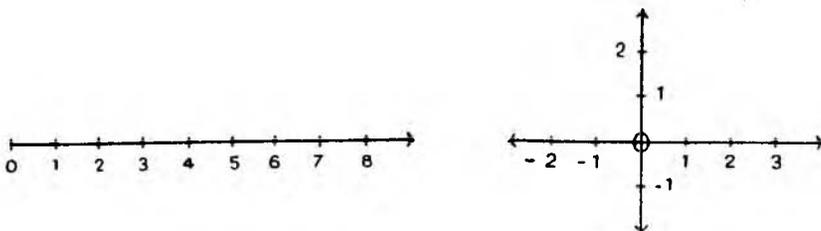
f) El caso cinemático típico, desde el punto de vista sensible, es el de movimiento uniforme rectilíneo.

Sobre estas *suposiciones tan naturales* que traducen el modo humano, la perspectiva sensible del movimiento, se edificó la cinemática. Basta un poco de habilidad formalizadora para traducir matemáticamente todo lo anterior. No cuesta nada la traducción.

a₁) el fondo o paisaje equivale a un sistema de coordenadas reducido a una línea recta en el caso más sencillo, o a un sistema de dos ejes. (Procúrese notar la naturalidad de la traducción y formalización, lo que se consigue conservando un fondo de imágenes sensibles; tren que se aleja, pájaro que se remonta en el aire...)

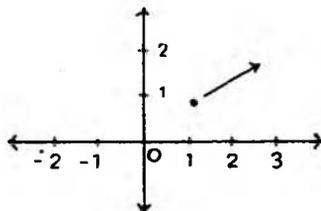
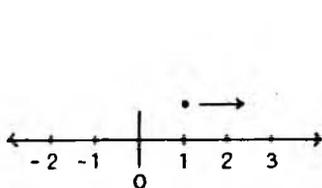


b₁) señalamiento de puntos fijos; términos de comparación: equivale a numerar los ejes coordenados.



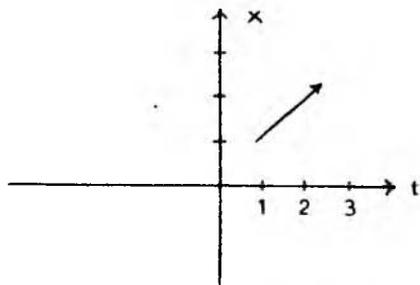
c₁) fijación de un punto de partida o de referencia central en el paisaje geométrico; se hace por designación del punto cero, origen de las coordenadas.

d₁) el movimiento se ve “en” un cuerpo y es algo dirigido “hacia”; es un vector; esquemáticamente, un punto y una flecha.



e₁) al “descubrir” el tiempo en el movimiento, referido a un fondo de términos fijos de comparación, notamos que es algo independiente frente al fondo: el cuerpo (a) recorre tal distancia *antes* que el (b) que ha salido con él del punto de partida: en el *mismo* tiempo uno ha recorrido más unidades que otro; *identidad* frente a *diferencia*. La distancia permanece igual: lo vemos así: el cuerpo que se mueve puede recorrerla más o menos deprisa; y esta contraposición notada espontáneamente entre algo fijo y algo que cambia nos lleva a la noción de velocidad “mayor”: el cuerpo (a) llega a tal punto *antes* que el (b): el (b) llega *después*; ya comenzamos a *contar según antes y después*. No otra cosa es “descubrir” la noción vulgar del tiempo, única que se emplea en física clásica, después de desecarla convenientemente con matemáticas.

A causa de esta independencia relativa entre escenario del movimiento (sistema de coordenadas) y tiempo intuído en la velocidad misma, vista sobre el fondo del paisaje esquematizado en coordenadas, el físico toma al tiempo como variable independiente y le designa un eje, el de las abscisas.



(espacio, vgr., una línea que se adentra en el paisaje).

(tiempo, vgr., en segundos, en minutos...)

f₁) y llegamos a la noción física de velocidad. La velocidad en física, lo mismo que en su concepto vulgar, no se concibe como algo totalmente intrínseco al móvil; no notamos que un cuerpo se mueve si no hay un fondo con que podamos comparar: el espacio recorrido es el espacio de las coordenadas; la distancia inmóvil entre dos términos que no se mueven; es decir, algo que no pertenece al cuerpo en movimiento. El tiempo vulgar es el movimiento de un cuerpo particular (más o menos idealizado) que referimos a un escenario de manera que podamos ir diciendo: "ahora está el cuerpo aquí, a continuación estará allí, antes estuvo en, pronto estará en"... El que hayamos elegido el movimiento llamado "uniforme" por tipo de comparación es otro caso de influjo de lo sensible sobre la física; tal parece ser a la vista vulgar el movimiento del reloj primitivo; el sol. La duración del día permite hacer un determinado número de faenas por término medio. Esta coordinación espontánea del movimiento del sol y "los cuidados del día" introduce una primera división en la carrera del sol, salida—mediodía—puesta; medianoche, etc... El sol está ahora aquí (en el horizonte, al salir), después allí, más tarde allá... En este movimiento, *numerado* por la preocupación vulgar de la vida, descúbrase el tiempo primitivo que será más tarde afinado en relojes de sombra... Lo fundamental para nuestro intento es el que el tiempo se descubre "en" un cuerpo determinado, que se halla en un movimiento determinado también, siempre sensible.

La velocidad se entiende, pues, como una relación entre un cuerpo en movimiento y el paisaje mismo o sistema de coordenadas naturales, numerado por los términos más salientes en él (montes, bosques, faenas del día...). Matemáticamente, tal relación entre términos *heterogéneos* se expresará, no por una suma o resta que exigen homogeneidad, sino por división u otra operación que admita heterogeneidad. En general, por una función en cuya constitución entra la diversidad entre variable dependiente e independiente; diversidad que se salva dentro de una unión por *relación*, estructura lógica propia de

una función. Al escribir, pues, el físico, velocidad = $\frac{\text{espacio}}{\text{tiempo}}$

entiende por espacio; el sistema de coordenadas, numerado convenientemente; por tanto, algo externo al cuerpo en movimiento; y por tiempo, el tiempo encarnado en un movimiento especial que sirva de término implícito (o explícito) de comparación.

No creamos, pues, al ver escrito $v = \frac{s}{t}$; o $v = \frac{ds}{dt} = f(t)$ (derivada

primera del espacio según el tiempo), y las demás definiciones derivadas $s = f(t)$, $t = F(s)$

$\frac{ds}{dt} = v = v_0 + w_0(t-t_0)$; (velocidad no constante)

$s = s_0 + v_0(t-t_0) + \frac{1}{2} w_0(t-t_0)^2$, (espacio recorrido en el movi-

miento acelerado), etc., que nos hallemos ya muy lejos del influjo de lo sensible. No hay sino un paso.

Podrá alguno pensar que tal influjo es inofensivo: y aún que puede contribuir al progreso de la física, en particular de la cinemática. Voy a indicar a dónde llevan las anteriores determinaciones de la velocidad y cómo la física moderna se ha visto obligada a superarlas. Es decir; la noción de velocidad clásica no posee valor objetivo: esta subcategoría de la física y categoría fundamental de la cinemática era nada más una categoría del *conocimiento* físico vulgar: no una categoría del ser físico en sí. Y tal es el aspecto que pretendemos hacer resaltar en este trabajo.

CONSECUENCIAS de "formalizar" las determinaciones antropomórficas de la velocidad:

1.) El escenario imprescindible para apreciar un movimiento real se reduce, con el tiempo, a un *escenario geométrico real*; tal es el espacio absoluto de Newton; espacio geométrico euclidiano real.

Será menester la revolución einsteiniana para hacerlo desaparecer como entidad diferente de los cuerpos. El espacio absoluto de Newton, por ser de estructura geométrica, no influye eficientemente en el acontecer físico. Es puro escenario; mas *escenario real*. Esta propiedad no sabemos por qué no influye en lo *real físico*. Su origen sensible nos des-

cubre la inconsistencia lógica de tal noción. Cualquiera que conozca medianamente la historia de la física sabe el influjo inmenso y profundo que ha ejercido la noción de espacio absoluto, de éter... Pocos han meditado sobre su procedencia sensible y sobre la inconsistencia de nociones formadas de esta manera.

2) Por igual procedimiento de formalizar o traducir matemáticamente lo dado sensiblemente, sin más preocupaciones lógico-ónticas, Newton hipostasió el tiempo puro en un cuerpo sútil, mejor, en un movimiento subsistente que pasa y fluye en sí mismo uniformemente, lejos de toda influencia sobre los cuerpos y de éstos sobre él. El tiempo relativo se obtiene por comparación de los movimientos materiales con este patrón subsistente. Las consecuencias para la física teórica son incalculables. Einstein las ha señalado al reformar tal noción newtoniana. Hacer del tiempo algo subsistente real, algo en sí, trae como natural consecuencia tratarlo como una variable más, como una dimensión nueva del mundo, ya que no lo distingue de los demás movimientos concretos sino la puridad de su estado. Con ello se desconoce la originalidad del tiempo; la teoría de la relatividad se ha visto forzada por el mismo mundo a descubrirla.

3) El cuerpo es el *sujeto* del movimiento; está *en* él. El cuerpo adquiere una cierta independencia frente al paisaje, al sistema de coordenadas. Esta separación *natural, intuitiva* entre *cuerpo* y *ambiente*, entre *cuerpo* y *campo* enderezó la física por el camino del atomismo absoluto, que no ha dejado de tener sus ventajas temporales. Ahora hemos tenido que invertir la dirección; es preciso fundir en uno cuerpo y campo: cuerpo más geometría entera del universo. El cuerpo individual ya no es él solo. No vale la identidad clásica "el cuerpo A es el cuerpo A", sino que experimentalmente hay que decir "el cuerpo A (este electrón, este protón, este cuanto de luz...) es él y su campo; es él y su circunstancia". La raíz del mal metafísico que padece la ontología, implícita en la física clásica, es que se sirve de una concepción del ser que Ortega llama teoría del ser "ensimismado".

Ya podemos ver que el influjo sensible no es físicamente inofensivo. La rectificación total impuesta al espíritu, más que a las fórmulas matemáticas de la física clásica, lo prueba sobradamente.

4) A la vista aparece el movimiento como algo *continuo*; sin lagunas, sin interrupciones. La física clásica esquematizó esta alusión sensible; el espacio es una función continua del tiempo; y es sabido que una función continua pasa por todos los valores intermedios dentro del ámbito en que lo es. No cabía, al parecer, mejor traducción matemática de la apariencia física. Nos hallamos ante el tipo *anticuántico, antiindividual* del movimiento. De nuevo será menester que los escarmientos nos abran los ojos; y que Planck, Einstein, Bohr, Sommerfeld, Heisenberg... aprendan la lección que nos da la naturaleza, introduciendo la ley de cuantificación universal de discontinuidades radicales. Una indicación más concreta; es

ya conocido que la energía se define por $E = \frac{1}{2} m.v^2$; si pues, la velo-

cidad es algo continuo, lo será la energía. Planck comenzará por poner,

escandalizando a los físicos clásicos, $E = \frac{1}{2} m.v^2 = n.h.v$; ($n=0, 1, 2,$

3...). “La energía es de tipo atomístico; perlas energéticas”.

5) El movimiento típico es, desde el observatorio natural, el uniforme; aquel en que la velocidad es constante. Como el influjo eficiente no se ve en el cuerpo movido por sola la intuición del movimiento, era muy natural concluir que el movimiento uniforme se hace sin fuerzas; y definir la fuerza por la perturbación introducida en la uniformidad del movimiento; es decir, por la aceleración. Newton definirá resueltamente $F = m.a$, “la fuerza se mide por el producto de la masa por la aceleración”; o si queremos, la fuerza es proporcional a la aceleración, a la perturbación introducida en la velocidad.

6) No paran aquí las consecuencias científicamente inadmisibles del influjo sensible sobre la noción fundamental de la cinemática; la de velocidad. Voy a indicar una más que no es por cierto la única.

El movimiento se halla en el cuerpo individual, aunque proyectado en el telón blanco de las coordenadas. La física clásica no concibió movimientos sino *en* cuerpos; el cuerpo *individual* es el *sujeto* del movimiento. Esto lleva directamente a la concepción mecánica del universo, superada por la misma física moderna.

Todo movimiento es movimiento de un cuerpo, es una modificación en un cuerpo: ¿qué más natural, más visible?

Ahora sabemos que pueden moverse, oscilar un campo entero escalar o vectorial. A base de esta “idea” de Maxwell ha sido posible la teoría electromagnética de la luz. Newton era completamente ciego para ella.

Bastan las indicaciones anteriores para nuestro propósito. La estructura lógica de la física, sus modelos de nociones, no poseen sin más valor ontológico ninguno. Es, pues, un sinsentido filosofar sin más sobre ellas, tal cual se encuentran en los libros. Todo ello nos pone imperiosamente la cuestión: ¿cuál ha de ser la estructura lógica propia de los conceptos físicos? ¿Es posible una lógica *para* la física?

2.—DEFINICION FUNDAMENTAL PARA LA DINAMICA: LA DE LA FUERZA

Si comenzamos definiendo la fuerza por

$$a) \quad F = m \cdot \frac{d^2s}{dt^2}; \text{ fuerza es igual al producto de la masa}$$

por la aceleración, entendida ésta como la derivada segunda del espacio según el tiempo; y para generalizar más escribimos:

$$b) \quad F = \frac{dG}{dt}; \quad (G = m \cdot v), \text{ "la fuerza es la derivada pri-}$$

mera según el tiempo de la cantidad de movimiento". O por fin, para mayor imparcialidad podríamos introducir coordenadas generalizadas, velocidades e impulsos generalizados, energía generalizada...

Parecerá tal vez a alguno que hemos llegado al sumo de deshumanización, que nos encontramos con una definición "pura", valedera para todos los casos por muy complicados que ellos sean. En rigor hemos avanzado tan poco, que no hemos hecho sino "formalizar"; sacar una radiografía de la noción vulgar sensible. No hemos formado, ni mucho menos, la noción pura de fuerza física tal como se halla en lo físico en sí; sino solamente descrito el esqueleto, el sistema formal de la noción vulgar, profundamente sensible.

No me voy a detener tanto como en el caso anterior; pues el concepto de fuerza será tratado ampliamente a lo largo de esta obra. Indicaré los aspectos sensibles más notables.

Partamos de los hechos psicofísicos primitivos: esfuerzo al empujar una masa, esfuerzo tanto mayor cuando ella sea mayor, cuanto más deprisa la queramos mover, cuanto mayor sea el camino por el que pretendamos llevarla (grupo A); mayor el rozamiento, más las condiciones de fuerzas adicionales que

impidan o ligen el movimiento, por ejemplo, en un medio muy denso; sujeción a una superficie; variando todas las condiciones con el tiempo (grupo B). La física teórica (Newton) comenzó por matematizar lo más sencillo: “la fuerza se define por el producto de la masa y la aceleración” (grupo A).

$$\text{Def. I } F = m.a = m. \frac{d^2s}{dt^2}.$$

Notemos ya una porción de elementos sensibles que la misma experiencia científica nos ha hecho eliminar.

a) Por sólo empujar y mover una masa *parece* que queda inalterable. Traducción matemática; m es una constante; no hay que diferenciarla. Así que al definir el impulso $G = m.v$, masa

$$\text{por velocidad, tendremos } \frac{dG}{dt} = \frac{d(m.v)}{dt} = m. \frac{dv}{dt}$$

Escribir $F = \frac{dG}{dt}$ no es, en la física clásica, sino una abre-

viación más o menos cómoda. Este axioma “inalterabilidad de la masa por solo movimiento local”, implícito, por “evidente”, en Newton, ha tenido que ser rectificado y explicitado por la teoría de la relatividad; tenemos una primera purificación del ele-

mento sensible escribiendo, $F = \frac{dG}{dt}$, que es la forma usada

en la teoría de la relatividad; la masa es ya función del tiempo (a través de la velocidad).

b) No sólo parece inalterable la masa durante el movimiento, sino que, si se hace con cuidado, sin roces, sin choques... (lo cual parece posible...), la misma figura, las dimensiones, parecen igualmente inalterables. De aquí que “el transporte de la unidad física de medida” (vgr. el metro parisién) no altere la misma unidad. “Axioma de la invariancia de las unidades de

medida por el puro transporte". Este axioma impone automáticamente la geometría euclídea. Las coordenadas naturales son rectilíneas (no del tipo de Gauss): y las más naturales, las cartesianas, rectangulares. De nuevo habrá que aguardar a que la teoría de la relatividad, forzada por los hechos, tenga que adoptar una geometría no euclídea, coordenadas gaussianas y discutir sobre el transporte. Bajo estos dos aspectos las definiciones de fuerza dadas por Hamel y Boltzmann incluyen tantos elementos sensibles como la primitiva de Newton. Lo único que hacen es tener presentes las circunstancias del grupo B); a las que los técnicos han dado toda clase de nombres griegos; condiciones holónomas, esclerónomas, reónomas... Ontológicamente nada ganamos con ello.

c) Y las tres fórmulas se resienten del influjo de un nuevo aspecto sensible: individualidad de la fuerza. Parece claro al sentido que *esta* masa que se mueve con *este* movimiento ha de moverse por *esta* fuerza determinada; el movimiento es una propiedad singular de una masa individual. Luego, igual ha de ser la causa, singular, individual, aplicada a esta masa, en un punto, en una dirección fija. La fuerza es un vector con existencia individual, diferente de la de la masa movida; como lo es la fuerza muscular del hombre que empuja un objeto. Si el sol atrae la tierra, la fuerza atractiva se hallará como entidad singular, individual, en un solo lugar, bien determinado en cada momento, aplicada en un punto o unidad espacial, con una dirección y sentido propios. ¿Qué más natural y evidente?

Einstein tendrá que reformar este punto de vista. La individualidad de la fuerza traía una consecuencia algo extraña en la física clásica. La fuerza física concebida inconscientemente al modo de la muscular, parecía un accidente, algo totalmente dependiente de la causa; y su efecto, el movimiento, había de ser por igual motivo algo inseparable de una masa individual. Por tanto, repugnaba intuitivamente al sentido metafísico clásico que la fuerza emplease tiempo finito en ir de la causa a la cosa movida. Les parecía un accidente sin sujeto, en desorientación metafísica si se detenía un tiempo finito en el espacio. El remedio fué muy sencillo: la "acción a distancia", que no es sino un correr infinitamente la fuerza para hallarse, en el mismo momento en que sale de la causa, en el efecto, o ma-

sa movida. Nunca soñó la física clásica en una acción a distancia con velocidad finita de paso; sino que siempre juntó acción a distancia con velocidad infinita de paso. Y correr infinito es no pasar por el medio.

Al introducir Maxwell la noción real (no geométrica) de "campo de fuerza" asestó un golpe fatal a estos dos aspectos: individualidad de la fuerza y acción a distancia.

Con lo dicho queda demostrado el múltiple influjo de lo sensible, de la experiencia inmediata externa o interna en las nociones de la mecánica clásica. Pues todo ello afecta al conjunto de axiomas necesarios y suficientes para construirla deductivamente; y que Hamel ha catalogado y discutido cuidadosamente.

Más adelante estudiaré el concepto puro de fuerza, propuesto por la relatividad generalizada (cap. IV).

3) *El concepto fundamental de la estática clásica*, el de equilibrio, no delata menos que los anteriores su origen sensible.

Se entiende siempre, que hablamos de "equilibrio dinámico", de "sistema de tensiones y contratensiones entre fuerzas" o entre fuerzas explícitas y las provenientes de ligaduras (vgr., las que atan un cuerpo a una superficie). Y como las fuerzas, cuyo concepto aquí se introduce, poseen iguales determinaciones definidoras que en la dinámica, reaparecen aquí los mismos defectos. No será, pues, menester detenernos.

El influjo sensible pasa naturalmente a la noción de trabajo, de energía, a los principios de la mecánica general, al de la mínima acción, de corrimientos virtuales...

(c)

TERCERA INFLUENCIA DE LO SENSIBLE EN LA FÍSICA CLÁSICA

Las metáforas

La metáfora es un instrumento científico imprescindible, lo mismo en la filosofía que en física.

Como prueba Ortega, la metáfora puede tener dos oficios: a) ser un procedimiento intelectual por cuyo medio conseguiremos aprehender lo que se halla lejos de nuestra potencia intelectual, sirviéndonos de lo que se encuentra más cerca y nos es más natural; b) investigación y descubrimiento de conocimientos positivos.

Toda metáfora encierra una identidad entre dos o más objetos al parecer diferentes; identidad que, al usarse científicamente, se procura reducir a lo estrictamente idéntico, afinar y cerner con el principio de identidad, para que nos deje entre las manos la conveniencia formal y propia. Esta identificación y los correspondientes grados de espiritual destilación fraccionada van desde lo poético hasta lo científico.

Indicaré brevísimamente unas ideas; nada más que las que me hayan de servir al tema estricto de este trabajo.

Las metáforas son de los siguientes tipos:

aa) Metáforas con identidad total entre cosas diferentes, prolongada a partir del elemento idéntico, más allá de los límites de la identidad, de manera que las discrepancias queden disimuladas, sumergidas en el resplandor de la belleza irradiada por la identidad efectiva. Ejemplo: cohetes, "luminosas de pólvora saetas", "purpúreos no cometas" (Góngora); flechas, "áspides volantes"; pájaros "cítaras de pluma" (Góngora; tomo estos ejemplos de Ortega).

ab) metáforas con identidad total en primera formulación, modulada y rebajada por otra metáfora secundaria, por un adjetivo, adverbio, relación: "Cristal, agua al fin dulcemente dura"; "agua, cristal fluyente" (Góngora). (Véase prólogo a las Soleidades, por Dámaso Alonso. Rev. de Occidente).

ac) Metáforas con identidad total y dirección interna o con término privilegiado de referencia; por el mero hecho queda eliminado de la identidad lo que no concuerda con el término dicho. Así, al decir: "dos electricidades del mismo signo se *repelen*", empleamos evidentemente una metáfora: repeler, toma su significado del dominio psíquico; en él admite las más variadas matizaciones, repelente, repulsivo, repulsión, repulsa... que no podemos usar con el término eléctrico. Esta eliminación de sig-

nificaciones adjuntas queda hecha automáticamente, al referir “repeler” al sujeto “dos electricidades”. El sujeto obra selectivamente convirtiendo la identidad total en parcial y acomodándola a sí. Cuando Aristóteles dice “al modo como la mano es órgano de órganos, el entendimiento es idea de ideas” y la sensibilidad, “idea de sensibles”, usa evidentemente de una metáfora, mas con una dirección privilegiada, el alma, el entendimiento, la sensibilidad: y estos términos de referencia seleccionan y criban los aspectos idénticos de los no convenientes. Veamos ahora las metáforas en física. Las catalogo sin pretensiones a ser completo, en tres tipos.

1) *Metáforas clásicas o naturales*. Los experimentos básicos, que no son sino las observaciones afinadas, llevan a aparatos que son a su vez esquemas del experimento; y todo ello deja un residuo imaginativo, un esquema no puro, una imagen general implícita. Es la metáfora física natural: de ordinario inconsciente. De ahí que la identidad que incluye no suela ceñirse a los límites propios; y pase más allá de lo idéntico, a lo diverso. Los inconvenientes científicos son entonces gravísimos.

Al emplear metáforas, en física, se da un proceso semejante al que los matemáticos llaman “prolongación analítica de una función”. Sólo que aquí la prolongación se hace por dos medios, uno sintético-sensible, otro analítico-lógico.

El concepto clásico de fuerza, con su imagen psíquica, cual fondo general, se halla impregnado de alusiones sensibles. La composición de fuerzas, partiendo de fuerzas asentadas en individuos separados, con la sola unión del punto de aplicación, es otra imagen sensible natural. Cuando Newton entrevió la “atracción” y le aplicó el nombre de “fuerza”, “fuerza atractiva”, se sirvió inconscientemente de una metáfora natural. Newton fué prolongando la identidad primeramente entrevista en el golpe genial en que vió la atracción como fuerza, de dos maneras: a) transportando inconscientemente caracteres de la imagen psíquica de “fuerza” a la atracción: llamémosla aplicación sintética de la identidad nuclear. El sol atrae a la tierra con una fuerza individual, que se aplica en puntos singulares, que no se funde con el espacio...

Dada la identidad sensible primaria entre “fuerza muscular” y “fuerza física” el prolongar tal identidad se hace, pues, por un proceso que podemos calificar de sintético. Claro que Newton no lleva demasiado allá la identificación; no dirá que los astros se atraigan con una fuerza viviente; Giordano Bruno, más poeta que Newton, lo hubiese afirmado. La metáfora poética da sus derechos, mientras la inexactitud o fealdad metafísica quede anegada en la fulguración de belleza que de la metáfora proviene.

b) Las metáforas naturales, en su proceso de prolongación, tienen un límite natural, del que no pasan: la dificultad consiste en si tal frontera es demasiado amplia. Pero supongamos que ha sido determinada; la evolución ulterior se hace a base de la prolongación analítica (y sea dicho esto sin alusiones a matemáticas); es decir, a base de la lógica y las matemáticas. La ley de Newton, en su forma matemática, no es sino la metáfora natural desecada; las consecuencias matemáticas prolongan la metáfora por un medio para el que la metáfora bajo su “forma sensible” no posee eficacia.

A veces la metáfora sensible ha creado la imagen esquemática sensible. Así, es muy humano concebir la fuerza, la velocidad, el impulso como un *vector*, como algo esencialmente dirigido “hacia”. El cálculo vectorial, que estudia este aspecto, usa en algunos de sus simbolismos una flecha sobre las letras representativas de vectores.

Es importantísimo descubrir estas metáforas naturales y circunscribirlas en sus debidos límites. No es una faena “despoetizadora”; lo es en alto grado, metafísica y lógica. Por eso me permito señalarla aquí.

2) La física se sirve, además, de metáforas instrumentales. Se diferencian de las anteriores en que son conscientes; instrumentos de trabajo, cuyo alcance se vigila constantemente. Poseen muchas veces valor pedagógico; facilitar el paso de una mentalidad formada en otro tipo a la concepción que se pretende implantar.

La teoría atómica de Rutherford pertenece a este tipo; el sistema astronómico visible sirve de modelo a sistemas astronó-

micos invisibles que componen el átomo. Así, se hablará de centro, planetas, órbitas, rotaciones... Por eso no ha costado gran cosa eliminarla de la física.

A esta misma clase de metáforas instrumentales pertenece el servirse, dentro de ciertos límites, de una teoría física para tratar problemas de otro dominio. Un ejemplo clásico es la interpretación (metáfora) mecánica de la teoría eléctrica de Maxwell construida por Boltzmann. Boltzmann construye en realidad y cálculo un conjunto visible de imágenes, cuyas leyes mecánicas son idénticas a las eléctricas formuladas por Maxwell. Nos hallamos ante una metáfora interesante; hablar de electricidad en lenguaje mecánico. Algo así como Góngora nos habla en lenguaje músico de los pájaros, "citaras de pluma".

Copio de Boltzmann: "Si se hace girar el tubo inferior y el superior en el mismo sentido (se trata de una máquina ideada por él y que no es menester para nuestro intento describir más), la barra central descende, lo que equivale a un aumento de la autoinducción y por tanto a un acercamiento de ambos conductos circulares".

No están todavía muy remotos los tiempos en que de todo fenómeno se pretendía dar una traducción mecánica.

Tenemos, pues, en física, imágenes naturales, imágenes instrumentales; ambas tienen de común ser imágenes concretas, rellenas de jugo sensible, más o menos poético.

Todavía se emplea un tercer tipo de metáforas:

3) Las representaciones gráficas; coordinan hasta cierto punto las relaciones incluídas en el esquema geométrico *visible* con las relaciones invisibles que existen entre otras magnitudes. Así, en una gráfica de la temperatura, al ver ascender la curva decimos "aumenta el calor". El físico "lee" las propiedades de un fenómeno en su gráfica; "entrevé" el tipo de ley en los puntos sueltos que le dan los experimentos, colocados convenientemente en un sistema de coordenadas.

Las gráficas son, pues, "metáforas visuales esquematizadas". "radiografías geométricas de una imagen sensible". que en tal

estado de puridad abstracta se pueden identificar mejor y convenir en más aspectos con multitud de fenómenos; y permite leer y estudiar en la imagen lo de la realidad imaginada.

Podemos, pues, afirmar:

*las metáforas naturales son cualitativas e inconscientes,
las metáforas instrumentales son cualitativas y conscientes,
las metáforas gráficas son cuantitativas y conscientes.*

Toda metáfora es instrumento de humanización por un lado y de deshumanización por otro.

Las metáforas naturales humanizan lo “sensible”, nada más hasta cierto límite infranqueable, que se corre más o menos, siempre en dirección a mayores deshumanizaciones, conforme adelante la ciencia.

Toda metáfora, por tanto, posee una frontera en que colindan lo humano o semejante a humano del fenómeno y lo original, nuevo, irreductible, no humano del mismo.

El empleo de las metáforas es, pues, un juego doble; que comienza por humanizar el mundo y termina por notarlo en su realidad no humana. Un proceso de nudificación.

(2.º)

FORMALIZACIÓN DE LA FÍSICA. MEDIOS, TIPOS, ESTADIOS

Distingamos tres estadios en la formalización de la física:

1.º *estadio. Clásico.* Caracterización total: predominio directivo de lo sensible.

Medios de formalización empleados

a) Matemáticas (cálculo infinitesimal puramente cuantitativo).

- b) Metáforas naturales, instrumentales y gráficas.
- c) Hipótesis confundidas con teorías, de tipo concreto.
(Siglos 17, 18, 19. Tipo Newton).

2.º *estadio*. Formalista. Caracterización total: predominio implícito de lo sensible; explícito, de lo formal-matemático.

Potencias de formalización

- a) Matemáticas puras.
- b) Eliminación de metáforas naturales e instrumentales: sólo se admiten las gráficas.
- c) Las hipótesis equivalen a posibilidades matemáticas; o sea, hipótesis igual a teoría formal.

(Siglo 19 y principios del 20. Tipo Poincaré).

3.º *estadio*. Moderno, concreto. Caracterización total: predominio de lo matemático; restricción gnoseológica.

Potencias de formalización

- a) Axiomas extramatemáticos; de coordinación.
- b) Sólo metáforas gráficas.
- c) Teorías de "totalidad".

(Siglo 20. Tipo Heisenberg).

Desarrollo de estas diferencias

A) La matematización en la física clásica.

El estadio clásico representado por Newton, emplea como medios de formalización los tres indicados. Es una formalización por tratamiento matemático de los datos sensibles; matematismo de las observaciones y de los experimentos de ellas derivados.

El poder formalizador de las matemáticas, comparable al geométrico en el arte, proviene

a) De su carácter puramente formal, de entramado abstracto, eliminando todo lo cualitativo.

b) De su carácter puramente deductivo, partiendo de axiomas y desentrañándolos en sus consecuencias o teoremas; señalando teoremas-nudos, o centros (teorías parciales).

c) Junto a estas dos propiedades formalizadoras, comunes a todas las ramas de las matemáticas, la física clásica se sirve de determinadas partes de las matemáticas cuyo poder particular de formalización hemos de señalar. La potencia de formalización del cálculo infinitesimal es la continuidad y el concepto de función que permite tratar unitariamente las figuras y las leyes más diversas (curvas-rectas; tangente-secante; puntos singulares—normales; cambios—uniformidad, pasar del punto al todo e inversamente...). Este aspecto fué supervalorado por Cohen y Natorp.

La física clásica se sirve de una potencia formalizadora suprema; el cálculo infinitesimal y la teoría de las funciones continuas.

d) La física clásica no conoció ni se sirvió del cálculo vectorial que introduce el elemento cualitativo dirección, vector, para el que no valen muchas propiedades aritméticas (el producto de dos magnitudes diferentes de cero puede ser cero; operaciones nuevas; composición vectorial, falta la ley conmutativa...). Es la física clásica una física escalar; no vectorial, como la moderna.

La física escalar es más formal que la vectorial, más pura cuantitativamente. Tenemos una nueva potencia formalizadora.

B) Predominio de lo sensible en física clásica.

Lo sensible conserva aún la dirección en la estructura de las leyes y definiciones.

Notemos los siguientes aspectos: la física clásica emplea más las metáforas naturales que las instrumentales y las gráficas. He mencionado el carácter de metáfora natural que posee la noción básica; la de fuerza y otras fundamentales de diferentes tratados. A continuación traeré tres ejemplos fundamentales, para la ontología de lo físico.

Las representaciones gráficas son escasas. No conocían más coordenadas que las cartesianas y polares. Y como para las construcciones gráficas de las curvas son menester muchos puntos o datos experimentales preferían la determinación de ley por consideraciones a priori.

Resulta muy instructivo estudiar la estructura de las teorías e hipótesis según la física clásica. Para determinar este punto son menester algunas nociones preliminares.

Pongámonos ante un amperímetro. Tenemos:

- a) Hechos de orden cero; en que no interviene al parecer ninguna teoría. Vgr., “esta varita se halla ahora ante este número”.
- b) Hechos de orden primero; vgr., la manecilla señala 5 amperios.
- c) Hechos de orden segundo; vgr., por el aparato pasa una corriente eléctrica de cinco amperios de intensidad.
- d) Hechos de orden superior; vgr., la corriente es producida por el paso de “electrones”.

Definamos provisoriamente; se llaman hechos de orden cero o hechos básicos los que permanecen invariantes respecto del cambio de teorías e hipótesis; es decir, que cualquier teoría e hipótesis debe contar con ellos, pues encierran el mínimo de aportación humana.

Los hechos de órdenes superiores se hallan compuestos en síntesis a priori (o sea son aproximadamente juicios sintéticos a priori) de los hechos de orden cero como *material* y de elementos categoriales o *formas* a priori, propias del entendimiento humano. Llamémoslos hechos sintéticos; a los primeros, hechos analíticos o elementales.

Decimos ahora; la distinción entre hipótesis y teorías es más o menos relativa.

Dentro de un dominio especial (tratado del calor, de la luz, de la electricidad...) se llama: teoría, el conjunto de hechos sintéticos que gozan de mayor invariancia; e hipótesis, el conjunto de hechos sintéticos más variables.

Se da un paso o evolución científica por el que hipótesis pasan a teorías e inversamente. Sobre las hipótesis no se puede preguntar si son verdaderas o falsas; sino sólo si son cómodas, útiles, instrumentos de trabajo; en cambio se puede y se debe preguntar de una teoría, si es verdadera o falsa. (Poincaré erró aquí).

Las hipótesis se apoyan muy mediatamente en hechos elementales; de ahí que sean muy variables; al revés de las teorías.

Las teorías son la sedimentación conceptual, el precipitado firme de las hipótesis: son las capas graníticas del orbe macizo de la ciencia física.

Así hablamos de experimentos o *hechos* básicos sobre el átomo; vgr., disociación química, experimentos de Millikan, radioactividad, rayos catódicos...; *teoría* atómica, el conjunto de relaciones o leyes fundamentales; vgr., composición de protones y electrones, disposición en capas o estratos energéticos, leyes de emisión y absorción...; hablamos por fin de *hipótesis* atómicas, el átomo como cuerpo individual, localizado perfectamente en tiempo y espacio, regido por causalidad estricta...

Otro ejemplo; *hechos* de orden cero, en punto a radiaciones o cuantos energéticos, son: espectros de energía, experimento de Compton, efecto fotoeléctrico ...

Teoría cuántica de Planck: $E = n \cdot h \cdot \nu$; $\int p dq = nh$: “La energía es estructura cuántica”. “Las relaciones entre impulsos y coordenadas son cuánticas.

Hipótesis de Sommerfeld; los cuantos proceden de condensaciones energéticas; hipótesis abandonada por el mismo autor; con ella pretendía salvar la continuidad clásica.

Hipótesis de Millikan; la radiación ultrapenetrante es de origen cósmico; procede de la formación de núcleos atómicos a base de protones y electrones sueltos.

No existen aún *teorías* cosmogónicas; sino sólo *hipótesis* cosmogónicas.

Decimos; las hipótesis y teorías se hacen a base de metáforas instrumentales que tienden a pasar a naturales; a estas últimas damos valor de verdad o falsedad. Además, se formulan todas matemáticamente. Veamos qué emplea la física clásica. Se sirve de hipótesis y teorías; mas sin distinguir entre ambas claramente; además echa mano de metáforas naturales como medios de trabajo; está impregnada de pretensiones a verdad y falsedad; no conoce estrictamente las hipótesis de trabajo que no son ni verdaderas ni falsas. De ahí que pretenda poseer valor metafísico absoluto la física de aquellos tiempos. Por eso formaliza poco, a pesar de emplear el sumo elemento formalizador; el cálculo infinitesimal.

En conjunto caracteriza a este período. predominio directivo de lo sensible, al cual ceden las mismas matemáticas, a pesar de su carácter totalmente opuesto.

Segundo estadio de formalización de la física

Como potencias de formalización se emplean matemáticas puras; sobre todo el cálculo infinitesimal en toda su integridad. Ideal; formular todas las leyes bajo forma de ecuaciones diferenciales.

Por tanto; las hipótesis y teorías se construyen a base de las posibilidades matemáticas; son puramente formales. Se crea la física matemática como ideal; se elude el contacto con los hechos. Voy a examinar dos ejemplos típicos, Poincaré y Boltzmann.

Tomemos la obra del primero. "teoría matemática de la luz": introduce las hipótesis (mejor, postulados) siguientes:

a) La materia es discontinua. Mas advierte; la concordancia experimental no puede decidir nada ni en pro ni en contra de esta circunstancia; es simplemente un medio de simplificar los cálculos.

b) Entre las moléculas se dan fuerzas, definidas por funciones matemáticas que poseen puntos de equilibrio, definido matemáticamente.

c) Se da una función de fuerzas; es decir, una entidad matemática anterior a las fuerzas y de la que se derivan por diferenciación; o sea, las fuerzas son funciones derivadas del potencial.

d) Se da un radio de influencia; es decir, un dominio para la validez de dichas fuerzas o funciones; noción puramente matemática (límites de continuidad, de valor real...).

e) Los corrimientos de las moléculas son funciones continuas de las coordenadas y además diferenciables.

Con estas "hipótesis" puramente matemáticas se pueden establecer las ecuaciones del movimiento, bajo forma diferencial, para movimientos longitudinales y transversales, difracción, polarización, dispersión, doble refracción, reflexión...

Es fácil de ver cómo se cumplen las características señaladas para este estadio, que fué tenido por definitivo y no faltan entre los físicos modernos quienes lo tienen por tal.

Otro ejemplo clásico. Boltzmann. En sus "Vorlesungen über die Maxwell'sche Theorie der Electricität" nos da una interpretación mecánica de la electricidad; y la mecánica ha sido siempre rabiosamente matemática. Dice Boltzmann: "sólo hacemos una hipótesis, que un cierto movimiento sobre cuya naturaleza no hacemos ninguna afirmación, es causa de los fenómenos eléctricos".

Desarrolla la mecánica abstracta de los ciclos, monociclos y policiclos y con ella da un esquema de lo eléctrico, una traducción mecánica de las leyes de Maxwell.

Queda eliminada toda metáfora natural e instrumental. Las diversas hipótesis no son sino el estudio de las diversas posibilidades que dan las fórmulas matemáticas, de las cuales elegimos una que se ajusta mejor a los datos experimentales. Matematicismo total.

De aquí se sigue:

a) Que no se plantea la cuestión de verdad o falsedad, sino de comodidad, utilidad, elegancia matemática. Así como las figuras definidas por una ecuación de segundo grado son igualmente verdaderas, y lo mismo todas las geometrías definidas por un ds^2 especial, de igual manera todas las físicas. Hemos de descartar la cuestión de verdad o falsedad; sólo queda la de comodidad; (nominalismo o convencionalismo de Poincaré).

b) Infecundidad física de estas teorías formales. Falta de fecundación de la imaginación, de lo real. La física no es sino un dominio finito dentro de las matemáticas. Basta que sepamos o nos indique la experiencia el caso matemático para que ya no debemos preocuparnos de experimentar más; se da un perfecto paralelismo entre lo físico en sí y lo matemático.

Lo sensible ha perdido aparentemente su dominio directivo; lo recojen las matemáticas puras. Extremos ambos de un movimiento pendular del pensamiento físico. Tipos, Poincaré, Boltzmann, Hertz, Helmholtz y el mismo Einstein en más de un aspecto.

Tercer estadio de formalización de la física. (s. 19)

Potencias de formalización.

Emplea las matemáticas, el gran poder formalizador; mas con las siguientes características: aa) introduce un elemento cualitativo; el cálculo vectorial, la dirección. bb) predominan los números enteros; o, en general, la continuidad cede su puesto a la discontinuidad aritmética fundamental. La física en conjunto no es un caso particular de un tipo matemático superior y más general; o sea, no es una *especie* matemática, con unidad interna como la tiene, vgr. la geometría euclídea; sino una unidad impuesta por la realidad, que selecciona de diversos dominios matemáticos algunas propiedades o teoremas. Esta selección, dentro del campo matemático, se verifica por los axiomas de coordinación y el criterio seleccionador no es a priori, ni tomando un dominio entero; es decir, no es criterio lógico, sino externo; nos hallamos ante axiomas extramatemáticos. Un ejemplo; el cálculo diferencial absoluto forma dentro de las matemáticas una unidad de significación, donde todos los teoremas son estrictamente matemáticos, y cumplen los mismos axiomas; poseen “unidad de estilo”. En cambio, al servirse de tal cálculo la relatividad generalizada, sólo unas pocas fórmulas poseen valor físico; sólo ellas entran en el dominio real; las demás son puros eslabones conceptuales para enlazar nuestro conocimiento de lo real. Es decir, en una teoría matemática reina homogeneidad estructural; en una teoría aplicada a la física reina heterogeneidad; “el orbe matemático sólo toca en algunos puntos al físico”.

La designación de estos puntos pertenece a la física; son los axiomas de coordinación; de ellos hablaremos en el capítulo V, desde el punto de vista lógico. Un ejemplo: las constantes universales. Hay en física números distinguidos, que desde el punto de vista matemático son exactamente igual que los demás.

Así la constante de Planck $h = 6'55.10^{27}$ erg. sec.; la constante de la gravitación, el cuanto elemental de electricidad...

Tales constantes fundamentales son unas cuarenta.

Se dan axiomas matemáticamente ininteligibles y que nos ponen en la pista de que existe una originalidad física, irreducible al orden matemático; que lo físico en sí es una nueva esfera de realidad. Uno de ellos es la condición cuantificadora

de Sommerfeld $\int p dq = nh$: la parte izquierda $\int p dq$ es de estructura continua, por la misma definición de integral; en cambio la derecha es de constitución cuántica, discontinua, entera. Hemos primero de integrar y después destruir de alguna manera el resultado. ¿Por qué la física nos impone este doble juego?

Es claro que la teoría tan seductora de las funciones esféricas y de Bessel con sus funciones propias y valores propios preexistían en el dominio matemático antes de que la teoría de Schrödinger las aplicase a lo físico; mas el misterio no se halla aquí, sino en la designación electiva que de ellas precisamente hace la realidad física. Y esta designación, "a qué teoría matemática caerá en suerte ser seal", no se guía por criterios lógicos, por unidad de dirección abstracta, a priori.

Notemos en qué consiste la restricción gnoseológica: lo matemático puro queda sometido e incardinado en algunos puntos a lo real. El conocimiento matemático no asegura el físico.

Comparación triple

Podemos, pues, hacer las siguientes contraposiciones entre física clásica, formalista y moderna.

a) La física clásica emplea como potencia formalizadora el cálculo infinitesimal.

La física formalista; el mismo cálculo y las matemáticas afinadas por Cauchy, Weierstrass: una agudización del maticismo en física.

La física moderna. relega a lugar secundario en muchos dominios el cálculo infinitesimal; prefiere las discontinuidades aritméticas e introduce un elemento cualitativo con el cálculo vectorial; la dirección.

Es decir: las dos primeras emplean las matemáticas cuantitativas con-

tínuas; la tercera, las matemáticas discontinuas y cualitativas. Nos hallamos en un estadio no enteramente matematicista.

b) En punto a las metáforas, la física clásica emplea las tres clases; naturales, instrumentales y gráficas; con predominio de las primeras en las nociones fundamentales.

La física formalista, sólo admite las terceras; aunque inconscientemente emplea las demás.

La física moderna usa de las instrumentales y de las gráficas y persigue las naturales (Einstein, Heisenberg).

c) Para la física clásica no existe la distinción clara entre hechos, teorías e hipótesis; por eso tiende a poner respecto de cualquier idea física (teoría en sentido amplio) la cuestión de verdad o falsedad; no conoce explícitamente las hipótesis de trabajo. Tendencia metafísica.

La física formalista, al contrario, afirma que todas las teorías físicas son, lo mismo que las matemáticas, igualmente aceptables; ni verdaderas ni falsas; son cómodas. Convencionalismo total.

La física moderna se coloca en un término medio. A las hipótesis de trabajo no da valor ni de verdad ni de falsedad; son "útiles", "cómodas" (convencionalismo). Mas todas las teorías encierran proposiciones estrictamente verdaderas o falsas; lo que se conoce por las definiciones de coordinación, como explicaremos al hablar de la estructura lógica de la física. Además admite que se da un movimiento de evolución científica que hace pasar las hipótesis a teorías cada vez más próximas a los hechos de orden inferior (exigencia de Heisenberg). Es decir; se va eliminando el convencionalismo en favor del valor lógico absoluto (o probable).

(3)

La evolución de formulación sensible a expresión formal en tres ejemplos

Voy a estudiar tres ejemplos que nos proporcionarán tres ideas básicas de la física moderna, ideas que más tarde perfilaremos bajo el punto de vista filosófico.

- a) El principio de la conservación de la energía.
- b) El principio de la entropía.
- c) El átomo.

Primer estadio. Aspectos sensibles

I. Dato sensible primario que sugirió el principio: “que el hombre no puede producir un efecto, un trabajo útil, sin emplear energías preexistentes, propias o ajenas”. Es decir, que el trabajo útil no se crea.

Imposibilidad del “perpetuum mobile” de primera clase, que sería una máquina que sin gastar energía produjese trabajo. Tal máquina (conjunto de elementos naturales) sería una adquisición técnica maravillosa. Los hombres, a través de los siglos, tentando todos los medios, experimentando todo, no han tropezado con ella. Tampoco se ha encontrado la máquina inversa que destruya sin compensación energías.

Tenemos con esto una primera formulación del principio de la conservación de la energía: “En ninguna de las innumerables manipulaciones, instrumentos más o menos complicados, encauzamientos de fuerzas naturales... han tropezado los hombres con un cuerpo o disposición de ellos (máquina) que cree energía; o sea, dé más trabajo del que, por otra parte, bajo forma diferente, se le aporta; o que aniquile sin compensación energías.”

“Hay, pues, una magnitud física, la energía, que permanece constante a través de todas las transformaciones, sin crearse ni aniquilarse; sólo cambia de forma.”

Caracteres sensibles de esta formulación.

- a) Referencia a máquinas; a encauzamientos humanos de energías.
- b) Referencia al tiempo humano, “hasta ahora”, “con los medios presentes”, “en la tierra”...
- c) La formulación general es una extrapolación. Stevin, Galileo, Huygens, Descartes, Leibnitz, Newton, trabajan implícitamente con esta noción. Así se determina, vgr., el movimiento pendular, el de la caída... como si sólo dependiese del punto de partida y llegada; lo que equivale a suponer que en el camino no se crea ni aniquila energía.

II. Veamos la segunda formulación de carácter más formal. Descartes afirma que lo que permanece constante es la magni-

tud m.v, (lo que ahora llamamos cantidad de movimiento); Leibnitz (Acta Erud. 1695) sostiene que permanece tal la cantidad mv^2 : y Coriolis $\frac{1}{2} mv^2$, que es la definición matemática actual de energía. En este segundo estadio se hacen tres cosas; a) obtener una definición aceptable y consonante con las demás nociones y principios físicos, a saber, $\frac{1}{2} m v^2$. b) formular matemáticamente el principio, no quitando sino los aspectos sensibles no traducibles matemáticamente. c) en el período de la física formalista no se verá sino este aspecto matemático y se pretenderá probar matemáticamente el principio, mejor, el postulado.

Adelantaremos algunas nociones:

Definición de energía; $\frac{1}{2} m v^2$; (energía mecánica), a la cual debemos

añadir la definición de equivalente mecánico de cada energía, o sea, la cantidad de cada clase de energía que es menester gastar para producir una unidad de energía mecánica. Así las relaciones entre energía mecánica y calorífica son:

$$\frac{\text{trabajo mecánico}}{\text{cantidad de calor}} = \frac{T}{Q} = 427 \text{ kgm.}; \text{ para una cantidad de calor}$$

igual a una caloría $T=427.Q$.

Escribamos en vez de 427, el coeficiente indeterminado α que nos permitirá manejar mejor las fórmulas.

Si designamos por E_m la energía mecánica,
 por E_c la energía calorífica,
 por E_r la energía radiatoria,
 por E_{mg} la energía magnética,
 por E_e la energía eléctrica,
 por E_q la energía química, etc., etc.:

afirma el principio que todas poseen un equivalente mecánico, es decir, que se da un factor tal que

$$E_c = \beta T = \frac{\beta T}{427} = \beta E_m$$

$$E_r = \gamma E_m$$

$$E_{mg} = \delta E_m$$

$$E_q = \epsilon E_m; \text{ etc.}; \text{ por fin escribamos Energía potencial} = E_p; \text{ y}$$

$$E_p = \zeta E_m$$

con esto tenemos ya sumandos homogéneos: mas no perdamos de vista que

1.º) Afirmamos la transmutabilidad mecánica en principio de todas las energías.

2.º) Que se hace tal cambio por ley fija.

Formulación del principio

$$Em + Ec + Emg + Ee + Eq + \dots Ep = \text{Constante};$$

a lo largo del tiempo y de las transformaciones; o sea, para poder sumar,

$$Em + \beta Em + \gamma Em + \delta Em + \eta Em \dots + \theta Em = \text{Constante}; \text{ o bien,}$$

$$(1 + \beta + \gamma + \delta + \varepsilon + \eta) Em + Ep = \text{Constante.}$$

Y si designamos por $E_{\text{actual}}^{\text{II}}$ $(1 + \beta + \gamma + \delta \dots) Em$, tendremos $E_{\text{act.}} + Ep = \text{Constante}$. "La suma de la energía actual más la potencial es constante".

Hemos obtenido ciertamente una formulación matemática deshumanizada, mas a costa de *cuantificar* todas las energías y equipararlas a lo mecánico, al movimiento. En rigor, no hemos ganado nada en punto a demostración del principio, de su validez suprahumana.

En la época formalista de la física matemática se perdió de vista este punto y se pretendió, ya que teníamos una formulación matemática, es decir, una fórmula matemática, buscar qué teoremas superiores la permitían como consecuencia: al modo como si nos hallamos ante la fórmula $\alpha + \beta + \gamma = 2R$ (α, β, γ los tres ángulos de un triángulo; R ángulo recto), nos sentiremos tentados de probarla por axiomas geométricos.

Para demostrar el principio de la conservación de la energía basta una suposición; "todos los fenómenos naturales se reducen a efectos de fuerzas atractivas entre puntos materiales según la ley de Newton"; es decir, el mundo en lo grande y pequeño no es sino un "sistema astronómico".

Notemos que a pesar de las apariencias matemáticas, "pun-

tos, función newtoniana, ecuación diferencial”, el aspecto sensible late y domina; nos servimos “de la imagen astronómica”, o del “movimiento mecánico como tipo”, que es el movimiento más sencillo.

Igual fondo hallamos en formulaciones como, “en un sistema cerrado la energía permanece constante”.

Segundo estadio. Formalización sin restricción gnoseológica

Veamos qué sucede en el estadio actual. No indicaré aquí sino unas ideas, pues el estudio íntegro del principio pertenece a la filosofía de la termodinámica.

aa) El principio de la conservación de la energía queda fundido en uno con el principio de la conservación de la masa; ya que como demuestra la relatividad generalizada, toda masa posee una energía: $E_0 = m_0 c^2$, “la energía que posee una masa en reposo es $m_0 c^2$ ”.

Aquí hemos eliminado el dominio directivo de lo sensible; la energía ya no puede ser imaginada bajo forma de esfuerzo, tensión, arrastre, dispositivo artificial (máquina), desde el momento en que queda fundida con la masa, algo firme, durable, natural; e inversamente, la masa no puede ser imaginada bajo forma inmutable, fija, corporal, visible, sujeto de la energía, desde el punto en que puede transformarse en energía, no necesariamente mecánica.

Siempre queda desplazada la energía mecánica como tipo de comparación, ya que $E_0 = m_0 c^2$ vale precisamente cuando la energía mecánica es cero. Destrucción del mecanismo.

No se conservan, pues, ni la masa (Lavoisier), ni la energía (Helmholtz, Mayer...); sino una entidad anterior de la que ambas, masa y energía, son productos o modificaciones intercambiables. Hay un invariante anterior que se manifiesta de varias maneras más o menos estables. Unificación totalmente antisensible, que nos obliguen los físicos a considerar como de estructura parecida a la de una piedra, la de la luz; que como aquélla cae, se inclina, se deshace, choca... e inversamente.

La forma de este invariante básico es filosóficamente muy interesante; la veremos en el capítulo IV. Tenemos, pues, una superación real, no aparente, o matemática, del aspecto sensible inmediato.

bb) La energía se compone de elementos mínimos; se rige por los números enteros; es de naturaleza cuántica. Queda eliminado en gran parte el cálculo infinitesimal. La introducción de la "noción de cuanto" lleva consigo la de "singular", "individuo", ambas totalmente extramatemáticas; nos hallamos con una nueva limitación del matematicismo en física. Además interviene la unión entre objeto experimentado y experimentador: aspecto subjetivo, que lleva consigo una cierta indeterminación, totalmente opuesta al determinismo matemático.

Hemos pasado, pues, de dominio directivo de lo sensible sobre lo matemático (1.^o estadio), a dominio de lo matemático (2.^o estadio) y por fin llegamos a una limitación de lo matemático.

Segundo ejemplo de evolución de conceptos físicos

La entropía

La palabra para el nuevo concepto la creó Clausius. Se refiere a una particularidad que tiene lugar en las transformaciones energéticas, en los cambios entre energías. Vamos a seguir la evolución y la génesis de este concepto, poniendo de manifiesto los elementos sensibles y su sucesiva eliminación.

Primer estadio. Formulación sensible

Así como los hombres cayeron en la cuenta de la validez del principio de conservación de la energía por la imposibilidad de crear o aniquilar energía, de producir un efecto físico sin sacar de otra parte una cantidad equivalente de

energía menos necesaria por el momento, así han venido al conocimiento del principio de la entropía por la imposibilidad de construir una máquina de rendimiento absoluto, que aproveche totalmente las energías que se le comunican.

Un proceso físico sería “reversible” enteramente si “fuese posible convertir enteramente, sin pérdida alguna, el calor en trabajo mecánico, y éste en calor, sin residuo”. Se requiere una transformabilidad totalmente invertible, una conmutabilidad perfecta como la de $a+b=b+a$; una simetría total entre las energías. Equivale a suponer que “no existe una energía privilegiada, tal que en todo cambio gane algo”.

Esta hipótesis no ha sido formulada explícitamente sino más tarde; las primeras definiciones de Carnot-Mayer se refieren a máquinas, a rendimientos técnicos, a economías en gastos. Y se encontró la pista del principio al procurar llevar a su máximo de rendimiento las máquinas de vapor. El principio de la conservación de la energía no exige el de la entropía.

Primera formulación basada directamente en lo sensible: “es imposible construir una máquina tal que los cambios entre energías (mecánica y calorífica sobre todo) sean reversibles; de modo que pueda funcionar indefinidamente en ciclo y dentro de cada período sea la misma la cantidad de energía que entre en juego”.

O sea; “no se puede construir una máquina de rendimiento 100/100 si en ella interviene transformación entre energías”.

O más vulgar; “es imposible el movimiento continuo”.

Mientras el principio de la entropía quede formulado así, nada hay que oponer a las pretensiones de los que buscan tales máquinas.

Tenemos aquí un doble aspecto sensible a eliminar:

1) Referencia a poder humano, construcción de máquinas, encauzamiento hábil de energías; referencias a este tiempo, a estos medios técnicos, a estos ingenieros...

2) El aspecto sensible inherente al concepto preeinsteiniano de energía.

Segundo estadio. Formalización total

Podemos señalar dos subestadios:

1) Clausius. 2) Boltzmann.

Clausius sospecha ya que no se trata aquí de habilidad técnica en aumentar el rendimiento de una máquina, suprimiendo pérdidas de energías en rozamientos...; sino de una ley natural que se verifica necesariamente en los cambios energéticos. Y le da la formulación siguiente: "El calor pasa espontáneamente del cuerpo con mayor temperatura al que la tiene menor; la dirección inversa es innatural y para imponerla es preciso gastar energía de otra parte". "La comunicación de la energía calorífica se hace en una dirección natural" (aunque ambas direcciones sean compatibles con el principio de la conservación).

"El calor se difunde por un proceso naturalmente irreversible".

Por tanto:

1) "La cantidad de calor del universo aumenta constantemente a costa de las demás energías". Ya que casi siempre se da el roce y éste engendra calor y el calor naturalmente, sin gasto de nuevas energías externas, no vuelve a la forma primitiva de la energía que lo produjo.

2) El calor tiende a difundirse homogéneamente por todo el universo. Al final del proceso cósmico todas las energías se hallarán bajo forma calorífica y ésta difundida homogéneamente por todo el mundo.

Ambas afirmaciones componen el sentido íntegro de la "degeneración de la energía"; reducción a una sola especie (la calorífica) y muerte calorífica del universo (distribución homogénea).

Matemáticamente se formula este principio diciendo que "las transformaciones energéticas no se rigen por ecuaciones diferenciales completas, sino del tipo Pfaff". (Carathéodory).

3) De la formulación de Clausius se sigue que "existe en el universo una magnitud que aumenta constantemente" o que al menos nunca disminuye; la entropía. Es una función monótona creciente, no inmediatamente igual al calor, sino función de él,

$$dS = \frac{dQ}{T}, S = \int \frac{dQ}{T}; \text{ por qué se define así, no podemos indicarlo}$$

en este trabajo.

4) Se sigue, además, que si tenemos un sistema cerrado y en él dos cuerpos cuya diferencia de temperatura sea t_1 , a lo largo del tiempo no puede hacerse mayor la diferencia de temperaturas. Si era de 50° no puede aumentarse y llegar, vgr., a 60° , sin aportación de energía externa. Pues en tal caso disminuiría la entropía.

Esta consecuencia es lógicamente buena; mas experimentalmente falsa, según demostró Laue (1906-1908). La causa reside en que en la formulación de Clausius domina el origen sensible; a pesar de su forma abstracta.

Veamos la formulación de Boltzmann.

La *entropía* ha sido definida, a) por relación a las máquinas (Carnot, Mayer); aspectos sensibles. b) por relación al calor (Clausius); energía *directamente sensible*; c) Boltzmann dará una definición matemática; la entropía no es sino el logaritmo de la probabilidad del sistema de cuerpos en cuestión.

$$S = k \log.W$$

O sea más sencillo; “la naturaleza tiende a pasar de un estado menos probable a otro más probable”. Por estado más probable ha de entenderse aquél en que reina mayor uniformidad, menos orden, menos categorías.

Han de desaparecer las diferencias cualitativas (calor, luz, electricidad...); llegar a una sola clase; y dentro de ésta eliminar las diferencias cualitativas. Si N es el número de individuos (moléculas, átomos) que entran en el sistema (vgr. un gas...) y n es el número de diferencias (cualitativas y cuantitativas, estados) y hay N_1 individuos de los N que se hallan en el estado primero; N_2 en el 2.º; N_3 en el 3.º, etc., la probabilidad del conjunto se define por,

$$W = \frac{N!}{N_1! \cdot N_2! \cdot N_3! \cdot N_4! \dots}$$

Como veremos más tarde esta definición de probabilidad encierra aún una noción de individuo físico tratado como individuo humano, una metáfora sensible; la definición de W supone que el individuo físico (átomo, molécula, fotón...) se ha como sujeto, anterior a los estados (grados de calor, de energía...): es decir, como “substancia”; sólo eliminando esta noción al parecer muy metafísica, socializando más, subordinando el individuo al estado, la molécula a la energía, cabe acomodar las fórmulas a la realidad física. (Estadísticas de Bose-Einstein, Fermi-Dirac).

Las relaciones de substancia y propiedad parecen invertirse en lo físico.

Quedémonos con Boltzmann.

Hemos avanzado en la deshumanización del principio.

- a) Ya no nos referimos a máquinas y posibilidades humanas.
- b) Ya no mencionamos energía ninguna sensible, como punto de referencia.
- c) Empleamos una noción totalmente matemática, la de probabilidad.

Quedan algunos aspectos sensibles:

- a) Introducimos la noción de individuo, semejante al humano en sus determinaciones categoriales: y por tanto, en matemáticas.
- b) Empleo de números enteros, frente al cálculo infinitesimal.

Tercer estadio. Formalización restringida, sin dominio de lo sensible

Se logra eliminar algunos puntos de vista sensibles de Boltzmann:

1.º) Por la fusión einsteiniana de *individuo* (masa atómica, molecular, cuántica...) y *energía* (toda de naturaleza cuántica).

E

La energía posee una masa $\frac{E}{c^2}$: y toda masa una energía $E = mc^2$

$m_0 c^2$. Por tanto la definición de W debe ser cambiada, dando la preferencia a la energía (Energiezellen, celdillas energéticas). Tenemos que emplear la estadística moderna de Bose-Einstein. En ella el individuo ya no es sujeto, sustancia; no se emplea aquí la categoría, sustancia-accidente, cosa-propiedad, con preferencia metafísica para la sustancia, la cosa, el individuo. (Punto a desarrollar en el cap. IV).

2.º) No sólo el individuo físico no es "semejante" al humano, pero ni la misma energía posee una constitución semejante a lo que parecen dar los sentidos. Ya no es de naturaleza

continua como suponía Boltzmann; sino atómica, cuántica. El dato sensible no vale para nada.

Limitamos el matematicismo del 2.º período por la noción de indeterminación de Heisenberg; que es por un lado, una deshumanización, ya que el individuo humano está localizado en tiempo y espacio; y el físico, no: la física clásica transpone tal propiedad al individuo físico: tal afirmación es destruída por el principio de Heisenberg. Vale casi para el macrocosmos; mas no para el microcosmos. Y a la vez introducimos una limitación gnoseológica, pues en la comprobación experimental de estas leyes entra necesariamente el sujeto experimentador.

Podemos formular la ley de la entropía según Einstein, Mises..., diciendo:

“La entropía es una ley por la cual aumenta constantemente el número de cuantos, o elementos mínimos en el universo”.

Son las costas de arena que van devorando el mar, continuo al parecer e inmenso, de las energías. El universo tiende a cristalizar en perlas energéticas de tamaño infinitesimal.

Si comparamos ahora las cuatro definiciones podremos notar el progreso y génesis de la idea de entropía. A la vez no pasemos por alto el aspecto lógico; los conceptos físicos no se construyen ni afinan por métodos lógicos puros, sino por filtración eliminadora de aspectos sensibles inesenciales.

*Tercer ejemplo de evolución de un concepto físico. El átomo.
Lo sensible, principio director de lo matemático*

Primer estadio.

(Rutherford)

Elementos sensibles directivos:

a) El átomo es un sistema astronómico en pequeño (metáfora sensible, medio instrumental, medio natural).

b) El átomo es un individuo humano en pequeño; bien localizado en el tiempo y en el espacio; sustancia con preceden-

cia real sobre los accidentes, energía, movimiento... De aquí se sigue para lo matemático que las leyes son de tipo continuo.

Elementos teóricamente formalizadores:

aa) El cálculo infinitesimal con su continuidad radical: queda sin efectos por fracasar casi inmediatamente.

bb) El elemento sensible b) es el primero que se introduce por ser el más natural; por esto mismo es el que costará más de desarraigar.

Segundo estadio. Predominio explícito de lo matemático
(Bohr, Sommerfeld)

Elemento sensible persistente:

a) Individuación espacio-temporal determinada; átomo, de estructura sustancial.

b) Atomo, miniatura astronómica; mas de elementos regidos por números enteros: queda eliminado en parte el cálculo infinitesimal, por las condiciones cuánticas.

c) La energía, las órbitas, los componentes del átomo comienzan a dejar de ser "accidentes", y se tornan objetos de estructura cuántica, individual.

Tercer estadio. Restricción de lo formal
(Heisenberg, Schrödinger, Broglie)

a) El átomo y sus componentes no son individuos perfectos, bien localizados en tiempo y espacio. ni menos sustancias con propiedades. Parece que ambas determinaciones se hallan aquí coordinadas: no, subordinadas; como pediría la ontología clásica.

b) El átomo y sus leyes no son cognoscibles sin una intro-

misión que altera su ritmo. El medir es otro dato experimental, no eliminable.

c) No existe la seguridad y certeza matemático-lógica del cálculo infinitesimal o funcional. Sólo cabe una probabilidad mayor o menor.

d) Al llegar a la formalización restringida, el átomo se vuelve *invariante* frente a las metáforas naturales e instrumentales que por el mero hecho demuestran ser tales.

De ahí la equivalencia entre explicación ondulatoria y corpuscular; entre mecánica cuántica de Heisenberg y ondulatoria de Schrödinger; equivalencia demostrada por el mismo Schrödinger.

(4.º)

Consecuencias generales de la evolución hacia el formalismo en física

a) La evolución de los conceptos y leyes físicas se produce por un triple ritmo:

Tesis. Predominio directivo de lo sensible sobre lo matemático.

Antítesis. Dominio efectivo del cálculo infinitesimal. Los elementos sensibles quedan reducidos a la estructura formal; mas permanecen implícitos.

Síntesis. Cede el cálculo infinitesimal al aritmético. Restricción gnoseológica y ontológica de lo matemático en la física.

b) En el estadio primero; las metáforas son inconscientemente motivos constructores y de demostración, dominando las naturales.

En el 2.º, se formulan matemáticamente: mas permanecen bajo el ropaje matemático.

En el 3.º, aparecen como metáforas, es decir, como cosas inadecuadas de otro orden: por eso acontece que varias de ellas, opuestas como metáforas, son aplicables de vez. Con ello quedan automáticamente eliminadas por superación.

Las matemáticas empleadas:

en el 1.º estadio: cálculo infinitesimal, que queda sin informar el conjunto de ideas;

en el 2.º: cálculo infinitesimal dominador;

en el 3.º: cálculo infinitesimal subordinado al aritmético; entra el cálculo de probabilidades y el vectorial (elemento cualitativo).

Elementos sensibles más resistentes

a) La noción de individuo, localizado perfectamente en tiempo y en espacio; por tanto, con un presente, pasado y futuro totalmente fijos; con un lugar propio en cada momento y uno solo.

b) La noción sustancia-accidente; cuerpo-energía; cuerpo-estado, quedando subordinada la energía a la masa, los estados al cuerpo. Ambas nociones son superadas en el 3.º estadio.

c) Consecuencia pedagógica: si la ontogenia es una abreviación de la filogenia, y no queremos que se repitan estadios superados ya, es preciso sacar la definición actual, el modo de ver las nociones, leyes, etc... por vía genética; hacer recorrer brevemente al alumno los estadios de la evolución. Así imprimiremos al progreso científico una dirección irreversible.

d) La relatividad deshumaniza el concepto de sustancia física. La teoría de los cuantos (Heisenberg), el concepto de individuo. Véanse ampliamente estos puntos en el cap. IV.

Onticamente "lo físico en sí está menos organizado metafísicamente que lo psíquico". a) La categoría sustancia-accidente apenas si ha penetrado.

b) El espacio y el tiempo, como categorías "de ordenación" unívoca, también se han adentrado muy poco.

Por tanto: lo físico se halla muy poco individualizado. Bien lejos de ser la materia principio de individualización es todo lo contrario.

Friedmann sostiene (*Die Welt der Formen*) que toda ciencia tiende a pasar de una formulación háptica a una óptica. Sabemos que la evolución no corre así tan simplemente; menos aún el estadio final es el óptico.

Es fácil también de ver la dirección descubierta por Cassirer en la estructura de los conceptos físicos, y en general de los científicos, es una simplificación del proceso real. Además, la contraposición de ambos tipos de formaciones conceptuales, de sustancia y función, es una ficción: pues la división en géneros y especies se halla lo mismo dentro de la categoría de función que en la de sustancia. La física ha superado también el funcionalismo.

***ELIMINACION DE LO RELATIVO EN FISICA.
ESTADIOS***

CAPÍTULO SEGUNDO

Eliminación de lo relativo en física. Estadios

(A)

Elementos relativos en física

I. Primer elemento de relatividad física: ecuaciones diferenciales.

La manera o forma matemática con que se formulan las leyes físicas corresponde a un conjunto de ideas extrafísicas sobre la estructura de las leyes físicas en sí mismas; es decir, incluye una afirmación transcendente. Las leyes físicas se formulan en la física clásica bajo forma de ecuaciones diferenciales. Veamos primero qué valor y significación filosófica posee una ecuación diferencial; y por qué se adoptó como ideal para formular las leyes físicas.

Una ecuación ordinaria no se verifica sino para un valor o conjunto finito de valores bien determinados; así la ecuación

$ax + b = 0$, para el valor, $x = -\frac{b}{a}$; una ecuación de segundo

grado para dos valores diferentes a lo más: etc.

Una ley expresada bajo esta forma no valdría sino; a) para un número finito de valores; b) cada uno de estos valores es

a su vez finito, vgr. un número entero fijo; c) si la ecuación vale para varios valores éstos son independientes entre sí: cada uno de ellos en particular la satisface enteramente; d) la ley es, por tanto, desde el punto de vista lógico, de tipo individual, distributivo; se cumple en cada valor, como el atributo "hombre" en cada individuo humano; e) los distintos valores no son partes de la ley, ni la ley tiene carácter de "todo": la relación entre valor y ley no es de tipo "parte a todo". En cambio, una ley formulada bajo forma de ecuación diferencial posee las propiedades siguientes: a) vale para un número infinito de valores, todos los de la función que la satisface, y además existen infinitas funciones de la función primitiva que satisfacen también dicha ecuación diferencial; b) cada uno de estos valores puede ser finito o infinitamente pequeño; ya que las ecuaciones diferenciales de uso ordinario en física admiten soluciones continuas; pasan, pues, por todos los valores entre dos dados, por muy pequeños que sean; c) los diversos valores, tan próximos o alejados entre sí como queramos, se hallan ligados por una ley, la función integral, o la ecuación diferencial. Ésta expresa la ley como rigiendo entre elementos infinitamente próximos; la función integral expresa la ley prescindiendo de este aspecto; d) una ley bajo forma de ecuación diferencial es en rigor de tipo colectivo; no se puede cumplir en un solo valor o en un solo par de valores; sino posee un ámbito de aplicación y define de una vez no una sola solución sino infinitas que forman un sistema; e) la ley tiene, pues, estructura de "todo" y los valores de "partes"; de modo que se da como un paso entre todo y parte (operación de diferenciar) y de partes a todo (operación de integrar).

Ahora podemos ver la propiedad característica de una ecuación diferencial que atrae las preferencias de los físicos clásicos;

"una ecuación diferencial expresa siempre una ley (función) en cuanto presente, ordenando, dominando, reglando todos y cada uno de los elementos o partes que intervienen, por pequeños que sean".

Por tanto, si tal ley es de tipo físico, expresarla bajo forma de ecuación diferencial equivale a decir, que tal ley rige todos

los elementos sin excepción, que en todos está presente, que ordena a todos. Es afirmar el determinismo absoluto, la validez universal de la ley física que tal formulación admita. De aquí las preferencias de los físicos clásicos por tal modo de formulación de las leyes, apenas dominaron el cálculo diferencial.

Y afirmo que el empleo de ecuaciones diferenciales de cualquier grado da a la física un matiz relativo; elimina cierto absolutismo. En efecto; una identidad, una igualdad, una ecuación numérica, no valen sino para *un* valor bien determinado, que acapara, por hablar así, la propiedad dicha; en cambio una ecuación diferencial no se fija en ningún valor, ninguno posee tal propiedad como exclusivamente suya: la propiedad vale entre pares o elementos infinitamente próximos, no para un valor: ni siquiera hay pares o elementos próximos privilegiados.

“Una ecuación diferencial no posee puntos o números de referencia absolutos.”

En toda ecuación diferencial, o han desaparecido todas las constantes (elementos fijos, absolutos) o hay siempre un número menor que en cualquier otra formulación no diferencial de la ley.

Así la ley de la caída de los cuerpos formulada como ecuación diferencial no incluye más que una constante,

$$\frac{d^2s}{dt^2} = g : (g = 9'81 \text{ m./sec}^2); \text{ en cambio en forma finita, integral,}$$

encierra tres constantes,

$$s = \frac{1}{2} gt^2 + at + b.$$

Notemos, pues, para más tarde, que formular las leyes físicas bajo forma de ecuaciones diferenciales equivale a postular

*un determinismo infinitesimal:
la continuidad absoluta de la ley.*

(B)

Segundo elemento de relatividad física; las constantes arbitrarias

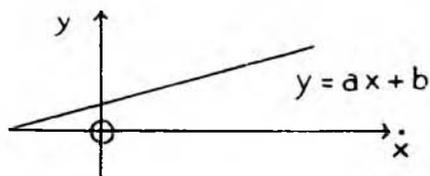
En muchas leyes físicas aparecen ciertas magnitudes que dan a la ley un sentido semejante al siguiente: "le doy a usted cinco duros más una cantidad indeterminada de pesetas": cantidad que pudiendo ser cero, 1, 2, 3, , , , , o un millón, mas no pudiendo saberse nunca su cuantía, no permite disponer de ella para nada práctico. De manera que el tal señor tendría de dinero, $x = 5 \text{ duros} + C$; con los cinco duros puede calcular; con C, no.

Dos métodos emplea la física para eliminar de las leyes tales constantes indeterminadas: a) diferenciar, es decir, formular la ley bajo forma de ecuación diferencial; lo que no hace sino paliar la dificultad; pues al integrar (como conviene para experimentar) aparecen de nuevo y a veces bajo forma más indeterminada. Remedio matemático. b) Determinarlas por medios indirectos: por otros teoremas axiomas... y estos medios son filosóficamente interesantes. Veremos tres ejemplos. La determinación del peso absoluto del H; la de la constante de la energía y el valor absoluto de la entropía.

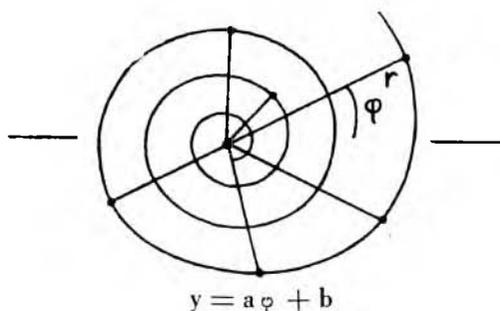
(C)

*Tercer elemento de relatividad en física
Cambios de coordenadas*

"Ninguna ley algebraica tiene una figura o forma geométrica determinada y única." Entendemos por coordenadas un conjunto de líneas o elementos geométricos (vgr. ángulos), aptos para traducir o dar forma geométrica a una estructura algebraica. Sea la función lineal $y = ax + b$; en coordenadas cartesianas le corresponde como figura una recta,

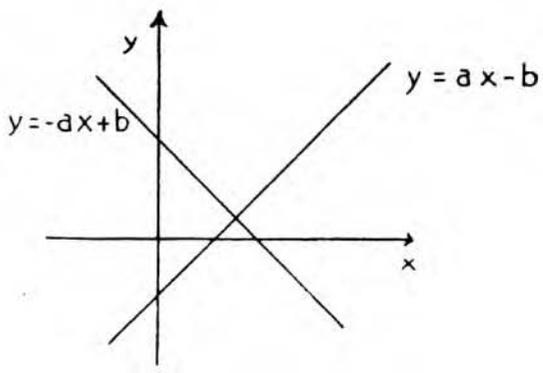
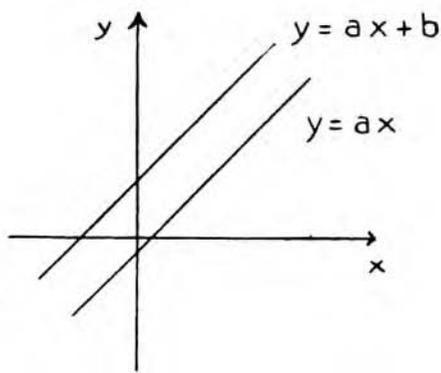


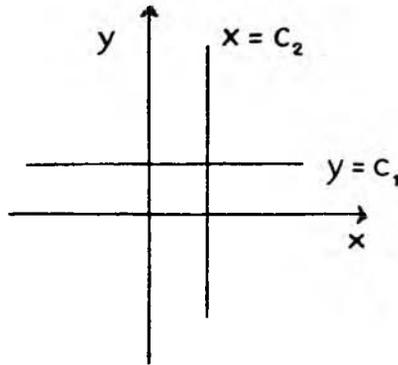
Mas en coordenadas polares, la figura correspondiente es, aritméticamente, una función lineal $r = a\varphi + b$; mas geoméricamente la figura es una espiral (a, b , constantes; r , radio vector; φ ángulo variable).



Tenemos que según las coordenadas empleadas corresponde a la *misma* función aritmética: a) una recta (coordenadas cartesianas) $y = ax + b$; b) $r = a\varphi + b$, una espiral (en coordenadas polares). Y en general tantas figuras geométricas diferentes cuantos sistemas de coordenadas.

Y dentro de cada sistema de coordenadas una misma función algebraica no posee las mismas características geométricas. Así una función lineal, con sólo cambiar el punto de referencia dentro del mismo tipo de coordenadas puede dar entre otras las figuras,





Aumenta naturalmente la complicación para grados superiores.

El punto o sistema de referencia de los movimientos cambia su figura geométrica. Así la caída de los cuerpos aparece vertical si el sistema de referencia está en reposo; y una parábola, si en movimiento adecuado.

Podemos afirmar que una función cualquiera puede adoptar cualquier forma geométrica referida a un conveniente sistema de coordenadas. La unión entre álgebra y geometría no es *unívoca*.

Y al revés; una misma figura geométrica puede corresponder a innumerables leyes algebraicas diferentes.

Si la apariencia geométrica es una recta perpendicular, puede corresponder a una caída vertical dentro de un sistema de referencia en reposo, o a una caída parabólica dentro de un sistema que se mueve adecuadamente.

II. *La facultad de sustitución de variables independientes para una función es otro elemento de relatividad.* Hace que dentro de la misma álgebra no haya sino distinción relativa de funciones. Si por ejemplo $y = ax + b$ (una función lineal) y ponemos $x = \alpha \xi^2 + \beta$, entonces $y = a(\alpha \xi^2 + \beta) + b = a\alpha \xi^2 + a\beta + b = \lambda \xi^2 + \mu$ una función de segundo grado; y así sucesivamente. Las expresiones $\frac{d^2 y}{dt^2} + n^2 y = 0$; $y, (1 - x^2) \frac{d^2 y}{dx^2} - x \frac{dy}{dx} + n^2 y = 0$ son iguales; basta poner $x = \cos t$, y $\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2}$ equivale a $\frac{\partial^2 v}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial v}{\partial r} + \frac{1}{r^2 \sin^2 \psi} \frac{\partial^2 v}{\partial \psi^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial v}{\partial r} + \frac{\cot \psi}{r^2} \frac{\partial v}{\partial \psi}$ con la substitución

$$x = r \sin \psi \cos \phi$$

$$y = r \sin \psi \sin \phi$$

$$z = r \cos \psi; \text{ es decir, cambiando las coor-}$$

denadas cartesianas en polares.

III. Dentro de ciertos límites, cualquier geometría no euclídea puede ser tratada como euclídea.

Resumamos: a) Una ley matemática no lleva a una sola figura geométrica, que sea "su figura", "su transcripción espacial"; ni inversamente; una ley admite infinitas representaciones geométricas.

b) Dentro del álgebra misma la distinción y forma de una ley depende de las substitutiones empleadas. No es algo absoluto.

Si, pues, es posible dar a una ley innumerables figuras geométricas y algebraicas, ¿cómo sabremos distinguir unas de otras para las finalidades físicas? Veremos que hay un conjunto de fórmulas, los invariantes y los tensores, que quedan invariables sean cuales fueren los cambios de coordenadas y substitutiones.

Vamos a ver el progreso de la física en esta dirección; qué elementos de relatividad se eliminan y en qué forma.

(B)

Estadios y medios de absolutización de la física

Los medios más importantes de absolutización empleados en física son:

- 1) La integración con determinación de las constantes.
- 2) Las ecuaciones diferenciales de tipo cuántico.
- 3) El cálculo diferencial absoluto con los invariantes.

Estos medios de absolutización son matemáticos; de los físicos y lógicos hablaremos más tarde.

Históricamente los intentos sistemáticos de absolutización son del presente siglo; los debemos a la teoría de la relatividad y de los cuantos.

Distingamos dos períodos de absolutización.

Primer período. Clásico. Emplea la forma de ecuaciones diferenciales como típica y propia de las leyes físicas. Supone,

pues, que la ley domina todos los elementos (vigencia infinitesimal y determinismo absoluto). Toda ecuación diferencial, al ser integrada, da un cierto número de constantes indeterminadas en función del grado de derivación. Indiquemos elementalmente qué es integrar una ecuación diferencial y qué significan las constantes aludidas. Ampliaremos las indicaciones del párrafo anterior.

Una ecuación diferencial expresa una ley entre elementos infinitamente próximos. Naturalmente que elementos infinitamente próximos (números, puntos, velocidades...) pueden hallarse unidos de muchas maneras matemáticas y a cada una corresponde una ecuación diferencial propia.

Podemos pues definir: “*una ecuación diferencial es la forma propia que adopta una ley matemática (función) cuando se la considera uniendo, regulando, precisamente elementos infinitamente próximos*”.

Estudiar, pues, una ley en forma de ecuación diferencial equivale a estudiarla en la forma que adopta en las *partes*.

Cabe naturalmente la consideración inversa: estudiar una ley en la forma que adopta en el *todo*; y en esta forma, que evidentemente será en la mayoría de los casos diferente de la anterior, se llama *integral*.

Definición: Integral es la forma matemática que adopta una ley o función, cuando afecta al todo o a un conjunto grande de partes.

Y por tanto; integrar será una operación matemática por la cual pasaremos de la forma de una ley que afecta a las partes infinitesimales a la forma que adopta la misma ley en cuanto afecta a todas las partes, o a un gran número de ellas simultáneamente.

E inversamente; diferenciar y formar una ecuación diferencial equivale a pasar de ley dada bajo su forma de afectar al todo, a su forma peculiar de afectar a las partes infinitesimales.

Estas dos formas suelen ser totalmente diversas; así la forma

diferencial de la ley de la caída de los cuerpos es... $\frac{d^2z}{dt^2} = g.$

($g=9.81$) y vale para cada elemento del camino, de la perpendicular.

En cambio, la forma integral es, $s = \frac{1}{2}gt^2 + at + b$, que

nos da en un momento dado t_1 , cuánto en total es el camino recorrido hasta entonces.

La forma diferencial del movimiento pendular es, $\frac{d^2\varphi}{dt^2} + n\varphi$

$= 0$, y vale para hallar la aceleración en cada uno de los puntos del arco cuando el cuerpo se halla en él. En cambio, la integral

es, $\varphi = C \operatorname{sen} \left(t \sqrt{\frac{g}{l}} \right)$ que indica el ángulo total recorrido por el péndulo.

Quedémonos con la idea básica; *diferenciar es pasar del todo a las partes infinitesimales. Integrar es pasar de las partes al todo.* En ambos pasos la forma de la ley y las propiedades suelen ser diferentes, como lo son el todo y las partes; mas coordinadas, unidas ambas formas por una doble operación, diferenciar-integrar. Por la misma definición se ve que son operaciones inversas, a saber, que una deshace lo que la otra hace. Así que diferenciar y a continuación integrar una misma ley o fun

ción equivale a dejarla igual; como $\frac{a}{2} = a$.

Significado de las constantes

Las constantes o cantidades fijas (conocidas o no) desaparecen al formar una diferencia; si tenemos,

$$a = b + C \text{ y} \\ a = \dot{z} + C$$

al restar ambas igualdades tendremos, $a - z = b - \beta$, ya que $C - C = 0$.

Si vgr., la ciudad A está a 200 m. sobre el nivel de una planicie y ésta a unos 500 sobre el nivel del mar, y otra población B está a 150, sobre la misma planicie, sus alturas sobre el nivel del mar son, para A, $a_1 = 200 + 500$ m.; para B, $a_2 = 150 + 500$ m.

500m es una constante. Si nos preguntan ahora cuánto más alta está A que B tendremos $a_1 - a_2 = 200 - 150 = 50$ m. La constante 500m ha desaparecido, al formar la ecuación de diferencias $a_1 - a_2$.

“Las constantes de una ley expresan siempre los datos o elementos o aspectos comunes”. Comunes a todos los elementos, que no se moldean o acomodan a las peculiaridades de cada uno, como la ley, sino que afectan a todos por igual.

Examinemos las tres constantes g , a , b .

Que la derivada segunda es constante $\frac{d^2z}{dt^2} = g$, ($g = 9.81$

m./sec) quiere decir que en la caída de los cuerpos la aceleración afecta *igual* a *todas* las partes del camino, estén lejos o cerca del término, la tierra, o soporte. En cambio, la derivada

primera $\frac{dz}{dt} = gt + b$, que mide y define la velocidad, no es

constante; la velocidad es, en efecto, tanto mayor, cuanto hace más tiempo que cae el cuerpo; se acomoda, pues, esta propiedad, la velocidad, a las diferencias de colocación de los cuerpos a lo largo del camino de caída.

Formular, pues, sistemáticamente las leyes físicas bajo forma de ecuaciones diferenciales equivale a eliminar sistemáticamente los aspectos comunes, para quedarse con los específicos: dejar las propiedades invariables, para mirar sólo las variables; las que se adaptan a las partes. Y por tanto, al integrar, las constantes que deben aparecer por ser una operación inversa, significan las propiedades comunes que no dependen de las peculiaridades ni originalidades de las partes.

Así que la preferencia de la física clásica por las ecuaciones diferenciales significa: *la física clásica es una física dirigida atomísticamente, al elemento infinitamente pequeño*. Mas si teóricamente, esta tendencia parece ser la más aceptable, pues deja lo común y acepta lo original, con todo por exigir la física comprobación experimental adjunta, hay que integrar siempre de una manera más o menos explícita para poder comprobar las leyes. Pero integrar equivale según lo dicho a considerar las propiedades en un conjunto mayor o menor de elementos; en el todo. Y aquí aparecen siempre las constantes. La física, por su cara matemática, tiende al cálculo diferencial; por la experimental, al integral.

Esta gravitación de la física hacia lo diferencial se acentúa en el período formalista (Poincaré, Helmholtz, Boltzmann, Jacobi...)

II) La física clásica no sabe determinar las constantes de integración que aparecen en las leyes básicas; vgr. la constante del principio de la conservación de la energía, la entropía fundamental, el peso absoluto del átomo que hace de punto de referencia, vgr. el H.

De ahí no hay sino un paso muy natural a afirmar que *“sólo podemos conocer las diferencias”*; *“los valores absolutos de una magnitud no poseen valor científico”*; *“las constantes de las ecuaciones diferenciales de la física son puros números”*.

Y efectivamente: ha sido preciso que el prestigio de las ecuaciones diferenciales amenguase para que hayamos podido determinar tales constantes básicas. Lo veremos a continuación.

Tenemos un primer elemento de relatividad.

III) La física clásica no sabe determinar ni formular las leyes bajo forma tal que queden invariantes frente a cualquier cambio de coordenadas o transformación de variables. Domina la técnica del cambio de coordenadas; sabe referir la ley de la gravitación al sol, a la tierra, a un sistema inercial...; mas no sabe hallar una fórmula superior a tales cambios, forma que matemáticamente quede igual durante tales transformaciones. La ecuación de Newton cambia de forma al referirla al sol, a la tierra, a un punto del espacio... Habríamos pues, de poseer

tantas formas matemáticas diversas para una misma ley física, cuantos fuesen los puntos de referencia posibles. La física obvió la dificultad buscando puntos de referencia privilegiados (espacio absoluto). Tales puntos no existen experimentalmente (relatividad). Cabe una eliminación superior por los tensores (Einstein). Vamos a verlo pronto.

La física clásica tiende a eliminar esta relatividad por la búsqueda de puntos privilegiados que determinen una forma especial de ley. La física relativista, por búsqueda de un invariante, de una forma matemática de estructura totalmente diferente de las referidas a un sistema de coordenadas determinado; invariante, que para cada sistema da la forma clásica de la ley.

(Segundo elemento de relatividad).

SEGUNDO ESTADIO.

Absolutización de la física. (Heisenberg, Einstein, Planck, Nernst...).

Se ha conseguido con tres medios principales:

- 1) Ideas cuánticas (Planck, Sommerfeld, Bohr, Heisenberg).
- 2) Ideas relativistas del cálculo diferencial absoluto. (Einstein).
- 3) Métodos originales (Nernst, Millikan).

Voy a indicar las líneas generales, dejando para los ejemplos otros detalles.

1. *Ideas cuánticas como medio de absolutización de la física*

Hemos visto que el empleo de las ecuaciones diferenciales encerraba un elemento de relatividad; traducía puras diferencias; no daba el valor absoluto. Esto se fundaba en la continuidad de la ley; al integrar aparecían constantes indeterminadas. nuevo elemento de relatividad. La mecánica cuántica ha halla-

do una nueva manera de integrar tal que se rompa de algún modo la continuidad; y un cálculo diferencial tal que los elementos básicos sean diferencias finitas, que como vimos daban menor relatividad. Es el método de las matrices de Heisenberg y Jordan, y el de los valores y funciones propias de Schrödinger.

Los experimentos dan razón a estos métodos sobre los de ecuaciones diferenciales de tipo clásico. Hablaremos más tarde de ello.

2. *Ideas relativistas como medio de absolutización.*

El cálculo diferencial absoluto permite eliminar la relatividad proveniente del punto de vista, del sistema de coordenadas y su estado, que daba una variedad inmensa de formulaciones matemáticas para la misma ley física.

Queda con ello introducida en la física una distinción fundamental; leyes aparentes, leyes reales. Las leyes aparentes son una forma de la ley, relativa a un sistema particular de coordenadas, a "un punto particular de vista". Es la forma relativa de la ley; forma y formulación variable, múltiple, dependiente de aspectos externos.

La teoría de la relatividad absoluta, aun a pesar de su nombre, es la que más ha contribuido a la absolutización de la física. Desde el punto de vista filosófico, nadie que sepamos, ha expuesto esta idea antes que nuestro Ortega.

Esta forma absoluta, invariante, sólo se ha podido introducir perfectamente en la mecánica; el dominio atómico aún no se ha beneficiado de ella. Es que en él la forma de la ley no ha tomado aún su estructura definitiva; contra un prejuicio de la física clásica de que hablaremos más adelante.

La relatividad emplea un segundo medio de absolutización además del cálculo diferencial absoluto, o de la forma tensorial; es el señalar grupos especiales respecto de los cuales son invariantes las leyes físicas. Hablaremos de ello más tarde, al

tratar de la teoría relativista. Y señalaremos un paralelismo muy interesante entre la estructura de la física teórica en sus diversos períodos y el tipo de geometría empleado; teniendo presente que cada geometría queda perfectamente definida por sus *grupos*.

3. *Métodos originales de absolutización física*

Los dos métodos anteriores de absolutización son de tipo matemático. No bastan para la determinación o eliminación de las constantes indeterminadas, gran elemento de relatividad que afecta a las leyes y objetos físicos fundamentales; vgr., la ley de la energía, entropía y peso atómico. Cada una de estas tres constantes ha sido determinada de un modo especial, como veremos a continuación.

Si toda constante, como probamos ya, significa un elemento común inmutable respecto de todas las partes y elementos diferenciales (debiendo, naturalmente, desaparecer de las fórmulas en que sólo se reflejen las diferencias), las constantes *determinadas* desaparecen en las fórmulas diferenciales y no aparecen en las integrales bajo forma de constantes *determinadas*, sino *indeterminadas*.

Ocupan, pues, una posición especial; no pueden ser obtenidas por integración, menos aún por diferenciación. Han de ser, pues, determinadas por procesos extramatemáticos.

Por tanto; toda constante determinada, vgr., el peso del átomo de H, es un punto de unión entre el dominio matemático, digamos entre el aspecto matemático de la física, y el aspecto absolutamente real, físico, de la misma.

Y como lo físico y lo matemático son dos esferas heterogéneas, su unión se hace por un medio lógico nuevo, las definiciones de coordinación (Zuordnungsdefinitionen). Las definiciones ordinarias son por subordinación; por una diferencia específica subordinada al género, y éste a otro superior. Mas tal manera de definir sólo es posible dentro de la misma esfera de realidad, entre elementos fundamentalmente homogéneos.

Entre esferas diferentes, como lo real y lo matemático, no cabe sino coordinación; y las coordinaciones básicas, primarias, se llaman, por analogía clara, *definiciones* de coordinación.

De ellas se podrán sacar demostraciones por coordinación, que es un nuevo tipo de demostración propio de la física.

Podemos afirmar, por tanto, "*toda definición de coordinación es un punto absoluto de contacto entre lo físico y lo matemático*": son los puntos de apoyo de la física teórica que la diferencian de un tratado puramente matemático.

El conjunto de constantes determinadas que aparecen en las fórmulas físicas y que sean diferentes de las constantes matemáticas determinadas (vgr., π , e) son los puntos de contacto con lo real, los puntos por donde lo físico desborda lo matemático.

Tales constantes son *indemostrables* en su valor. Se puede demostrar que π es 3'14159... en la geometría euclídea; mas no que el cuanto de Planck sea $h=6'55.10^{27}$ erg. sec. Es un dato directo ante el cual la matemática queda muda.

Es interesantísimo el estudio filosófico de las principales constantes determinadas que han encontrado los físicos. De algunas hablaré más tarde. Ahora voy a tratar de tres, bajo el aspecto de absolutismo que dan a la física y a las leyes en que aparecen.

Consideraciones generales y ejemplos

I. Primer ejemplo de absolutización de la física.

El peso del H.

Si en cualquier química tomamos la lista de los pesos atómicos, veremos que se hallan siempre referidos al peso de un cuerpo fundamental; vgr., el O, o el H. Para simplificar supongamos referido el peso al H; al leer, peso atómico del O, 16; significa, el átomo del O pesa 16 veces más que el átomo del H. Uranio, peso atómico, 238; quiere decir, que un átomo de U pesa 238 veces mas que uno de H., etc. Mas todo esto es puramente relativo; pues no sabemos cuánto pesa un átomo de H.

Las leyes químicas ordinarias, estequiométricas o volumétricas, son todas "relativas" en este punto; lo mismo, las electrolíticas, de Faraday.

Pero por otro camino, no químico, podemos determinar esta magnitud, y eliminar automáticamente esta relatividad en los pesos.

Tomemos un gr. de H; si lográsemos saber el número de átomos que contiene, bastaría dividir por él, para saber cuánto pesa un átomo suelto de H. Este número de átomos (mejor de moléculas) dentro de un átomo o molécula-gramo, digamos dentro de un gramo, es el número de Loschmidt, y puede ser determinado por medios extraquímicos. Su valor, es, $6'06.10^{23}$: en cada átomo-gramo (o molécula-gramo) hay unos 606000

trillones de átomos (o moléculas). Por tanto $m = \frac{1}{6'06.10^{23}}$; o sea más

o menos $1'66.10^{-24}$ gr.; el peso de un átomo de H es de una cuatrillonésima de gramo aproximadamente. Ahora todos los pesos de los átomos de los demás cuerpos adquieren un valor absoluto; el del O es $1'66.10^{-24}$ 16 gr.; el del Uranio $1'66.10^{-24}$.238 gr., etc. Ya no hay aquí mención alguna relativa.

Notemos de nuevo; hemos obtenido una constante determinada, quedando eliminada por el mero hecho una relatividad, por medio de una definición de coordinación, entre el dominio químico y otro diferente; el eléctrico (si de éste nos hemos servido para la determinación del número de Loschmidt).

Notemos además; para determinar la constante química fundamental hemos tenido que salir del dominio químico, pasar al eléctrico. Es muy importante determinar qué dominios se completan mutuamente en punto a constantes básicas, si queremos clasificar las subesferas dentro de la esfera física. Quédese para otra ocasión este tema ontológico.

II Segundo ejemplo de absolutización física.

La constante energética

Si nos dicen que el tejado está a 20 metros de altura respecto del nivel de la calle, no sabremos su altura absoluta, pues no sabemos la altura de la calle; si decimos que está a 200 metros sobre el nivel del mar, tenemos una determinación ulterior, absoluta o última, en la práctica; mas no es tal absolutamente: podríamos seguir preguntando por la altura del nivel del mar respecto a otro punto o plano.

En rigor, hasta que se halla una constante determinada, el preguntar tiene sentido y debe ser respondido dentro de estricta lógica, aunque la práctica se detenga antes.

Es muy interesante gnoseológicamente saber qué cuestiones y aspectos físicos son puramente relativos: y cuáles son absolutos, o llevan a magnitudes totalmente fijas.

Veamos cómo se aplican estas nociones al principio de la conservación de la energía. Sabemos según él que

$E_a + E_p = \text{Constante}$. Mas no sabemos cuán grande sea esta constante; pues de los sumandos sólo es conocido (puede serlo) el de $E_a =$

$\frac{1}{2} m v^2$; la energía potencial se presenta siempre bajo forma relativa, de

diferencias. El medio matemático más sencillo de saber este valor es que se anule la energía cinética; pues entonces $E_p = C$: y nos basta conocer una sola magnitud.

Un par de casos. Energía electromagnética; si el campo magnético es cero (es decir, la energía de movimiento de los cuerpos electrizados es nula; o sea, no se mueve ninguna electricidad) la energía es nula, $C=0$. Este resultado no ha sido obtenido por solo estudio y empleo de las fórmulas electromagnéticas, sino por *coordinación*, por unión sin subordinación, con la teoría de la relatividad.

Nernst suponía que al cesar de moverse los cuerpos electrizados (energía cinética = 0) quedaba remanente una gran energía de radiación; la radiación del punto cero. A priori era muy posible; los medios *internos* del dominio electromagnético permitían esta interpretación y otras. Sólo una definición de coordinación podía determinar el valor de C ; $C = 0$.

Segundo caso; energía de la materia. La energía de un cuerpo en reposo (cuando la energía cinética es evidentemente igual a cero) no es cero, como en el caso anterior, sino igual al producto de su masa por el cuadrado de la velocidad de la luz; es decir, una cantidad inmensa, a la que no falta quien atribuya los fenómenos radioactivos.

De nuevo nos encontramos con una determinación de constantes, saliéndonos de un campo (el mecánico o cinemático) y pasándonos al de la relatividad.

Notemos que en este último ejemplo tratamos de un cuerpo en reposo total en el que no influye ninguna fuerza, ni mecánicas (vgr., la gravitación) ni eléctricas. Es decir, si de repente quitamos, o suponemos no puestas, todas las fuerzas motoras (con lo que desaparecen las energías potenciales correspondientes, vgr., la de un cuerpo suspendido contra la fuerza gravitatoria), alguno tenderá a decir que $C=0$; ya que $E_a=0$ evidentemente y E_p parece serlo también quitadas las fuerzas. Y con todo no es cero; queda una energía absoluta, no dependiente o relativa a las fuerzas externas presentes; una energía intrínseca que habremos de estudiar y cuyo valor demuestra Einstein que es igual a m_0c^2 .

III. Tercer ejemplo de absolutización de la física.

La constante de la entropía

La entropía, como vimos, es una ley que rige las transformaciones entre energías, determinando que en ellas hay una magnitud que siempre aumenta o a lo menos que nunca disminuye.

Si, pues, hacemos una transformación cíclica, en que partiendo del estado A llegamos al B, y de éste volvemos al A, y calculamos la entropía del proceso, hallaremos la magnitud del aumento; mas no sabremos la cuantía absoluta, la entropía de A en sí y de B en sí. Sabemos la diferencia; no sabemos el valor de cada uno de los miembros, como en $a - b = 5$. Caso totalmente semejante a los dos anteriores; sabíamos que el O pesaba 16 veces más que el H, mas no sabíamos cuánto pesaban en sí ni el O ni el H. Sabíamos igualmente cuándo aumentaba o disminuía la energía de un sistema, mas no sabíamos qué energía poseía cada elemento del sistema. Aquí por semejante manera ignoramos la cuantía de la entropía propia de cada elemento del proceso. Sólo sabemos que en cada proceso aumenta la del sistema.

Mas juntando, coordinando dos ideas extratermodinámicas, una de Boltzmann, que define la entropía por la probabilidad, otra cuántica que introduce la discontinuidad, es posible demostrar y calcular la entropía intrínseca, absoluta de cada elemento. Dejemos para otra ocasión dar una idea de estas nociones y procedimientos.

Basta que notemos; toda determinación de constantes indeterminadas se hace por una definición de coordinación, o como dice Planck, por un nuevo axioma, o por unión de dos dominios de suyo independientes. Tropezamos aquí siempre con una irracionalidad lógica, en terminología de Hartmann; con un dato "no deducible" y que se puede demostrar a priori que no puede ser deducido por los medios intrínsecos de un sistema de nociones.

Notemos por fin: lo absoluto físico o lo físico en cuanto original frente a lo matemático, se conoce en las constantes físicas determinadas, matemáticamente inexplicables. Esta fecundidad de salir en física teórica del dominio matemático indica la realidad de otra esfera del ser; lo físico en sí; no subordinado, sino coordinado a lo matemático. Un racionalismo de tipo *matematicista es físicamente imposible*.

***ELIMINACION DE LA PLURALIDAD DE NOCIONES
UNIFICACION REAL***

CAPITULO TERCERO

Eliminación de la pluralidad de nociones. Unificación real

Primer medio de unificación conceptual: Por una noción superior

Los tres medios que vamos a tratar se salen del marco lógico estricto. La manera puramente lógica de reducir el número de nociones consiste en demostrar que son equivalentes o que una es consecuencia de la otra. Si queremos un criterio más general diremos que una reducción lógica de las nociones exige llegar de una a otra por medio de cualquiera operación lógica correlacional, vgr., formación de la negación, de la implicación...

Al demostrar que la física reduce el número de sus nociones por medios no lógicos queda demostrada su independencia como ciencia y refutado radicalmente el logicismo en este extremo. Con ello podemos ya entrever la originalidad de esfera física: cada uno de estos métodos será declarado con un ejemplo que nos lleve de la mano a nociones fundamentales que a su vez más tarde serán ulteriormente perfiladas.

Potencial y fuerza

La física clásica (Newton hasta Einstein) es la física del universo en trance de dolor; el universo en fase de salud es, para esta física, una construcción puramente matemática e ideal. La física de Newton se forja una imagen del universo físico, parecida desde el punto de vista holológico, a la siguiente:

Imaginemos un psicólogo tan raro que considerase como datos primarios de la conciencia las sensaciones de reacción del organismo frente a los intentos de desmembración; el dolor, la resistencia de un brazo que alguien nos pretende arrancar; el esfuerzo de los músculos al levantar un peso; es decir, todo sentimiento (en sentido amplio) *actual*, toda sensación *presente*, son los elementos a partir de los cuales hay que construir por composición el cuerpo en conjunto. El estado normal y propio del cuerpo sería aquel en que continuamente estuviésemos notando la realidad y pertenencia de todos los miembros al yo, en fuerza de las respuestas dolorosas y de esfuerzo a los tirones y acometidas externas. La salud y unidad profunda que transcurre inconscientemente y sin ruido, sin extorsiones, no representaría nada; sería una creación abstracta.

Pues bien; punto por punto tal es la imagen que del mundo físico se ha creado la física clásica. Vamos a verlo en unos ejemplos.

Las leyes astronómicas y las de composición de fuerzas.

El movimiento de un planeta al derredor del sol se verifica por *composición continua* de dos fuerzas *actuales* en cada momento; la de atracción y la de inercia del planeta desvelada por el movimiento tangencial. El sol tira constantemente del planeta con una atracción (ad-trahere) en *acto* en *cada* momento y en *cada* lugar; y el planeta en cada momento y en cada lugar procura con una fuerza no menos real, escaparse; si el sistema solar tuviese sensibilidad, al sol le dolería el planeta que se le quiere ir y al planeta le sería muy sensible la violencia del encadenamiento que se le impone. Es la física clásica un sistema del "esfuerzo, del dolor cósmico continuo".

Pero igual sucede en toda composición de fuerzas, en sus mil aspectos fundamentales para la mecánica clásica; en la composición de velocidades...: tal como ella entiende estos fenómenos.

Notemos de una vez para siempre esta característica: "en la física clásica todas las entidades (fuerzas, movimientos...) están *en acto individual*, en *cada momento* y en *cada punto* del espacio en que obran; de ahí que los choques, uniones, composendas hayan de revestir el carácter de "composición en un tercero" que viene a luz por manera inexplicable para todo el que

medite filosóficamente en el sentido real de composición de *fuerzas individuales reales*.

Las dificultades de esta concepción son múltiples y provienen de algunos prejuicios clásicos; voy a notar los más importantes.

aa) Concebir todo elemento físico (fuerza, masa, movimiento...) como una individualidad perfecta, empleando la categoría perfecta sustancia-accidente, con subordinación del accidente, de la propiedad, a la sustancia, bien localizada en tiempo y espacio. Y si se trataba de un proceso causal pedía igual dominio perfecto de la categoría causa-efecto; causa individual, efecto individual, unión individual. Es un prejuicio metafísico del que trataré más adelante.

bb) Concebir el espacio y el tiempo como entidades absolutas realmente distintas, no fundidas en unidad con los cuerpos y con las fuerzas, vgr., de atracción. De ahí que las fuerzas eran algo superpuesto al espacio; los astros parecen bengalas de luz que hienden el espacio, y proceden de un lugar y de unas manos invisibles e ignoradas. Esto hacía destacar más y más la individualidad de las fuerzas atractivas, su independencia; cabía (al parecer) una localización perfecta, como relación entre dos individualidades hechas, la del espacio, la de los cuerpos y sus fuerzas.

cc) De consiguiente, el estado del universo, es decir, de unidad total, es en esta física algo y aun mucho de impuesto, de artificial, de forzado. El orden del universo newtoniano clásico no posee estado de salud natural, inconsciente. Si de repente el mundo entero adquiriese conciencia de sí sentiría, por todas partes, mil dolores y los esfuerzos para mantener unido lo que de suyo no ha de estarlo.

En la imagen clásica del universo es muy natural hablar de plan divino, de causa externa del mundo y de su orden. No se da en rigor universo, sino asociación impuesta de individualidades físicas.

Esto traía en la física clásica una consecuencia muy interesante que voy a mencionar, pues viene al intento:

dd) En rigor habrían de darse tantas fuerzas *numéricamente* distintas, cada una en su lugar propio, dentro de cada tipo de fuerzas, cuantas fuesen las circunstancias externas diferentes; por ejemplo, una fuerza atractiva propia, individual, para cada posición y velocidad del planeta frente al sol. En cada momento y punto nuevo del espacio una nueva numéricamente. Pues, aunque la física clásica define las fuerzas en función del espacio (coordenadas) y a veces del tiempo, no son una sola realidad como en Einstein espacio-tiempo-fuerzas, sino diferentes. No son, pues, las fuerzas funciones intrínsecas ni del espacio ni del tiempo.

Newton evita esta consecuencia extrema por medio de dos nociones: a) energía potencial, b) potencial mismo.

Como todo lo que es real o existe en acto ha de ser, según el prejuicio clásico (y al decir prejuicio, quiero significar nada

más idea recibida inconscientemente sin discutir; no le doy pues ningún matiz peyorativo), totalmente individuado en tiempo y espacio, sólo las fuerzas (velocidades, aceleraciones...) que son menester en cada momento y lugar, dadas las condiciones del fenómeno, son actuales, obran, se manifiestan; las demás de otros puntos del espacio y tiempo son potenciales; bastará poner allá un cuerpo en condiciones y pasarán a actuales. Las fuerzas o entidades físicas actuales son pues, *pocas* en número.

Aun así las fuerzas actuales (digamos entidades) son demasiado numerosas, pues han de multiplicarse según todas las variables independientes; vgr. tantas cuantas dimensiones del espacio, 3; o tantas cuantos grados de libertad del sistema. De nuevo nos hallamos ante el prejuicio clásico; “independencia trae consigo individualidad e inversamente”. Así la fuerza atractiva posee tres componentes independientes, que pueden anularse unos y no otros, crecer independientemente...; es decir, otras tantas fuerzas individuales que se unen por composición; o más científicamente, pasan a potenciales; y viene como única actual, la resultante.

La física clásica conoce una reducción *teórica*, puramente matemática, de esta pluralidad, metafísicamente irreductible. Las fuerzas bajo ciertas condiciones pueden ser sacadas por *derivación* matemática de una función superior; el potencial. Basta diferenciar esta función según las variables independientes (coordenadas, parámetros...) y se obtienen las fuerzas que son lo *propiamente real*; el potencial es una entidad abstracta, un medio de cálculo (Boltzmann). Con esta noción de potencial se pueden unificar muchos dominios; elasticidad, termodinámica, electricidad...; de modo que podríamos llamarla, prescindiendo de la cuestión de realidad, *categoría física*.

Newton no conoce ni emplea aún esta noción matemática; la emplea muchas veces Laplace; la teoría perfecta la debemos a Green. Sus ventajas matemáticas son inmensas. Mas queda en pie la cuestión de su validez.

Tenemos en la física clásica la siguiente pluralidad de nociones: fuerza, potencial, espacio, tiempo; de ellas,

- | | | |
|-----------|---|------------------------------------|
| a) reales | } | fuerzas, (tantas como componentes) |
| | | espacio, |
| | | tiempo. |

- b) matemáticas: Potencial (función reductora de los componentes).

La física einsteiniana elimina esta pluralidad de la manera siguiente:

Demuestra (y lo probaremos más tarde) que el espacio, el tiempo y la gravitación (fuerza) forman una entidad real superior de la que son manifestaciones unilaterales en ciertas circunstancias fenómenos que parecen sólo espaciales, sólo temporales, sólo de fuerzas.

Demuestra que se da entonces como realidad básica un potencial, de componentes $g_{\mu\nu}$, que en casos determinados se manifestarán como fuerzas. La fuerza explícita es en el universo un fenómeno semejante a la sensación de esfuerzo doloroso con que responde el organismo a un tirón externo que pretende arrebatarlos un miembro ya muy unido. Es pues, un fenómeno *secundario*: lo principal es la unión preexistente, total, entre cuerpo, espacio y tiempo. La fuerza es un fenómeno anormal, un ataque a la vida reglada, tranquila y uniforme del universo. Las relaciones de causa-efecto han de ser estudiadas cuidadosamente.

Einstein ha descubierto el estado natural, imperturbado, de salud del universo; y señalado sus leyes bajo forma de invariantes o tensores. El potencial tensorial es el que expresa la ley que vige en el universo en estado normal; las fuerzas son las reacciones del potencial tensorial, invariante máximo, a los cambios externos, que no andan por las líneas naturales del universo.

El movimiento de los planetas no se verifica por compensación de dos fuerzas individuales en cada momento y lugar, sino que se hace sin fuerzas, mientras un cuerpo externo no venga a desvelar las fuerzas defensivas del sistema. La fuerza es una entidad de defensa física del estado natural que se rige por causas que no son del tipo de fuerzas; aquí descubro otro prejuicio de la física clásica, *toda causa física ha de ser del tipo de fuerza*.

De modo que podemos decir: todos los movimientos se realizan en la física de Newton por fuerzas que son a la vez causas y por causas que tienen el tipo de fuerzas, entendiendo fuerza en el sentido sensible ordinario. En Einstein por el contrario.

I) Los movimientos naturales (vgr., de los planetas) se hacen por causas que no son fuerzas.

II) Los movimientos impuestos (vgr., intrusión en nuestro sistema solar de un cometa), se hacen por fuerzas que son un modo de causas.

Volviendo explícitamente a nuestro tema:

I) La física clásica reduce el número de nociones reales por una noción matemática superior (reducción teórica).

II) La física einsteiniana reduce nociones reales (secundarias) a una noción superior real normal: (reducción física).

Ejemplo: la noción de potencial-fuerza.

Este modo de reducción es evidentemente extralógico, tan'o en Newton como en Einstein: aunque, más en este último. Es fácil de demostrar.

Segundo medio de unificación conceptual *Equivalencia mutua sintética*

Voy a estudiar una nueva manera de disminuir el número de nociones físicas fundamentales a base de un ejemplo.

Nociones de materia y energía.

En la física clásica (hasta 1916) las nociones de masa y energía formaban una de las mayores contraposiciones. Es cierto que para ambas regía un principio de conservación. La cantidad total de masa en el universo es constante (Lavoisier); la cantidad total de energía del universo es constante (Mayer). Mas fuera de este punto, sobre el que meditaremos, lo demás parecían contraposiciones agravadas por el mismo principio de conservación propia. Así la contraposición entre materia y calor no es tan fuerte, pues no vale un principio de conservación para el calor que puede aumentar o disminuir; se pudiera sospechar que en su disminución el calor se pasa a materia; y en su aumento, materia a calor.

Notemos algunas contraposiciones;

- a) La masa posee inercia; la energía no la posee.
- b) La masa posee gravitación; la energía no la posee.
- c) La masa posee constitución atómica; la energía como tal no la posee.

Así, quedaría la masa caracterizada por sus propiedades mecánicas, gravitatorias, atómicas, y la energía por la carencia de las mismas. La energía no actuaba de freno contra la fuerza, como la masa mecánica por medio de la inercia, en $F = m.a$. Y casi parece natural al concepto ordinario de energía el que no estorbe las fuerzas. La energía no se hallaba sometida al peso; nos sorprende pensar que la luz pese, sea desviada por los astros, se comporte como un proyectil; y menos aún cabía en mente clásica, que la energía fuese de tipo cuántico; pues de convenirle hubieran tenido que cambiar toda la mecánica.

Con todo la física relativista y la teoría de los cuantos de Planck han demostrado.

a) Que la energía es de tipo cuántico, atómico, de la forma $E = n \cdot h \cdot \nu$ (h constante de Planck). Así la energía mecánica del oscilador lineal (un

punto que va y viene a lo largo de una línea), es $E = (2n+1) \frac{h\nu}{2}$

($n=0, 1, 2, 3, \dots$). Y esto vale de toda energía, electromagnética, acústica, luminosa... Al acercarnos al macrocosmos la energía total parece continua y puede ser tratada así aproximadamente. (1905).

b) La energía está sometida al peso; desviación de la luz por el sol (Einstein, 1917). Y toda clase de rayos es desviada por la materia.

c) La energía posee inercia mecánica. (Compton, 1923).

Y no sólo vale la equivalencia energía-masa, sino también la inversa; la masa posee cualidades energéticas. Einstein prueba, que toda

energía posee una masa $\frac{E}{c^2}$ (c velocidad de la luz); y que toda masa

posee una energía $E_0 = m_0 c^2$; y que a toda variación o cambio en un mo-

mento dado de la energía $\frac{dE}{dt}$ corresponde un cambio en la masa; o sea

$\frac{dE}{dt} = c^2 \frac{dm}{dt}$. Por tanto los dos principios de conservación, mantenidos

a parte, son falsos; hay transformaciones de masa en energía e inversamente.

Lo invariante es *la suma total de la energía y masa del universo.*

Las fronteras entre materia y energía han desaparecido; mas ¿en beneficio de quién?

Aquí viene la singularidad del caso; es una equivalencia mutua, sintética, sin preferencias. Notemos algunos puntos, sólo los necesarios para nuestro intento. El principio de la conservación de la energía dice que "en un conjunto de cuerpos (en un sistema cerrado, que puede ser naturalmente el universo entero) la suma de la energía cinética y potencial es constante"; aunque se pueden dar y se dan cambios continuos entre energía potencial y actual (vgr. en un cuerpo que cae). Así que la cons-

tancia de la energía afecta a un *todo*, a un sistema en *conjunto*; no está localizada en *un* punto del sistema, pues en un punto se darán tal vez cambios de energía, pérdidas de energía potencial o de actual, (vgr. en un cuerpo que se para). De algún modo la energía de un sistema cerrado se halla en todos los puntos; ya que la suma total de las energías parciales ha de ser siempre la misma. Podemos afirmar;

La energía posee una localización totalitaria perfecta?

la energía posee una localización puntual imperfecta.

Está perfectamente presente en el todo, imperfectamente presente en las partes o puntos. Luego si equivalen energía y masa, lo mismo habremos de afirmar de la masa. La física moderna, aun después de Einstein, no sacó esta consecuencia, sirviéndose del solo principio de equivalencia; la dedujo de la mecánica cuántica de Heisenberg. Por más extraño que parezca, "un átomo, un electrón, un cuanto de luz, un cuanto de energía... no tienen perfecta localización puntual; están de algún modo presentes en todo el espacio". Es decir, no son individuos perfectos, como los macroscópicos. Tenemos confirmada por otro camino la teoría de Einstein, y en punto bien fundamental, cual es el de la estructura individual.

Y a la vez queda superada una contradicción que se hallaba en la física clásica. La energía no puede poseer localización puntual perfecta; sólo le conviene la totalitaria. Y con todo la energía es una *propiedad* de la materia, perfectamente localizada en sí, según la física clásica.

Otorgaba pues, la física clásica una cierta independencia a la energía frente a la masa; la física moderna demostrará el teorema general: "toda entidad independiente toma la forma de cuanto o mínimo": teorema del que trataré más adelante.

La forma propia del individuo físico es la de mínimo: algo así como una gota, al separarse del líquido restante, toma la forma esférica.

La energía posee, pues, forma individual (cuántica); mas a la inversa, la materia posee forma energética, (falta de presencia determinada en los puntos): es una consecuencia de la comunicación de propiedades que nos llevará a discutir si provienen ambas, materia y energía, de una entidad superior o no.

Con esta teoría queda resuelta la dificultad anterior; la

energía era una magnitud aditiva, (obtenida por suma o integración), no perfectamente localizada, a pesar de que los sumandos estaban perfectamente localizados y lo mismo sus energías por ser propiedades individuales.

Tenemos un nuevo tipo de reducción del número de nociones: equivalencia mutua sin preferencia. Experimentalmente se dan cambios de energía en masa (efecto fotoeléctrico), y de masa en energía (radioactividad), pérdida de peso por radiación.

Notemos que esta equivalencia es sintética, no analítica. Pues las propiedades de masa y energía no son iguales ni se manifiestan como iguales. Son dos cosas diferentes que pueden transformarse mutuamente sin pérdida y según ley fija. Qué tipo metafísico sea éste, lo veremos más tarde. Por de pronto ninguno de los que suelen traer los filósofos, mientras supongamos que las categoría, sustancia, individuo... se aplican igual a todos los seres.

Tercer medio de unificación conceptual Por manifestaciones de un invariante superior

Este tercer medio constituye una de las originalidades supremas de la teoría relativista generalizada. La teoría de la relatividad distingue:

- 1) El invariante básico, o campo métrico.
- 2) El campo de potencial gravitatorio, dado por sus componentes en cada circunstancia,

$$g_{\mu\nu}; (g_{11}, g_{12}, g_{13}, g_{14}, \dots)$$

- 3) El campo del gradiente gravitatorio, dado por los símbolos de Riemann-Christoffel, compuestos de las derivadas $\frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x_\tau}$

4) $\bar{g}_{\mu\nu} = g_{\mu\nu} + \gamma_{\mu\nu}$; donde $\bar{g}_{\mu\nu}$ son los componentes del campo inercial; $\gamma_{\mu\nu}$ los del campo gravitatorio en sentido ordinario.

En el método primero de reducción hemos hecho el paso

aproximado de 3) a 2), pues $\frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x_\tau}$ son las fuerzas generalizadas; y los $g_{\mu\nu}$ son los potenciales generalizados, las magnitudes de salud normal del universo; mientras $\frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x_\tau}$ son las fuerzas, bajo su aspecto anómalo de medios de defensa del estado normal. La equivalencia $g_{\mu\nu} = \bar{g}_{\mu\nu} + \gamma_{\mu\nu}$, se asemeja mucho al caso de reducción por equivalencia sintética de que hemos hablado. Sobre estos dos puntos volveremos al hablar de la teoría relativista del espacio. Ahora vamos a ver el paso de 2) a 1); de potenciales gravitatorios generalizados (pues encierran las manifestaciones inerciales, que al parecer tan pocas semejanzas presentan con las gravitatorias) al campo métrico, que es el invariante primario del universo.

Comencemos con una noción matemática muy sencilla, mientras no nos metamos en tecnicismos; la distinción entre invariante y covariante.

Una magnitud matemática (o física, si es posible traducirla matemáticamente) se llama covariante si el conjunto (formado por vía de suma, producto u otra operación matemática apropiada) de todos sus componentes dentro de un sistema conveniente de coordenadas, o sea considerados desde un punto de vista particular, es igual al conjunto de componentes de la misma magnitud, considerada desde otro sistema de coordenadas, o sea, desde otro punto de vista. Entran, pues, estas ideas: a) Varios puntos de vista; o más técnicamente, varios (dos al menos) sistemas de coordenadas. b) Una magnitud de tipo matemático. c) Los componentes (aspectos parciales independientes) de tal magnitud, en los varios sistemas; componentes que no serán en general iguales; de modo que si A_1, A_2, A_3, A_4 , son los componentes de la magnitud M en el sistema A; y B_1, B_2, B_3, B_4 , en el sistema B, en general ningún A_i es igual a ningún B_j .

d) Y con todo, para que la magnitud M sea covariante, es preciso que el conjunto (A_1, A_2, A_3, A_4) formado tal por una operación matemática, sea igual al conjunto (B_1, B_2, B_3, B_4) formado por la misma operación matemática. Es un análogo a los conjuntos (3,4) y (5,2) que no tienen ningún elemento común y con todo la suma de unos es igual a la suma de los otros $(3+4)=(5+2)$; lo que expresa el invariante básico no formulado, 7.

Pues bien: *“toda magnitud covariante alude y supone un invariante básico”*.

Podemos ahora definir,

Covariante es una magnitud cuyos componentes varían en general en cuanto a su valor, al cambiar de coordenadas; mas el conjunto de ellos es invariante. Varían las partes de modo que el todo quede sin variar. Invariante es una magnitud inmutable en conjunto y sin partes o componentes. Rige los covariantes de modo que no permita variaciones en las partes sin que las acomode a la invariancia del todo.

Volvamos ahora al aspecto físico. Llamemos categorías físicas, mejor, físico-gnoseológicas, aquellos conceptos, más o menos complicados, sin los cuales no podemos entender, aprehender físicamente la realidad; es decir, son los medios propios para ver lo físico; para que la realidad se nos presente precisamente como física y así poder tomar ante ella la actitud de "físicos".

La actitud física encierra dos elementos; ordenar y medir; función topológica (que pone orden) y función métrica.

La función topológica y métrica ha creado inconscientemente su órgano; las coordenadas, que poseerán por consiguiente doble oficio; ordenar los puntos o elementos del espacio y del tiempo; y medir sus distancias o intervalos. Hasta Einstein no se separan ambas funciones: con él sabremos que la función topológica es la primaria; y la de medir, la secundaria.

La función topológica y la métrica se hallan simbolizadas elementalmente en los planos de las ciudades, en que la posición de una calle o de un edificio queda señalada por la intersección o coincidencia de dos columnas perpendiculares designada cada una con letra diferente, vgr. Aa, Ab, Ac... Ba, Bc... (con ello obtenemos la función topológica). Y la métrica se halla con ayuda de la escala adjunta que nos dirá, vgr., a cuántos metros corresponde un cm. o mm. del mapa. Ambas funciones son separables; basta suponer un mapa trazado en materia elástica: la función topológica permanecerá en este caso invariante, y con todo la métrica cambia completamente. Pues de goma parece ser nuestro universo según la teoría de la relatividad generalizada; la métrica es una función que cambia con el espacio y el tiempo y otras circunstancias.

A través de estas categorías de ordenación y medida vemos lo real bajo el aspecto de físico; el orden espacial se impone por tres coordenadas independientes, las tres dimensiones del espacio; el orden temporal, por la sucesión o ritmo de "antes y después". Es pues, el orden del tiempo unidimensional; tridimensional, el del espacio. Y en total cuadrimensional el del

universo. Y de estos cuatro medios nos hemos de servir para poder precisar la posición de todos y cada uno de los sucesos y elementos del mundo. Este número de datos necesarios y suficientes para que notemos el orden del mundo no es arbitrario; nos lo impone la misma realidad y veremos más tarde cómo.

Claro que el universo en sí, su orden, su ritmo, sus distancias no se hallan numeradas ni señaladas con ninguna clase de coordenadas; nosotros al hacer física convertimos al mundo, uno, indivisible, sin fronteras internas, en un mapa artificial. Le echamos encima un vestido rayado, numerado, medido todo él; procuramos que le ajuste lo mejor posible; para así poder describir en detalle, por orden, sucesivamente, con matemáticas, lo en sí es uno, de vez, extramatemático.

Hemos hecho con el mundo físico lo que los anatómicos con el humano. El mundo en sí es cual una bella estatua griega, de mármol liso, deslumbrante; el mundo físico es la misma estatua recubierta de letras y números coherentes que designan órganos independientes, sistemas, partes sueltas. Pues bien:

a) el mundo físico en sí, la bella estatua bajo forma propia de contemplación totalitaria, es traducido por Einstein con el invariante supremo;

b) el mundo físico, vestido matemáticamente con un vestido ajustadísimo (coordenadas de Gauss; las de Newton le venían anchas por todas partes) para poder numerar las partes; ordenarlas y verlas así, en orden, en unidades parciales, es traducido por Einstein con los componentes del tensor fundamental $g_{\mu\nu}$, (que hemos llamado potencial tensorial, campo potencial gravitatorio). Todavía nos hallamos muy cerca de lo natural y tanto más cuanto el vestido ajuste mejor al talle del universo, a sus inflexiones. Einstein lo ha hallado; y veremos cómo y hasta qué grado.

c) el mundo físico en estado anormal, cuando algo tiende a sacarlo de su quietud, del estado de salud en que todo funciona sin ruido, sin extorsión, es decir, al aparecer las fuerzas, como entidades explícitas, es traducido por las derivadas del

potencial $\frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x^\tau}$ (o mejor, por un conjunto especial de ellas, lo que hemos llamado componentes del gradiente gravitatorio). Aquí

aparece la gravedad como fuerza defensiva, como causante de la caída, del peso explícito, único aspecto que conoció (y no bien) Newton; aspecto más individual, al parecer, que los anteriores.

d) Por fin, la gravitación general (einsteiniana) tiene dos manifestaciones en los casos de anormalidad grave; a saber, las manifestaciones inerciales (gravitación dinámica, propia del campo en movimiento) y las de pesantez o gravitación estática.

Como se ve, entidades y manifestaciones aun más secundarias, menos naturales, impuestas al universo. Notemos ahora la reducción magnífica de conceptos; reducción de tipo extralógico.

La reducción de $g_{\mu\nu}$ y $\Upsilon_{\mu\nu}$ a $g_{\mu\nu}$ es la reducción de dos manifestaciones diferentes, ambas anormales, de la misma realidad; inercia = gravitación dinámica; peso = gravitación estática. Es el principio de equivalencia de Einstein: "la inercia y sus manifestaciones no son fenómenos de gravitación".

La reducción de $\frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x_\tau}$ a $g_{\mu\nu}$ es la reducción de una manifes-

tación anormal al estado total normal; con el cual, desde el punto de vista matemático, dice una relación sencilla; las fuerzas son las derivadas del potencial según las coordenadas, o elementos ordenadores independientes. En ambos casos hay una distinción

real, física, entre $g_{\mu\nu}$, $g_{\mu\nu}$ y $\Upsilon_{\mu\nu}$; entre $\frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x_\tau}$ y $g_{\mu\nu}$.

La reducción no es, pues, puramente lógica.

La reducción de los $g_{\mu\nu}$ al campo métrico g , es de otro tipo; los $g_{\mu\nu}$ no son manifestaciones anormales ni reales distintas de g ; son el mismo g , el mismo invariante básico; sólo que tratado, mirado a través de las categorías físicas de espacio y tiempo; o sea, de las coordenadas en su doble función topológica y métrica.

Es una reducción particular de pluralidad categorial a unidad real. Nos hallamos en el punto en que la esfera gnoseológica toca a la ontológica. Las categorías básicas del conocimiento físico, el sistema de coordenadas espacio-temporales, que tocan inmediatamente lo físico en su realidad original, irreductible, desaparecen de alguna manera al formar los invariantes básicos, dejándonos en las manos lo óptico casi puro.

Consideremos un caso típico y suficientemente sencillo para dar una idea de lo que acabo de afirmar.

En el cálculo diferencial absoluto se define entre otros tensores importantes, el de Riemann-Christofel.

$$B_{\mu\nu\sigma}^{\epsilon} = \left\{ \mu\sigma, \alpha \right\} \left\{ \alpha\nu, \epsilon \right\} - \left\{ \mu\nu, \alpha \right\} \left\{ \alpha\sigma, \epsilon \right\} - \frac{\partial}{\partial x_{\nu}} \left\{ \mu\sigma, \epsilon \right\} - \frac{\partial}{\partial x_{\sigma}} \left\{ \mu\sigma, \epsilon \right\};$$

que es una función de los $g_{\mu\nu}$ y sus derivadas; expresa, por tanto, una determinada propiedad del espacio; a saber, que nos hallamos en un campo vectorial. O más elemental, que la traslación de un vector (de una velocidad, de una fuerza) del punto A al B, no altera sus propiedades, sea cual fuere el camino que hayamos seguido. Pues bien, esta magnitud encierra 256 componentes que en el caso relativista pueden reducirse a 20. La perspectiva que a través del $B_{\mu\nu\sigma}$ nos presenta la naturaleza contiene 20 términos independientes, unidos naturalmente por una invariancia profunda, como todo tensor. El tensor de Riemann-Christofel es un prisma que divide en 20 haces de colorido diverso la luz una, sintética, que de la naturaleza en sí nos viene. Como prisma que es, construido por la función categorial humano-física—"ver a través de un sistema de coordenadas"—incluye alguna arbitrariedad; un poco de artificio.

Demos un paso más, y por la operación "Verjüngung" (que prefiero traducir por "rejuvenecimiento" en vez de reducción o contracción) formemos el tensor de segundo grado,

$$G_{\mu\nu} = \frac{\partial}{\partial x_{\alpha}} \left\{ \mu\sigma, \alpha \right\} + \left\{ \mu\alpha, \beta \right\} \left\{ \nu\beta, \alpha \right\} + \frac{\partial^2}{\partial x_{\mu} \partial x_{\nu}} \left\{ \log \sqrt{-g} - \left\{ \alpha\nu, \alpha \right\} \frac{\lambda}{\partial x_{\alpha}} \log \sqrt{-g} \right.$$

que encierra nada más 10 componentes. Einstein ha visto en él la ley de gravitación para el espacio intercorporal. Nos encontramos con un nuevo prisma intelectual que divide en menos haces de luz la unidad luminosa del cosmos. El elemento gnoseológico, las coordenadas, disminuye. Si queremos obtener un universo cerrado, imponiendo condiciones en el límite, a fin de que la energía no se disipe y escape al infinito, la ley de gravitación es

$G_{\mu\nu} = \lambda g_{\mu\nu}$: (λ una constante pequeña). Mas por un nuevo rejuvenecimiento podemos obtener,

$G = g^{\mu\nu} g_{\mu\nu}$. G es una constante, un número único, que admite la interpretación de "curvatura del universo". El prisma ya no deshace el haz unitario de luz cósmica.

Si en vez de partir de la ley de gravitación intercorporal en el espacio vacío consideramos la ley que rige al acercarnos a los cuerpos causantes

del campo gravitatorio, la ley es, $G_{\mu}^{\nu} = -8\pi \left\{ T_{\mu}^{\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu}^{\nu} T \right\}$ que

posee aún 10 componentes; por rejuvenecimiento obtendremos una nueva constante,

$G = 8\pi T = 8\pi\rho$: la densidad de la materia en el universo; que, como es fácil de ver, se halla en relación muy estrecha con la curvatura del mismo.

Aquí no tanto nos interesan las fórmulas (que he elegido entre las más sencillas; y no entre las últimas de Weyl, Eddington-Einstein), sino el proceso de eliminación de las categorías físicas; de los prismas que emplea el físico para a través de ellos estudiar la estructura del universo; “la posición privilegiada de los invariantes y de las constantes básicas” resulta clara. Pues únicamente este punto de vista lógico me interesaba hacer resaltar.

El método de los invariantes permite, pues, eliminar el elemento semisubjetivo de las categorías empleadas en física y tocar casi directamente la realidad sin el intermedio de ellas. Es quitar a la estatua el velo policromado que la cubría, para presentárnosla a la intuición totalitaria.

Evolución histórica de la unificación conceptual

Primer periodo. La física clásica.

Podemos afirmar que la física clásica no consiguió unificar *realmente* las nociones físicas; sino que al revés las multiplicó por varias causas.

1.^a) el influjo sensible; todas las manifestaciones sensibles diferentes se atribuyeron a entidades irreductibles; así materia, luz, energía, fuerzas de inercia y gravitación... La geometría del universo era nada más el escenario en que se desarrollaba el drama del mundo, sin afectarse por él; ni el espacio ni el tiempo absolutos intervenían intrínsecamente en los fenómenos.

2.^a) el relativismo, que les llevó a buscar sistemas preferidos de referencia, de coordenadas; es decir, puntos sensibles de vista, centros sensibles de perspectiva cósmica; y por tanto preferencia de ciertas formas para las leyes del universo. Con ello no quedaba eliminada la multitud de las restantes formas que pretendían dar también la traducción auténtica del fenómeno, ya que tales sistemas de referencia eran una pura construcción.

3.^a) la física clásica no llegó sino en muy pocos casos a una unificación puramente matemática de diversas leyes; así la teoría del potencial newtoniano.

En cambio;

Segundo período. — *Física moderna* (Einstein, Heisenberg).

1.º) Unifica por elementos invisibles desde el punto de vista categorial de la física en cuanto ciencia, mas que se traslucen en lo visible, a saber, los invariantes. Con ello no hay forma de ley preferida; todas son iguales; sólo el invariante posee derechos especiales, pues su misma forma matemática es diferente.

2.º) reduce realmente, demostrando que ciertas magnitudes y fenómenos físicos son nada más manifestaciones especiales de una entidad fundamental y anterior.

Nos hallamos en buen camino; lejos de todo matematicismo. No hay unificaciones puramente matemáticas; y si las hay (intentos de Weyl-Eddington en la relatividad), tenemos criterios para conocerlo.

Hay una reducción muy interesante que hace notar Eddington.

I) La percepción directa del universo con un solo ojo es bidimensional; los dos ojos nos proporcionan una combinación de los dos aspectos que provienen de mirar el universo de vez desde *dos* posiciones diferentes. Nuestro cerebro hace una síntesis sensitiva y nos presenta el relieve; la tercera dimensión. Esta síntesis es suficiente para un observador que puede ocupar *todas* las posiciones del espacio. Conjunto de puntos de vista *estáticos*.

II) La fase siguiente de síntesis sensitiva real consistiría en una síntesis real nueva para todos los aspectos del espacio, respecto de un observador animado de todas las *velocidades uniformes* posibles.

El resultado es la adición de una nueva dimensión, que no sintetiza *sensiblemente* con las anteriores. *Geoméricamente* nos hallamos aún en Euclides. La relatividad restringida ha construido la síntesis *conceptual* correspondiente.

III) Nueva fase, haciendo entrar todos los movimientos acelerados posibles; ya no podemos añadir una nueva dimensión. Nos quedamos en nueva geometría, en Riemann. Síntesis *conceptual* nueva de la relatividad generalizada. No existe la síntesis *sensible* correspondiente.

IV) En fin, haciendo entrar todos los aspectos que ofrecería el mundo a un observador que cambiase constantemente de magnitud interna nos hallaríamos con la nueva geometría de Weyl, Eddington, de que hablaremos en el capítulo V. Mas la naturaleza no nos ha proporcionado tampoco una síntesis sensible acomodada a este nuevo caso.

Pero, ¿por qué la naturaleza no nos habrá dado hechas las síntesis sensibles de los casos II, III, IV? Eddington y Reichabach indican una conjetura; así como el que nuestros ojos vean, bajo la impresión origi-

nal de color, solamente el intervalo de 400 a 800 billones de vibraciones por segundo, dentro de la escala amplísima de vibraciones, proviene probablemente de una acomodación filogenética al máximo de radiación solar que corresponde precisamente a tales longitudes de onda, podría ser muy bien que el no poseer síntesis sensibles análogas a la del relieve para los casos II, III, IV, dependiese de falta de acomodación a las variaciones correspondientes, por ser demasiado pequeñas y presentarse con poca frecuencia en el campo consciente individual.

Esta falta de síntesis sensitivas que parecen a priori posibles, pues los elementos y cambios pertenecen al orden mismo que los de I, se suple por síntesis intelectuales; por la introducción de geometrías superiores. Tales medios pueden, por tanto, ser clasificados entre los de deshumanización sensitiva y unificación intelectual. Y resulta interesante desde el punto de vista lógico notar el punto exacto en que el poder sintético sensitivo se detiene y el conceptual sigue su marcha ascendente hacia mayores unificaciones.

En la visión binocular se nos descubre la tercera dimensión, no suelta y aparte de las dos primeras, sino fundida en una síntesis nueva; el relieve.

Mas ya no disponemos de una síntesis sensible para unificar las tres dimensiones con el tiempo, que es la entidad o aspecto nuevo que se nos "descubre" al contar el movimiento. El tiempo, centrado en un ahora, en un presente momentáneo, con un horizonte infinitesimal hacia el pasado y el futuro, que es el tiempo propiamente usado en física, se nos aparece al contar el movimiento, tan separado estructuralmente del espacio, como al contar cinco elementos el "cinco". ¿Por qué ya no se hará aquí síntesis sensible original?

La relatividad restringida suple en el terreno intelectual esta falta de unidad, de síntesis, tratando el tiempo como una coordenada especial; decimos, especial, pues la física de Newton ya se servía de ella como variable independiente primaria. La relatividad escribe en la fórmula del invariante fundamental, intervalo ds^2 , ante el dt^2 el signo menos.

Como descubrió Minkowsky y ha valorado conscientemente Reichenbach, el signo negativo permite dividir la variedad espacio-temporal en dos regiones; la primera en que la sucesión temporal-causal se halla bien definida; incluyendo, por tanto, todos los fenómenos unidos por causalidad; en la segunda entran fenómenos sin relaciones causales, independientes, de modo que una unión entre ellos supondría velocidades superiores a la de la luz, límite real superior. El tiempo nunca ejerció en la física clásica este oficio ordenador de los acontecimientos y regiones causales del universo.

Volviendo a nuestro tema. La fusión sintética de espacio y tiempo en la relatividad restringida (y a fortiori en la generalizada) suple en el terreno intelectual la falta de síntesis sensitiva correspondiente.

La introducción de todos los movimientos sensibles acelerados y de los aspectos sensibles cambiantes que ofrecería el mundo si las unidades de medida fuesen función del tiempo (Cap. IV) no produce en nosotros una síntesis sensible original. No sentimos sino síntesis intelectuales. El proceso de deshumanización de los conceptos consiste en no dejarse llevar, como la física clásica, de la falta de síntesis sensitiva, introduciendo la pluralidad equivalente en el orden intelectual; en las categorías y leyes de la física teórica. La relatividad ha superado brillantemente este dominio de lo sensible en la física clásica.

***EVOLUCION DE ALGUNAS CATEGORIAS METAFISICAS
CLASICAS***

CAPÍTULO CUARTO

Evolución de algunas categorías metafísicas clásicas

I

Categoría de sustancia

Estudiaremos con el lector tres conceptos metafísicos, el de sustancia, individuo y causalidad. en punto a su evolución y acomodo a las conveniencias de la física clásica y moderna. Elegimos como términos de comparación y punto de partida de la evolución las determinaciones ónticas de tales conceptos, según la filosofía aristotélica; ya que históricamente de ella tomaron los fundadores de la física clásica, Newton, Descartes, Leibnitz, la base conceptual mínima imprescindible para definir las nociones y leyes más fundamentales. Por esto, al principio de cada noción traeremos solamente las determinaciones más sencillas y básicas, que por haber llegado a ser elementos del ambiente filosófico influyeron sin duda alguna en la formulación teórica y matemática de las leyes primordiales de la física clásica. El estudio que sigue lo confirmará ampliamente. Decimos, determinaciones ónticas, y no metafísicas; pues no será preciso para nuestros fines exponer qué clase de entidades básicas y qué orden entre ellas constituyen el fundamento suprasensible, inexperimentable de tales determinaciones. La evolución física de las tres nociones es invariante frente a cambios de interpretación

metafísica, materia-forma, mónada, sustancias completas sólo unidas por vínculo causal...

Como hace notar delicadamente Heidegger, el concepto helénico de ser y sustancia domina toda la historia del pensamiento filosófico y científico occidental hasta nuestros días. Creemos, pues, justificado nuestro punto de partida filosófico.

La física clásica recibió como concepto de sustancia el aristotélico; por eso partiremos de él como de término de comparación. Dice Aristóteles (Metaphys. lib. VI., cap. III, 1029):

“Ante todo parece ser la sustancia *sujeto primario*.”

“Lo que posee primariamente las afecciones del cuerpo, las acciones, potencias, longitud, amplitud... tal es la sustancia.”

“Parece convenir sobremanera a la sustancia el hallarse separada, y ser algo singular, perfectamente señalable.”

La sustancia posee, pues, estas determinaciones:

- a) Ser sujeto fundamental, permanente, respecto de los cambios.
- b) Poseer una preeminencia real durante ellos, frente a otras entidades cambiables; sus propiedades, sus accidentes.
- c) Ser lo bien separado de los demás; lo singular designable.

Estas determinaciones elementales nos bastan para el estudio del correspondiente concepto en la física.

A) Transformaciones del predicado *permanencia*.

1) Se formula bajo las leyes de conservación. Las principales son: conservación de la energía, conservación de la masa, que valen para todo el universo y para cualquier parte de él que se considere cerrada, es decir, sea un universo en pequeño. Hay otras leyes especiales de conservación; conservación del vector velocidad (un cuerpo sobre el que dejan de actuar fuerzas se moverá indefinidamente en línea recta con velocidad uniforme). Conservación de la cantidad de movimiento, m. v., en los choques y comunicaciones de movimiento. Conservación del momento de rotación.

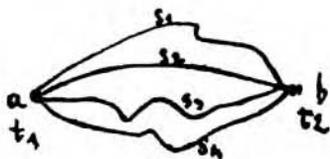
Notemos ya aquí que estas leyes de conservación, en medio de grandes transformaciones y para grandes regiones del universo (vgr., todo él o todo el sistema solar, o tierra más barcos...), no se fundan rigurosamente hablando en una *sustancia metafísica* de tipo aristotélico, compuesta de materia forma y accidentes. Se trata de conservación de una ley. Naturalmente

que con esta ley real, permanente, tendemos a coordinar algo real, metafísico; mas acabamos de ver que no puede ser de tipo aristotélico. Por ahora no tenemos sino una transcripción matemática del predicado permanencia a la cual no podemos señalar una entidad apropiada.

2) El concepto de sustancia, bajo su aspecto de permanencia, admite otra transcripción en la física clásica, la de *constancia*. Notemos que si una magnitud es constante, C , fija, su variación será nula: o sea $\delta(C)=0$. (Recordemos que constante o estacionario son equivalentes casi del todo en física).

Los principios de *constancia* son:

a) El de Hamilton, o de la menor acción: "en el movimiento *real* o proceso físico, frente a los teóricamente posibles, el gasto de energía, es decir, lo que pierde la potencial y gana la actual, o al revés, es una canti-



dad fija, inmutable". Tenemos un principio de selección entre caminos posibles. Hay, pues, hablando a lo metafísico, una entidad que, por ser fija, dirige el proceso de modo que no eche por caminos en que se perdiese la constancia, sino por el único que la guarda.

Con adiciones que no puedo tratar aquí se sigue:

b) El de Hertz: "en el movimiento natural, no sólo hay algo que procura que el gasto energético sea fijo, sino que obliga al proceso a seguir el camino más breve".

Camino no precisamente geométrico, sobre todo si introducimos coordenadas generalizadas.

c) El de Fermat: "En un movimiento o proceso natural (vgr., camino de la luz a través de un medio cualquiera), el tiempo empleado es constante" (ordinariamente un mínimo).

d). El de la mínima constricción de Gauss:

"En todo movimiento real la constricción impuesta a los elementos es mínima". Es decir, una cantidad fija, menor que cualquiera otra de las posibles en las condiciones dadas. Y entiende Gauss por constricción la magnitud que mediría lo que se obliga al proceso a seguir otro camino con diferente aceleración de la que imponen las fuerzas propias del sistema.

Notemos ante todo la diferencia entre permanencia y constancia, o sea entre los principios de conservación y los de mínimo.

En los primeros se trata de una magnitud fija que no podemos comparar con ninguna otra para saber si es mayor o menor, o un intermedio; son principios absolutos. (Como si en el mundo hubiese una sola persona podría contar su dinero, mas no decir que es la más rica, ni hacer comparación ninguna). Tratan de datos primarios y absolutos.

En los segundos tratamos con magnitudes fijas, mas comparables: ordinariamente mínimas (como podemos hablar del número par menor, el 2; del número primo máximo y menor que 10, el 7). Son, pues, siempre magnitudes constantes, mas sometidas a una relación.

Ahora bien; podemos notar en todas estas leyes: a) Un matiz de permanencia. b) de permanencia regulada o verificada en un todo, dentro de un complejo de elementos, entre mil cambios.

Tal permanencia no es tipo sustancial aristotélico; no proviene de la materia primera, pues son permanencias determinadas por ley, y toda determinación procede de la forma. No provienen de la forma; pues las formas por ser las que dan la especie, siendo éstas indivisibles, no pueden sujetarse a un principio de *mínimo*, sino absoluto. El hombre lo es entero; la rosa posee íntegra su forma, no el mínimo de ella.

No pueden, pues, las formas cumplir los principios segundos; mas ni los primeros, o de permanencia absoluta; pues tales principios valen para complejos *accidentales*, según Aristóteles (verbigracia, todo el mundo, que no es según él una sustancia; todo el sistema solar, o un sistema suficientemente aislado); y estos complejos *no* poseen *una* forma sustancial; y es antiaristotélico suponer que un conjunto accidental de formas sustanciales está sometido a una ley de permanencia más fuerte que la misma permanencia sustancial de cada forma.

La física clásica sustituye el concepto de permanencia por los de conservación y mínimo, ambos traducibles matemáticamente. No llega al de invariante, que es el verdadero concepto de *sustancia física*: es decir, el modo particular como ve el físico en cuanto tal la sustancia de lo real. Conservemos esta evolución de la categoría de "sustancia" en física:

- a) Sustancia metafísica (Aristóteles, escolástica).
- b) Conservación — mínimo (física clásica).
- c) Invariante (física moderna).

El progreso de estas nociones podemos formularlo de la siguiente manera:

a) La permanencia bajo cambios, según la metafísica clásica, se apoya sobre la materia y forma unidas; los cambios pertenecen al orden accidental; entre sustancias rigen leyes; mas todas accidentales, dirigidas a regular el movimiento, la posición. (Estadio metafísico-clásico).

b) La permanencia bajo cambios, según la física clásica, se apoya siempre en complejos o grandes conjuntos de cuerpos físicos, o todo el universo; no en individuos, a no ser que estén tan separados que formen universo a parte. La conservación afecta a todo el universo; la constancia a todo el mundo, y a cualquier conjunto particular. El individuo no entra directamente en la ley; y ésta se cumple pasando por encima de ellos (Estadio clásico en física).

c) Con Einstein llegamos a la noción de invariante; los invariantes no son directamente sensibles y cognoscibles en cuanto físicos, entendiendo por físico lo visto por la física en cuanto tal: lo son a través del entramado de coordenadas que nos los presentan, por ejemplo, como $g_{\mu\nu}$, bajo forma de potenciales básicos. Los cambios son estados anormales de defensa; compensaciones para sostener la invariancia básica; tales son las fuerzas ordinarias. Llegamos a un aspecto semimetafísico de la sustancia; la sustancia del mundo es de algún modo invisible; el invariante básico sólo se nos manifiesta como físico al vestirlo de las categorías de orden, de las coordenadas. Según Einstein el invariante posee todas sus determinaciones fundamentales en el estado normal; lo que llamamos manifestaciones accidentales son exteriorizaciones anormales (fuerza y sus efectos). La realidad física en sí, imperturbada, no es sensible. Los accidentes no son manifestaciones de la sustancia; son defensas de la sustancialidad; por eso poseen realidad efímera, transitoria, como el dolor de un golpe; cuando según la metafísica son la última perfección de la sustancia; por tanto durables en su mayoría. De consiguiente lo sensible no es accidente; si hay accidentes, los podrá haber en el mismo estado de invariante, mas serán de otra estructura que las apariencias sensibles; éstas son defensas, reacciones transitorias de la sustancia invisible.

Según Einstein,

sustancia física = invariante invisible;

sustancia fenoménica = invariante manifestado en $g_{\mu\nu}$ y $\frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x_\tau}$ visibles;

accidentes o fenómenos = $\frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x_\tau}$, $g_{\mu\nu}$, $\gamma_{\mu\nu}$ visibles.

Veamos la evolución de la segunda propiedad de la sustancia; ser sujeto de accidentes o cambios.

B)

Metafísica: Los accidentes no pueden existir sin el sujeto sustancial.

Física clásica: la masa es el sujeto propio de las propiedades físicas que en ella se encuentran estrictamente localizadas; la energía es una propiedad de la masa, $\frac{1}{2} m \cdot v^2$; el movimiento se apoya en la masa, $F = m \cdot a$; el calor supone un cuerpo de cuyos coeficientes de capacidad calorífica participa...

La sustancia física es pues, bastante perfectamente sujeto. La crisis comienza al introducir leyes que afectan al todo y que someten a sí las partes; vgr., conservación de la energía, para las cuales no se halla sujeto directo. Porque si para una fuerza de atracción (sol-tierra) exige la física clásica un sujeto propio, ¿cuánto más habría de pedirlo para una ley que si fuese menester destruiría el sol, o una masa mayor, cambiaría su órbita, y que se cumple simultáneamente en todo el universo?

Física moderna: no hay más sustancia ni sujeto de tipo individual que el invariante básico (o los invariantes que haya). No existen accidentes estrictamente tales; en el estado anormal aparecen entidades fenoménicas (fuerzas, cuantos de luz, electricidad, calor...) que poseen mayor independencia que los accidentes clásicos; pero menor que la sustancia básica. Veremos su estructura.

Las grandes leyes de conservación se apoyan en los invariantes básicos. Ello hace posible la equivalencia de materia

y energía (que no son sino dos manifestaciones suyas), y las leyes de mínimo. Acostumbrémonos a mirar el movimiento, las fuerzas, como anomalías del universo y estos principios se nos harán naturales.

La preeminencia de la sustancia sobre los accidentes:

a) Se conserva rígida en la metafísica; es una relación asimétrica.

b) En la física clásica predomina todavía la masa, la materia, sobre la energía.

c) En la moderna; equivalen perfectamente materia y energía; ambas poseen estructura relativamente independiente: "forma de cuanto o mínimo". Los antiguos ejemplos de accidentes, sonido, color, calor... son ya medio sustancias; son cuantos, átomos, mínimos.

Los cambios sustanciales antiguos no son tales. En ellos el único invariante supremo, era la materia primera, que no puede dar ley *positiva*. Los accidentes se han independizado.

C)

La sustancia ha de ser metafísicamente *individual*. Vamos a ver qué transformaciones sufre esta noción en la física.

Otro ataque al concepto clásico, mejor, a la aplicación de la categoría "sustancia" a lo físico, viene del concepto de "campo" del que trataré inmediatamente.

II

Transformación de la categoría "individuo" en la física

1) *Metafísica*. Las determinaciones ónticas más elementales del individuo según la metafísica clásica son:

- a) *Indivisum in se*; indivisión interna.
- b) *Divisum ab alio*; separación de los demás.
- c) Individualidad accidental, es decir, tratándose de un individuo material, cantidad, lugar y tiempo, indivisa in se, divisa ab alio. O sea: colocación actual y determinada en tiempo y espacio, propia de cada individuo.
- d) Todo individuo posee una esencia, es decir, un conjunto de determinaciones con orden y subordinación. No se da el individuo *montón*. Todo individuo es una unidad, dominando y ordenando una pluralidad; basta saber de algo que es "montón", para poder concluir que son muchos individuos.

Es preciso determinar la clase y estructura de las notas que constituyen un individuo como tal. Todo individuo debe poseer al menos una determinación en que sea indivisible y esté separado de los demás; de modo que la división o junta con otro destruya la entidad. No puede ser, por tanto, de tipo genérico, específico; y menos, transcendental (en sentido clásico). Hay que saber más en concreto la esencia de tal determinación individual. Y aquí, para no entrar en detalles metafísicos, hay que notar tres maneras radicalmente diversas de ser individuo: a) por determinación proveniente de un principio material; b) por un principio formal; c) por hacerse un ser su propia originalidad.

Al tipo a) de individualización pertenece la opinión clásica de ser "principio de individualización" la materia *signata quantitate*.¹ El individuo es desde el primer momento, algo *hecho* (cosa), aunque la raíz, el principio, de que procede la individualización no sea todo el ser sino una parte de él; la materia primera señalada por la cantidad. Y la cantidad es lo que por esencia (y no por casualidad) posee muchas partes, exactamente iguales entre sí, capaces por la acción divisora de existir separadamente sin cambiar de esencia, separadas y con unidad interna. Tal es la definición aristotélica de cantidad. Lo fundamental aquí son dos cosas: aa) el individuo es algo *hecho* desde el primer momento (es una cosa); bb) se constituye tal por un principio no formal, no específico, no integrante de la definición.

Así que en rigor todos los individuos constituídos de esta manera son intercambiables; no poseen originalidad ninguna!

no tienen destino propio; individuarse no es algo que uno pueda tener solitariamente; individualizarse es coindividualizarse.

El tipo b) de individualización supone que cada individuo posee su "haecceitas"; que ser individuo incluye una determinación perteneciente al orden de las especificaciones, de la forma; se puede hablar de individuo solitario. Ser individuo es algo que uno puede tener para uso propio, en sí; aunque fueran imposibles los demás seres. Individualizarse no es coindividualizarse. En el orden total del universo cada individuo puede tener su puesto original. Tal es el sentido profundo del "individualizarse por sí mismo" (Escoto, Suárez, Leibnitz). Mas todavía el individuo es "cosa"; algo totalmente *hecho* desde el primer momento. Para que uno pueda concebir, sin protesta interna, que el individuo humano es un individuo-cosa es preciso que suponga en el terreno metafísico la preeminencia del modo de ser "realidad" sobre el de "posibilidad": del "ser" sobre el "hacer". Desde otro punto de vista (filosofía de la vida): sólo puede contentarse un filósofo con el tipo anterior de individuo para todas las clases de ser si el hombre no "vive" sino que "convive" con las "cosas", capturado, proyectado por y hacia ellas.

Vamos a ver que en la física no tiene sentido hablar de *un* electrón, de *un* protón, de *un* cuanto... porque aquí el ser *uno* sólo es posible si existen de vez *muchos*.

Mas si suponemos que existen individuos con originalidad, entonces ~~todo~~ todo individuo es no sólo *uno* (indivisum in se, divisum ab aliis), sino *único*.

Notemos, por fin, que el hombre no es una cosa, ni siquiera una cosa original, aunque tenga aspectos de cosa y de cosa original, provenientes de la posesión de materia. Su originalidad en cuanto hombre es de otro tipo; no viene a la existencia hecho ya individuo humano, como viene hecho cosa original; debe hacerse y para ello en él es un modo superior de ser la posibilidad real a la realidad; puede realizarse de muchas maneras, más o menos auténticas, o dejarse individuar totalmente como cosa. Así que el individuo humano es *uno*, *único* y puede ser *auténtico*. Este último aspecto sólo se puede apreciar en determinada época histórica (desde Kant hacia nosotros). Conviendría, pues, disponer al menos de dos términos: uno para los

individuos de tipo cosa (con o sin originalidad) y otro para los individuos auténticos. Aquí usaré para el primer tipo del término "singular"; reservando para el segundo el de "individuo". En lo físico no se dan, según esta terminología, individuos; se dan singulares; y su intercambiabilidad, su coindividualidad, se presta a un tratamiento por el cálculo de probabilidades (física cuántica). En cambio, en la física clásica, el individuo físico poseía (creían los antiguos que poseía) originalidad; por eso podía ser tratado funcionalmente; ya que en una función los elementos (números) no son intercambiables.

Además, hay que introducir la noción de suprasingular; si hablar de *un* singular no tiene sentido, hay que hacerlo en plural; y este plural no es una pura suma de singulares, cada uno *uno*, sino algo real, colectivo. Esto significa que ningún singular puede poseer todas sus notas "singularizadas", de modo que hagan de él una mónada; algo totalmente *entre* sí y para sí. Con otras palabras; un singular existe siempre en una circunstancia. La circunstancia de *un* singular no es *su* circunstancia; lo es esencialmente de todos los consingulares que se hacen mutuamente posibles en su unidad por la coexistencia plural. Así que circunstancia significa aquella manera de ser no singular que es condición de posibilidad para que algo sea singular, sin llegar a ser individuo. Llamo a tal tipo de ser "suprasingular". Y creo que corresponde al fondo metafísico del concepto de campo, sistema de ondas... De nuevo hemos de distinguir diversos tipos de circunstancias según que los seres sean singulares o no; vgr., circunstancia de tipo campo (para singulares físicos), de tipo ambiente (para los vivos), de tipo mundo (para el hombre).

Y resulta ahora que habríamos de introducir un nuevo par de nociones en vez de la única de substancia, ya que la nota "individualidad" es esencial para el concepto de substancia; lo mismo para la noción de accidente. A fin de no complicar la tesis, que es un sencillo ensayo, hablaremos de sustancias imperfectas, sustancias físicas (referidas a singulares o campos) y de accidentes físicos, en cuanto determinaciones accidentales de singulares.

Y así llamaremos sustancia física perfecta al ser físico que sea singular; y sustancia física imperfecta, al de tipo suprasingular, en espera de una terminología mejor.

No es preciso advertir que entre singular e individuo, entre suprasingular o circunstancia de tipo campo, ambiente, mundo, no existe sino analogía de proporcionalidad.

Por fin, las nociones de singular, individuo y circunstancia de tipo campo, me han sido sugeridas por Ortega y Heidegger. Sin que con ello pretenda atribuirles tal manera de pensar.

2) *Física clásica.* Para la materia (masa) conserva la física clásica todas estas determinaciones. Bajo su guía más o menos consciente se llega al concepto técnico de átomo (primeras teorías de Rutherford y Bohr) y al concepto clásico de electrón (Lorentz). Todos estos elementos poseen un cierto grado de indivisión, que los hace una unidad resistente. El electrón, sobre todo, goza de la mayor indivisión en las teorías clásicas. Esta noción de singular adquiere en astronomía un matiz muy significativo. Los cuerpos celestes son tratados como *puntos matemáticos* en que se hubiese solificado o condensado toda la masa; por tanto son singularidades sumas. Un criterio para saber qué objetos trata la física clásica como *singulares* es el siguiente: "mirar qué magnitudes considera como puntos matemáticos en las fórmulas, o al menos como constantes determinadas".

Si miramos ahora el polo opuesto al singular, bajo el aspecto de separación, hallamos el de campo (campo gravitatorio, eléctrico, magnético...). Nunca puede ser tratado como un punto. No goza ni por vía de aproximación de la indivisibilidad suma, de la unidad interna máxima de tal ente matemático. Todo campo es de estructura mundial, sin fronteras; en la física clásica no posee condiciones en el límite.

La división o separación de los demás es otra determinación óptica del individuo; la física clásica la acepta y la aplica a la materia y sus diversos tipos de mínimos. Mas pone una unión muy íntima entre campo y cuerpo; el cuerpo (astronómico, atómico) es una *singularidad*; o sea, un punto donde las leyes matemáticas (ecuaciones diferenciales) adoptan una forma original, y, en rigor, dejan de valer por tomar valores infinitos, intratables físicamente.

Al pasar la superficie de un cuerpo celeste las ecuaciones diferenciales sufren un cambio y al llegar al centro, una transformación radical. Si $\text{Div}\varphi = 0$ vale entre cuerpos celestes, en el espacio intermedio, o sea, cuando no se da ninguna fuente de gravitación; al llegar a la superficie de un cuerpo y pasarla, tenemos, $\text{Div}\varphi = -4\pi\rho$

Es decir, la física clásica puede notar cuándo y dónde hay un singular; dónde cesa el campo, lo suprasingular, y comienza lo singular.

Al derredor del átomo y sus partes sucede lo mismo; hay lo que se llaman trincheras de potencial. Allí cesan de valer las leyes ordinarias.

Tenemos, pues, que respecto de muchos objetos físicos, llamémoslos materia, la física clásica emplea las determinaciones “*individuum in se, divisum ab alio*”; admite la realidad de singulares. Para los entes “campo” ambas determinaciones se desdibujan un poco.

La tercera nota de un singular material, lugar y tiempo, digamos, posesión de coordenadas singulares, es mantenida íntegramente por la física clásica. El empleo de funciones continuas exige que cada elemento tenga su lugar; univocidad espacio-temporal. Las coordenadas poseen perfecta la función topológica, ordenan perfectamente; en cada momento (infinitesimal) cada cosa está en un solo y propio lugar.

Por último, en punto a estructura interna la física clásica renuncia a ella, mientras la trate como punto matemático. El campo posee siempre estructura; las líneas de fuerza o de caída del potencial.

Podemos afirmar en conjunto. La física clásica admite y emplea todas las determinaciones ópticas del concepto de singular material. Mas para conseguirlo, tiene que atribuir estructura de elemento infinitesimal, de punto matemático, a entidades finitas; así consigue una indivisión, separación, colocación perfecta espacio-temporal. Pierde en cambio la posibilidad de saber la estructura interna de tales singulares *demasiadamente tales*. El singular finito es para ella un problema insoluble.

3) *La física moderna*. (Heisenberg, Born, Jordan). Consigue definir—*físicamente*—el singular *finito*, su estructura. Mas perdiendo la perfecta localización espacio-temporal. La noción o transcripción del “singular” como punto material desaparece. La física moderna no quiere tratos con infinitamente pequeños; quiere mantenerse en lo finito.

El singular físico es un cuanto; es decir, un *mínimo*: cuya provisión mínima y propia de una determinación (energía, masa...) puede ser fijada adecuadamente. Todo lo físico, menos los campos, posee estructura singular cuántica; lo mismo la energía que el cuerpo material. Se da en el universo una ley por la que tiende a aumentar el número de singulares; la entropía.

La física ha encontrado un cierto número de cuantos, de mínimos, singulares absolutamente indivisibles, respecto de las le-

yes físicas actuales. Para perfilar este concepto notemos, que no toda constante determinada es un cuanto; un singular. Así la aceleración del campo gravitatorio es 9'81 m/sec: lo que no quiere decir que cada 9'81 m. se corte la aceleración; se produzca un mínimo, algo así como un singular, y después sobrevenga otro. Ni el número de Loschmidt quiere decir que un gas se divida o se halle naturalmente dividido en tantos compartimientos sueltos cuantas veces contenga la constante $6'06 \cdot 10^{23}$.

Para un singular finito o cuanto, se requiere: a) magnitud constante determinada o finita; no puede ser una cantidad variable o función, o una constante indeterminada; b) magnitud mínima; esto es, que o se pone de vez, o una magnitud inferior es físicamente irrealizable. Así es un verdadero singular físico la constante o cuanto de Planck

$h = 6'55 \cdot 10^{-27}$ erg. sec.; y

$e = 4'79 \cdot 10^{-11}$ unidades electrostáticas; cuanto elemental de electricidad.

$m_H = 1'66 \cdot 10^{-24}$ gr: masa del H.;

$m_e = 8'99 \cdot 10^{-28}$ gr: masa del electrón.

Mas si hemos conseguido, frente a la física clásica, hallar experimental y teóricamente las determinaciones de un singular físico, a saber, estructura, indivisión, separación, hemos perdido la característica de coordinación singular con el espacio y el tiempo; un dato u otro nos fallará por necesidad, si queremos, localizar perfectamente al singular físico.

Resultan, pues, incompatibles "*coordinación espacio-temporal perfecta*" y "*singularidad finita*". La física clásica prefiere la primera y se queda sin la segunda; la física moderna que prefiere la segunda tiene que renunciar a la primera. ¿De dónde provendrá esta incompatibilidad?

Complementos. 1) La física moderna sostiene la anterior incompatibilidad en el dominio cuántico. Mas admite, y se sigue de la teoría, que la indeterminación va desapareciendo al subir a cuerpos de mayores dimensiones. Así, para los cuerpos astronómicos es casi nula; y por tanto podemos casi exactamente fijar su posición en cada momento y calcularla para cualquier futuro. O sea, las categorías ordenadoras, espacio-tiempo, informan tanto mejor lo físico cuanto los cuerpos sean mayores; son categorías macroscópicas. La física clásica no supo distinguir ambas clases; y menos aún la metafísica o cosmología clásica. La colocación unívoca en el espacio y en el tiempo eran categorías accidentales, mas necesarias.

2) La noción de campo queda de modo semejante al clásico; posee estructura dada por vectores y localización perfecta. Mas escasa singularidad y separación. Con Einstein el campo llega a ser entidad primaria frente a las fuerzas y movimientos. Esto trae consigo otros puntos que trataré más tarde.

3) Si relacionamos ahora el concepto de sustancia y el de singular podremos concluir que sólo los cuantos o mínimos son sustancia perfecta, desde el punto de vista de la singularidad; el campo no es sustancia perfecta bajo este aspecto.

Mas se da un contrapeso interesante:

Entre campo y manifestaciones de campo (fuerzas gravitatorias, eléctricas...) se da una subordinación *semejante* a la accidental respecto de la sustancia; una jerarquía. En cambio entre singular finito (cuanto) y cualquier otra entidad física que pudiera parecer propiedad, no se da tal subordinación real. En otra forma; el singular físico no posee accidentes físicos; el campo, singular imperfecto, los tiene.

Parecen, pues, incompatibles:

ser singular perfecto y poseer accidentes físicos;
ser singular perfecto y sustancia perfecta física.

Recordemos algunos detalles. Campo y fuerzas se unen como estado normal, invariante, y manifestaciones anormales, defensivas del invariante. La fuerza real no posee entidad independiente (Einstein contra Newton); parece, pues, un accidente. A la vez, el campo por su inmensidad (según las ecuaciones de la física clásica es infinito; es producido así por cualquier elemento por pequeño que sea) no puede ser tratado como un singular finito perfecto, bien determinado. Tenemos, pues: *una sustancia física imperfecta posee accidentes físicos perfectos.*

La energía, en sus mil variadas manifestaciones (calor, electricidad, luz...), parece una propiedad de la materia, y así la trata la física clásica; con todo sabemos que cada energía posee una masa; no es, pues, propiedad de nadie, y además posee estructura singular perfecta. Un cuanto de una especie se cambiará por manera extraña, a estudiar, en otro cuanto de otra, sin residuo. Mas nunca será su propiedad, accidente, cosa subordinada. Así el calor no será propiedad de una sustancia; si se halla en ella intrínsecamente, se encontrará bajo forma de masa, de sustancia; y si queremos que adopte forma propia, de calor, se nos volverá cuanto de radiación, es decir, singularidad independiente que puede recorrer todo el universo.

De consiguiente: *un singular físico no posee accidentes físicos.*

Una sustancia física perfecta no posee accidentes físicos. Más aún; poseer accidentes, entidades realmente distintas mas

subordinadas esencialmente, no es cosa normal, habitual; es algo anormal y que sólo se da en sustancias imperfectas que tengan por base un invariante.

Esta independencia de los cuantos frente a los campos, con forma propia de defenderla, la cuántica, es bien notable en la electricidad. El campo es de estructura continua; los vectores E, H (eléctrico y magnético) se hallan infinitesimalmente localizados. En cambio, la energía electromagnética $\eta = \frac{1}{8\pi} (E^2 + H^2)$, se halla condensada en granos, en cuantos y no posee localización perfecta. Mas puede correr libremente, en chorros y rayos, siguiendo la dirección del vector de Poynting

$$S = \frac{e}{4\pi} [\mathbf{E} \cdot \mathbf{H}]$$

Podemos dar ahora de este fenómeno una explicación; mejor, una indicación a comprobar.

El singular físico (cuanto) es demasiado débil para poseer propiedades; para subordinar a sí otros seres y hacerlos entrar en su órbita entitativa.

La entidad monista "campo" es suficientemente poderosa para poseer, darse y reabsorber sus accidentes físicos.

Si se da un fundamento monista del universo *físico* habrá de ser necesariamente poco o nada singular; mas por esto mismo podrá poseer entidades secundarias, realmente distintas y subordinadas. Si quiere singularizarse, los accidentes se le escaparán bajo forma de singulares perfectos y quedará reducido a una entidad uniforme y descolorida.

Monismo físico es incompatible con singularidad física

Nos hallamos, pues, ante un conjunto de nociones subordinadas: lo físico en sí que se nos descubre a través de los experimentos, obra como seleccionador de las determinaciones de la categoría individuo, hasta formarse la subcategoría, la forma

regional de la categoría “individuo” propia de lo físico, en cuanto realidad irreductible y original; a saber, la de *singular*.

III

Transformación de la categoría causalidad en la física

Metafísica. Las determinaciones ordinarias del concepto de causalidad son las siguientes:

- a) Relación entre dos individuos perfectos; asimétrica y biunívoca.
- b) Relación inserta en el tiempo; a saber, intermediación con sucesión.
- c) Una cierta comunicación de entidad, algo nuevo, en cuyo nacimiento colabora íntimamente la causa.

Las determinaciones primera y segunda son de carácter relacional; la tercera de carácter metafísico estricto.

Ampliación

La causalidad es una relación, no una propiedad que pueda hallarse perfecta en un solo individuo. Es una determinación relativa; no, absoluta. Según la filosofía, tal determinación conviene al individuo perfecto; sigue al ser enteramente constituido, “operari sequitur esse”, y propiamente sólo son causa las sustancias.

La relación de causalidad es asimétrica; pues aunque la causa es inconcebible sin el efecto e inversamente, la preeminencia está por la causa; y bajo el aspecto de dependencia el efecto depende realmente de la causa; y no al revés. La causa, pues, en cuanto ser, es independiente del efecto. En cambio, el efecto en su ser de efecto depende esencialmente de la causa. En rigor, pues, no hay sino una relación real, directa real, la del efecto hacia la causa (relación asimétrica); la inversa es irreal; es un movimiento con que completa la mente el proceso; es una relación de razón.

Es además, una relación biunívoca; quiere decir, que a una causa singular, en estas circunstancias, sólo puede corresponder este efecto. Y

al revés, un efecto bien individualizado sólo puede provenir de una causa. Es relación de uno a uno; como la de "doble que" o "la de intermediación". Parece, a primera vista, y lo decimos a veces, que un efecto (vgr., la rotura de un cristal) puede provenir de muchas causas (vgr., un tiro, una pedrada, un golpe de martillo...); mas si examinamos todos los detalles individualizadores del efecto, veremos que la causa no pudo ser más que una. Ella y no otra ha podido producirlo.

Por tanto, no existen en rigor cadenas causales; series indefinidas de causa-efectos. Si A produce a B, hemos de decir que de suyo A en cuanto totalmente individualizado (escribamos entonces $[A]_1$) produce a $[B]_1$ y sólo a $[B]_1$; $[A]_1 \rightarrow [B]_1$. Aquí se ha cerrado la cadena causal; mientras A permanezca igual a $[A]_1$, es decir, no cambie alguna circunstancia individualizadora, no podrá producir un nuevo efecto. Y lo mismo $[B]_1$ no podrá ser causa, mientras quede igual a $[B]_1$. Si A cambia o se hace igual a $[A]_2$ podrá producir un solo y nuevo efecto $[B]_2$; y si B cambia y se hace $[B]_2$ podrá a su vez ser causa de un único y propio efecto suyo $[C]_1$, etc. Todo se sigue de la individualidad y biunivocidad de la relación causal.

Tendremos que en el momento t_1 el universo será de la forma,

$[A]_1 \rightarrow [B]_1$; $[a]_1 \rightarrow [\beta]_1$; $[a]_1 \rightarrow [b]_1, \dots$, es decir, integrado por pares sueltos, por parejas dinámicas: Imagen atómica del universo que debe infundirnos sospechas.

En el momento t_2

$[A]_2 \rightarrow [B]_2$; $[a]_2 \rightarrow [\beta]_2$; $[a]_2 \rightarrow [b]_2, \dots$
 $[B]_1 \rightarrow [C]_1$; $[\beta]_1 \rightarrow [\gamma]_1$; $[b]_1 \rightarrow [c]_1$; etc., etc.

el universo se complica, aumenta el número de parejas sueltas, mas no la unión. Si esto fuese verdad, la causalidad no sería una ley de unión general, sino de apareamiento. En rigor, la propiedad de biunivocidad, "a cada causa, su efecto", y, "a cada efecto su causa", se sigue sin más que exigir lógica y perentoriamente que toda causa sea un individuo perfecto, absolutamente individualizado. bajo todos los aspectos, pues en este caso lo serán su acción productora y todas las relaciones; y sólo las relaciones biunívocas son individualizadas. Las demás van de uno a muchos o de muchos a uno, de una unidad a pluralidad. Ya podemos prever, después de lo que dijimos del concepto de sustancia e individuo, que será preciso reformar la fórmula tradicional de causalidad.

Además, la relación de causalidad se inserta en el tiempo; es por de pronto una intermediación que se convierte en sucesión. Es claro que la causa no es tal sino *mientras causa* y el efecto no es tal sino *mientras está siendo causado*: es decir, causa y efecto como tales deben coexistir; simultaneidad de presencia. Se causa en el *presente*; tal es la localización propia del par causa-efecto en el tiempo. Otras relaciones interentitativas se localizan diversamente. Por ejemplo, la semejanza; puede ser semejante una cosa presente a otra pasada. Mas no se puede ser causa de una cosa pasada; ni una pasada, de otra presente.

Si el ser se define en orden al tiempo por su localización, digamos por su coordinación con el modo *presente*, *óv*, *el que ahora* es, el ser-*causa* es un modo de ser igualmente localizado en el presente; o sea, es un modo o modificación del ser en cuanto ser. Es, pues, muy natural que a la noción de causa-efecto, le busquemos raíces en la de sustancia (*ούστα* = ser por excelencia). θ individuo o ser afirmado, delimitado, totalmente hecho. Mas no es la relación de causalidad una pura coexistencia, sino tal que se resuelve necesariamente en sucesión temporal. El efecto en cuanto individualidad total nueva es posterior inmediatamente a la causa en cuanto individualidad perfecta. En efecto; la causa para que cause ha de ser, en el aspecto en que es causa, individualidad perfecta; de lo contrario no podría causar en aquel aspecto en que fuera deficiente. Empero mientras causa, el efecto no es perfecto, pues se va haciendo. Y en el instante en que el efecto adquiriera individualidad perfecta, ya deja de ser efecto. Luego, la causa precede temporalmente al efecto considerados ambos como individualidades terminadas. La unión o tiempo de presencia mutua se hace y determina por la causa en cuanto individualidad perfecta y por el efecto mientras se va haciendo su individualidad perfecta. Comparemos con la relación de semejanza y veremos que una vez alcanzada no degenera en sucesión; lo semejante ahora puede ser semejante después; lo ahora causa-efecto no lo será inmediatamente de terminada la causalidad.

Podemos, además, inferir:

La causalidad termina en la multiplicación de individuos; es productora necesaria de pluralidad individual.

La causalidad estricta es una relación entre seres, anclada necesariamente en el presente. Otras relaciones son desplazables en el tiempo, vgr., la de semejanza, la de amigo. De todas las relaciones que entran en la física podemos poner la cuestión, ónticamente básica, de si poseen un anclamiento esencial en el tiempo, en alguno de sus modos.

De aquí podemos sacar una consecuencia importantísima y es que: *La causalidad es el motor que hace correr el tiempo; la que deshace un presente en sucesión necesaria.*

Es decir, la causalidad hace posible el tiempo. Por eso es el tiempo dentro de la física clásica, un accidente; una categoría secundaria, emanante de la sustancia individual.

Veremos que esto es un prejuicio clásico, riquísimo en consecuencias fatales para la física y para la independencia de la esfera física. Einstein lo elimina; Reichenbach lo restablece.

Si la física teórica, aun la clásica, se hubiese montado directamente sobre la idea de tiempo como accidente, sería inex-

plicable la fecundidad inmensa de tratar el tiempo como la suprema variable independiente, casi única, en física.

Otra idea metafísica clásica que ha influido siniestramente en física es la siguiente:

El tiempo, en su realidad, se funde con el movimiento; todo movimiento (cualitativo o no) se funda en la cantidad y extensión; el tiempo, por tanto, depende esencialmente de la extensión. Lo que equivale a hacerlo depender del espacio. *Tenemos una geometrización del tiempo.*

Toda la evolución de la teoría del tiempo a lo largo de la física consistirá en rescatar el tiempo de las manos de la causalidad y de las del espacio.

La determinación tercera, la producción de algo nuevo, el nexo entitativo entre efecto y causa, es el elemento más rebelde filosóficamente; como no hará falta su explicación para las finalidades inmediatas de este trabajo, me contento con indicar los presupuestos metafísicos que incluye:

a) Varios seres individualmente distintos, incomunicables en su individualidad, a_1 , a_2 , a_3 ...; pues causar no es crear.

b) Tienen, además de propiedades individuales, incomunicables absolutamente, otras sólo individualizadas (genéricas, específicas).

c) Las individuales no pueden ser causa; pues de serlo producirían otra vez el mismo individuo (contradicción). Las otras, deben ser causa; son comunicables por estructura. Hay, pues, en ellas una como contradicción interna. Por ser individuadas son del sujeto; por no ser individuales, tienden a ser de otro totalmente.

d) Mientras no se ponen las condiciones externas esta contradicción queda como tensión metafísica causal.

e) Apenas se ponen, el principio de contradicción la resuelve produciéndose un nuevo ser que dice con el anterior dos relaciones: una de igualdad; otra, asimétrica, intransitiva, doble y biunívoca. El nuevo ser se llama efecto; el otro, causa. Un mismo efecto nunca puede proceder de dos causas iguales, pues no hay dos individuos iguales y las propiedades causantes se hallan siempre individuadas.

Con esto queda explicado en sus líneas o determinaciones

básicas el principio de causalidad. Vamos a ver qué retoques ha introducido en él la física clásica y luego la moderna.

El principio de causalidad en la física clásica

De estas determinaciones de la categoría relacional causa-efecto los físicos tomaron inconscientemente unas y dejaron o cambiaron otras.

La física clásica (Newton, Hertz, Helmholtz) exige para la causalidad:

a) Un par de individuos perfectos, aun en cuanto a la localización espacio-temporal. Con ello suponían que en el mismo dominio atómico regía causalidad perfecta.

b) La relación causal se insertaba en el tiempo, sin precisar quién poseía la precedencia.

c) En la causalidad se da la comunicación de algo; vgr., cantidad de movimiento, energía...; sin bajar a más detalles.

La física clásica no admite:

a) Que la relación causal sea unilateral, desde el punto de vista real, es decir, sólo real de efecto a causa. Según el principio de acción y reacción a toda acción causal responde una reacción causal igual a la primera. "Lex III. Actioni contrariam semper et aequalem esse reactionem; sive corporum duorum actiones in se mutuo semper aequales esse et in partes contrarias dirigi". Naturalmente que hay que considerar un sistema de cuerpos sometido a las fuerzas internas del sistema. Por tanto vale seguramente para el universo como tal.

La relación causal es bilateral-real. De manera que podemos afirmar:

*No se da causa sin efecto,
ni efecto sin causa.*

Como prueba la mecánica, de aquí se sigue para tal sistema que la cantidad de movimiento es constante. Es decir: si la relación causal es bilateral-real, se da un principio de conservación: causa y efecto en su acción

y reacción total se equilibran; son estados transitorios para el equilibrio o constancia total. De aquí a afirmar que las fuerzas son entidades secundarias en el cosmos no hay sino un paso que no se dará hasta Einstein.

b) La relación causal no es biunívoca; no corresponde a *esta causa este* efecto e inversamente, sino que a una misma causa pueden corresponder muchos efectos y un efecto provenir de muchas causas.

Es decir, se dan series y cadenas causales; no pares sueltos. Tenemos un cosmos. Un cosmos con bifurcaciones, trifurcaciones... El proceso cósmico puede echar por muchos caminos; sólo está sujeto a las condiciones del conjunto, a las leyes de conservación o constancia.

Aquí tropezamos con una falla del principio de la "individualidad", en punto tan fundamental como las relaciones causales. La física clásica no reparó en ello.

El método de los corrimientos virtuales, la aplicación del cálculo de las variaciones en la física, procedimientos ambos fecundísimos, presupone esta propiedad del devenir cósmico. Quede, pues, como una sospecha metafísica la infecundidad de suponer biunívoca la relación causal.

Notemos, además, que es abrir una puerta al indeterminismo; la causalidad no ata totalmente a esta causa con este efecto, ni inversamente. Por fin, si la biunivocidad se seguía de suponer individualidad perfecta en el efecto y la causa, hemos de concluir que la física clásica no la admitía en firme; mejor, que empleaba una noción vaga de individuo, no individuado en todo.

c) Las relaciones entre causalidad y tiempo en la física teórica clásica son muy instructivas. Al tiempo atribuía Newton una realidad propia e independiente: "el tiempo absoluto, verdadero, matemático, fluye en sí, y en fuerza de su naturaleza, uniformemente y sin relación alguna a ningún objeto".

El tiempo relativo se obtenía por comparación de las duraciones de cuerpos determinados (sol, luna, estrellas, péndulo...) con este tiempo absoluto, uniforme... Es decir, el tiempo absoluto, en sí, no intervenía para nada en el proceso cósmico; sólo como término de comparación, como sistema de referencia.

El tiempo relativo, la sucesión encarnada en los cuerpos reales y sometida a una relación ideal de comparación, era el tiempo interno al cos-

mos, a la esfera de lo evolutivo. Hallo aquí una reminiscencia de los dos orbes clásicos, el estelar, inmutable, absoluto, sin intervención en el sub-lunar, mudable, variado, relativo. De este doble uso del tiempo, uno como ideal, otro como real, y que debe ser referido al primero y acercarse a él en lo posible (construcción de aparatos con movimiento uniforme o período regular) proviene la ambigüedad de mil cosas en la física clásica. El tiempo hace siempre de variable independiente suprema; aquí domina el tiempo absoluto y parece independiente de las causas, de las fuerzas, fluye en sí, sin relación a nada ni a nadie. Mas por otra parte, las fuerzas cambian el ritmo de los cuerpos en movimiento, convirtiéndolo en acelerado. Si no hacemos la comparación o referencia al sistema del tiempo absoluto, habríamos de afirmar que el tiempo se acelera; en menos tiempo, hablando vulgarmente, se recorre más espacio. Empero parece que sentimos repugnancia instintiva a acelerar el tiempo, preferimos que siga su ritmo uniforme, llenándolo con más cosas, o con menos.

Newton afirma que el tiempo absoluto corre sin preocuparse del tiempo relativo; ni de objeto alguno. Mas no vale la inversa, los fenómenos naturales se rigen por la ley de Fermat: "entre todos los procesos que se realizan entre dos puntos del universo, aquél pasa a real que emplea menos tiempo"; *menor*, medido, naturalmente, por relación al tiempo uniforme, absoluto. ¿Cómo es esto concebible sin alguna influencia del tiempo absoluto? ¿O nos hallamos ante una armonía preestablecida?

Concluamos según la física clásica que el tiempo absoluto no posee ninguna relación a la categoría "causalidad". El tiempo relativo depende de las causas, de las fuerzas. Mas por una relación misteriosa no causal, el tiempo relativo ha de ser el mínimo dentro de todo proceso natural, "mínimo entendido por relación al tiempo absoluto". La causalidad hace correr el tiempo relativo.

d) Entre el tiempo relativo y las causas (fuerzas) se da una relación de simultaneidad; la aparición del efecto, aceleración es simultánea con la presencia de la causa; de ahí que

$$\text{valga la igualdad, } m \frac{d^2q}{dt^2} = Q:$$

La coincidencia es infinitesimal; es, pues, intermediación, presencia temporal mutua entre fuerza Q , y aceleración $\frac{d^2q}{dt^2}$ de la masa m .

Las relaciones entre causalidad y tiempo en la física newtoniana no son claras; las determinaciones atribuidas a la causalidad no son todas coherentes. Es, pues, imposible definir qué es causalidad física dentro de los moldes clásicos.

El principio de causalidad en la física moderna

Las transformaciones que la física moderna (Heisenberg, Schrödinger, Bohr, Broglie...) introduce en las determinaciones del principio de causalidad señaladas por la filosofía, se siguen inmediatamente de las que impuso a los conceptos de sustancia e individuo.

Sabemos que una sustancia física perfecta no posee accidentes; y al revés, que una sustancia física imperfecta posee en estado anormal accidentes. La perfección o imperfección se miden por la posesión de singularidad perfecta. De aquí podemos deducir inmediatamente:

a) Las relaciones entre causa y efecto, cuando la causa es un accidente (vgr., fuerzas gravitatorias, electromagnéticas...) provienen de una sustancia imperfectamente singular, de un campo, de un invariante básico. En este caso, no es la causa así llamada (vgr., una fuerza), causa metafísica, entifactiva, del llamado efecto; sino que ambos son accidentes físicos correlacionados, manifestaciones complementarias del invariante primitivo. Se han entre sí como desequilibrio y compensación. Estos conceptos son los que hay que sustituir a los de causa-efecto. Este nuevo par de conceptos, "*causa=manifestación característica de un desequilibrio del invariante*", "*efecto=manifestación característica de la compensación del invariante*" se coordinan siempre entre sí biunívocamente. Tenemos una relación asimétrica, doble y biunívoca. El conjunto causa-efecto, tomando causa íntegra y efecto íntegro, se rige por una ley de conservación; o por muchas (al menos conservación de la energía, de la acción y reacción...). Es la realidad invariante del universo o del sistema cerrado la que prescribe la aparición de estos fenó-

menos; a la vez un principio de conservación total fija los límites de su aparición e influjo.

Por tanto, el principio de causalidad se formula:

Si se da un invariante básico que sea sustancia física imperfecta, toda modificación desequilibradora (causa) es necesaria y biunívocamente seguida de una modificación compensadora (efecto); de modo que el par causa-efecto satisfaga al invariante primitivo”.

*No hay, pues, modificación sin causa,
ni causa sin modificación-efecto.*

No produce metafísicamente la modificación-causa a la modificación-efecto, sino que ambas son manifestaciones, coordinadas y anormales del invariante fundamental. Así, ni la fuerza de la gravedad es causa ni el movimiento es efecto. Y en general ninguna fuerza es causa metafísica ni ningún movimiento efecto metafísico.

Y si comparamos la fuerza misma (o el movimiento mismo) con el invariante en estado normal, tampoco se han como causa y efecto, pues ninguno de los dos posee singularidad perfecta.

La manera propia de esta emanación exige categoría nueva, no estudiada aún ni en filosofía ni en física, que sepamos.

b) Traslademos ahora la cuestión a los cuantos o singulares. Sabemos que no poseen accidentes; que sus cambios son de todo a todo; si un cuanto de masa (protón, electrón) se cambia en un cuanto de energía, se cambia todo entero en todo entero nuevo sin residuos, e inversamente. No queda una materia ni primera ni segunda común. Esto indica su total singularidad. Se sigue de la equivalencia entre masa y energía, si añadimos la estructura cuántica en ambas. Lo cual no quiere decir que en todas las circunstancias, un cuanto o mínimo se transforme con todo lo que tiene en otro cuanto o mínimo. Así en los choques entre cuantos de luz y electrones, efecto fotoeléctrico (y su inverso, producción de rayos Röntgen, por la radiación corpuscular catódica), sólo se exige, según la ley de Einstein, que o la energía de un fotón se gaste en la liberación de un electrón o al revés, que un fotón sea producido por la energía de un

electrón. Siempre empero del cuanto primitivo no queda nada de lo que haya intervenido en la transformación. Y como según la teoría de la relatividad a toda masa corresponde una energía e inversamente, no podemos señalar límites ni cuerpos privilegiados e intransformables. Por tanto, en toda transformación total o parcial el cambio se hace de todo a todo, en un cuanto entero o muchos o en toda la entidad considerada. No es, pues, preciso que se confirmen las teorías sobre las transformaciones de materia en luz e inversas, para que valgan las consideraciones anteriores, que sólo exigen dos principios: equivalencia entre masa y energía y legalidad cuántica en los cambios. Y ambas cosas pertenecen a lo firmemente asentado dentro de la física moderna.

Aquí, pues, se da el cambio extraño de una causa (por hablar así) que se aniquila para hacerse efecto o que cambia totalmente de forma. Cuando en el efecto fotoeléctrico un fotón de frecuencia ν , choca con una lámina de metal y hace saltar un electrón, éste sale siempre con una velocidad fija, con una cantidad de movimiento cuántica. Del fotón o energía luminosa cuántica no queda nada; ha pasado íntegra al modo de energía mecánico-cuántica del electrón.

Se da, pues, una relación biunívoca y necesaria entre cuanto-causa y cuanto-efecto, que no cabe tampoco en el esquema causal clásico.

Mas estos singulares cuantos no poseen singularidad perfecta en punto a colocación espacio-temporal. Esta causalidad tan maravillosa y abnegada entre dos cuantos, entre dos singulares, sustancias físicas perfectas, no puede ser conocida exactamente, pues le falta la localización perfecta en el espacio y tiempo (Heisenberg).

Necesitamos, por tanto, dos nuevos principios de causalidad para la física.

c) Las relaciones causales entre cuantos y campos o invariantes básicos son también muy interesantes. Parece que los cuantos son la causa de la aparición de las fuerzas en los campos de potencial; o sea, son las causas de que en éstos se manifiesten las entidades anormales, fuerzas y movimientos. Así, los cuantos de masa (protones y electrones) presentes en el campo geométrico son causas, *primero*, del potencial gravitatorio o estado

gravitatorio normal (órbitas naturales); y segundo, de las fuerzas gravitatorias en el estado anormal. De qué modo se hace, no lo sabemos. Al igual los cuantos eléctricos (electrones) producen un campo electromagnético con potencial fijo en el estado normal; potencial del que saldrán las fuerzas en el estado anormal.

Que los cuantos dichos sean la causa, llamémoslo así, de los campos, lo sabemos por las ecuaciones básicas de las teorías.

$$\operatorname{div} \varphi = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = -4\pi\rho(x, y, z).$$

“la fontalidad o punto-fuente del campo, depende de la masa o densidad”.

En cambio, entre astro y astro suponiendo que no haya masas o cuantos, vale,

$\operatorname{div} \varphi = 0$; “No hay producción de campo”.

Y para la electricidad;

$$\operatorname{div} \mathbf{E} = -4\pi\rho$$

Los efectos magnéticos aparecen tan pronto como un cuanto se mueve; la derivación según el tiempo, t , lo indica,

$$\operatorname{rot} \mathbf{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t}; \operatorname{rot} \mathbf{H} = \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \frac{4\pi\lambda}{\epsilon} \mathbf{E}$$

Tenemos, pues, la concatenación siguiente:

a) Invariante básico del universo, compuesto de geometría y gravitación como veremos.

b) Si está presente un cuanto de electricidad quieto, prodúcese un potencial Ψ , una ordenación con nuevas propiedades de todos los puntos del espacio. Estado normal.

c) Se modifica por algún motivo, por corrimiento, el potencial en un punto, o sea el gradiente de Ψ no es cero

$\frac{\partial \Psi}{\partial x} \neq 0$, o bien $\frac{\partial \Psi}{\partial y} \neq 0$; o bien $\frac{\partial \Psi}{\partial z} \neq 0$, surge automáticamente una

fuerza, el vector eléctrico \mathbf{E} , $\mathbf{E} = -\operatorname{grad} \Psi$; de componentes

$$E_x = -\frac{\partial \Psi}{\partial x}; E_y = -\frac{\partial \Psi}{\partial y}; E_z = -\frac{\partial \Psi}{\partial z}.$$

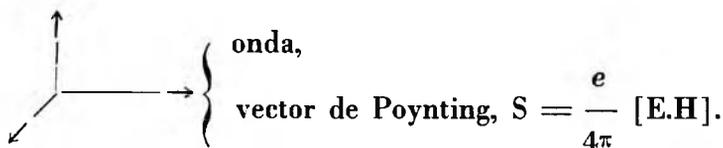
d) Cambia con el tiempo \mathbf{E} , $\frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \neq 0$, es decir, aumenta o disminuye la cantidad, la intensidad, del campo eléctrico, se produce una nueva entidad accidental, anormal, el campo y vector magnético, \mathbf{H} .

$\text{rot } \mathbf{H} = \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$; es decir, fuerzas que pueden tener efectos mecánicos (ponderomotrices, ley de Coulomb).

e) Se producen entonces las ondas electromagnéticas, precisamente en el espacio libre de cargas eléctricas

$$\Delta \mathbf{E} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2}; \quad \Delta \mathbf{H} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \mathbf{H}}{\partial t^2}$$

Los vectores \mathbf{E} , \mathbf{H} son perpendiculares: su producto escalar es cero $(\mathbf{E} \cdot \mathbf{H}) = 0$.



f) La energía $\eta = \frac{1}{4\pi} (\mathbf{E}^2 + \mathbf{H}^2)$ va en la dirección

$\mathbf{S} = \frac{e}{4\pi} [\mathbf{E} \times \mathbf{H}]$; y se condensa en cuantos energéticos, en fotones,

visibles o no.

g) Estos fotones son atraídos por la gravedad; poseen peso, cantidad de movimiento, masa... Volvemos al principio.

En este proceso podríamos estudiar qué determinaciones ópticas de la causalidad subsisten y cómo se transforman, pues entran aquí todos los elementos de la física clásica y moderna.

Mas antes traigamos el proceso paralelo, puramente gravitatorio, según Newton y Einstein.

aa) *Entidad preliminar*; el espacio de estructura no euclídea; a no ser aproximadamente en trozos pequeños.

bb) *Presencia de un cuanto pesante* (protón); causa sin fuerzas de tipo ordinario un potencial φ , una distribución de líneas de fuerza, de caminos naturales astronómicos; φ posee

propiedades peculiares en cada lugar: $\varphi = \frac{g}{r}$, (g es una cons-

tante; r la distancia de un punto del espacio al que ocupa el cuanto pesante).

cc) *Se cambia φ en un lugar, vgr., porque se mueve la masa, aparece para delatar tal anormalidad una fuerza F que se define por*

$$F = -\text{grad } \varphi : \begin{cases} F_x = - \frac{\partial \varphi}{\partial x} \\ F_y = - \frac{\partial \varphi}{\partial y} \\ F_z = - \frac{\partial \varphi}{\partial z} \end{cases}, \text{ componentes}$$

Tal fuerza produce efectos mecánicos.

dd) *Como Einstein demuestra en la relatividad generalizada, el campo gravitatorio está cruzado, al moverse una masa, por ondas gravitatorias que se mueven con la velocidad de la luz. Llevan con todo demasiado poca energía para ser observadas.*

ee) *Empero tal energía adoptará necesariamente forma cuántica, de granos de energía gravitatoria.*

Vamos ahora a meditar ampliamente estos paralelismos tan sugestivos. Newton no pasó nunca del estadio tercero que era para él el central: existencia y presencia de una fuerza y sus efectos. Los clásicos (Laplace, Neumann, Helmholtz, Hertz) llegaron al potencial; más como entidad matemática que real. (Segundo estadio-Física centrada dinámicamente).

Con Maxwell, Faraday, Hertz, se introduce un elemento perturbador en la física clásica. En la teoría de la electricidad se seguía de las fuerzas electromagnéticas la existencia de ondas electromagnéticas, cosa que no se deducía de las fuerzas gravitatorias. La física toma aspecto dual. Síntoma grave. La teoría electromagnética de la luz continúa su evolución independiente de la teoría gravitatoria y llega al estadio siguiente: las ondas concentran su energía radiatoria en mínimos, en granos energéticos, en cuantos. Mayor alejamiento aún del tipo gravitatorio. (Planck, Einstein, 1900-1917).

Por fin, inesperadamente, volvemos casi atrás; los cuantos de radiación, los fotones, se hallan sometidos al campo gravitatorio, pesan, los atrae el sol, poseen masa; toda energía tiene

E
una masa $\frac{E}{c^2}$; e inversamente. Luego, todo se halla sometido a

la gravitación. Simultáneamente podemos notar que la teoría gravitatoria se ha quedado muy atrás; la vuelta la ha hecho la luz; la gravedad no se ha movido.

Viene la relatividad generalizada (1917), y la gravitación avanza paralelamente a la teoría electromagnética de la luz; posee ondas y cuantos energéticos; todo sometido a la gravitación. ¿Por qué esta preferencia? Lo veremos. Ahora fijémonos en los aspectos causales según a) b).

1) Notemos ante todo el encadenamiento y correspondencia misteriosa entre posición de una singularidad (cuanto) y posición de una entidad suprasingular (campo de ondas).

- | | | |
|-----------------|---|---|
| Estadio primero | } | <ul style="list-style-type: none"> a) Posición <i>singular</i> primaria, la de m, e; a ella responde, b) Posición <i>suprasingular</i> primaria, los potenciales φ, ψ en el espacio universal. |
| Estadio segundo | } | <ul style="list-style-type: none"> a) Posición <i>singular</i> segunda; movimiento de una masa, de un cuanto, aparición de una fuerza singular. b) Posición <i>suprasingular</i> segunda; vectores del campo, intensidad del campo... |
| Estadio tercero | } | <ul style="list-style-type: none"> a) Tercera posición <i>singular</i>; cuantos energéticos con masa cuántica. b) Tercera posición <i>suprasingular</i>; ondas, materiales o no. |

Todas estas relaciones se resumen en la ecuación básica de la mecánica ondulatoria fundada por Broglie, Schrödinger, Heisenberg...

I) $h\nu = m \cdot c^2$, o bajo otra forma; ($h = 6'55 \cdot 10^{-27}$ erg. sec.); ($\nu =$ frecuencia de la onda).

II) $\lambda = \frac{h}{m \cdot v}$, que permite calcular la longitud de la onda

material asociada al corpúsculo de masa m . Si tal corpúsculo es un electrón y se mueve con la velocidad de los rayos catódicos.

$$\lambda = 10^{-9} \text{ cm., etc.}$$

La ley I) asocia a toda masa cuántica, es decir, a toda entidad individual, una longitud de onda, un fenómeno ondulatorio, que

se propaga con una velocidad superior a la de la luz $\frac{c^2}{v}$; ($v >$

c). Así, para un automóvil que corra unos 100 km. hora, las ondas materiales asociadas correrán unos 100 billones de km. y todavía correrán más para un peatón; cuanto la velocidad mecánica es menor, mayor es la de las ondas materiales.

Tenemos indisolublemente unidos dos clases de fenómenos: singulares y suprasingulares.

Esta unión nos pone en la pista del secreto de la causalidad en el universo. Ni el singular lo es totalmente, es decir, algo independiente del universo; ni un fenómeno suprasingular se desentiende totalmente del singular.

Del movimiento más mínimo del singular se entera con velocidad fabulosa ($> c^2$), con ondas originales (las materiales) todo el mundo. Y al revés, cualquier fenómeno ondulatorio de estructura no singular produce o se condensa en punto a energía en singulares, en cuantos, de magnitud $h\nu$.

Por tanto:

Hay una correlación entitativa y legal entre singular y suprasingular, correlación que en física se llama "m $c^2 = h\nu$ ".

La causalidad en el universo, bajo cualquier forma que aparezca, es un fenómeno de compensación, de restablecimiento del invariante.

El llamado efecto no lo es de la llamada causa; sino ambos son manifestaciones con que el invariante se manifiesta tal. Entre ambos se da una correlación necesaria y universal, correlación entre sus entidades en fuerza de un tercero superior, por eso aparecen como si fuesen causa y efecto metafísico.

Por tanto; el principio de causalidad física ha de formular-

se, tal como parece regir en la realidad, de la manera siguiente:

Principio de causalidad física.

“ Toda modificación de un invariante físico es necesariamente acompañada de otra modificación complementaria, de modo que entre las dos quede restablecida la invariancia básica. La primera modificación se llama causa física; la segunda, efecto físico. Ambas son por estructura transitorias. Entre ellas se da una relación asimétrica, biunívoca, entitativa; no inmediata, sino mediata, a través del invariante. De ellas, si una tiene carácter predominantemente singular, la otra lo tendrá suprasingular e inversamente.”

En síntesis:

Causalidad es la manifestación y restablecimiento de una invariancia física.

Consecuencias:

1.^a) Indeterminismo: como ningún elemento singular (cuanto, átomo) puede ser perfecta y totalmente singular, pues dejaría de pertenecer al universo, y no poseería onda propia, a todo singular le falta por necesidad algún atributo singular; tales son, o una coordenada, o un impulso; o una determinación de dos conjugadas cualquiera; nunca le falta por el contrario la energía $h\nu$ perfectamente determinada. En general, si son (n) el total de determinaciones posibles de una magnitud física, ninguna magnitud singular las puede poseer todas singularizadas: equivaldría a desligarla del universo físico; hay, pues, al menos, una en que no está determinada singularmente (Heisenberg).

No existen mónadas leibnizianas físicas

12

Los puntos o aspectos de indeterminación son los puntos o lazos de unión con el universo; físicamente se llaman ondas y campos.

El principio de indeterminación de Heisenberg no es un absurdo; equivale a decir: “no existen en el mundo físico singulares perfectos”; o “el existir un singular en el mundo físico no es una pura presencia que deje intacta la singularidad; es una socialización entitativa; tanto mayor cuanto menor es el singular (cuanto); y tanto menor cuanto el singular es mayor. Los astros son los prófugos del mundo; y no las partes más nobles de él.

Físicamente lo formulamos de las siguientes maneras:

- 1) *El cuanto es él y su circunstancia.*
- 2) *El cuanto es él más un campo ondulatorio.*
- 3) *El singular físico pierde algo de su singularidad para unirla a una universalidad (campo...).*

2.^a) Las relaciones entre los cuantos o singulares físicos de la misma clase no son causales, ni funcionales clásicas, sino probabilísticas.

En efecto; tomemos una nube de fotones de la misma clase o sea de igual ν ; por ser todos iguales, singulares, no poseen entre sí relación directa ninguna, sino a través del invariante del que son una fase comprensatoria. Por no ser entidades subordinadas, no cabe una función asimétrica en que cada uno desempeñe un papel diferente; luego, si hay entre ellos alguna ley habrá ésta de aplicarse a *todos de vez* (colección) y de *igual manera* (simetría). Ambas condiciones definen la materia básica del cálculo de probabilidades en el caso de distribución homogénea. Luego, de suyo, las leyes entre cuantos son de tipo probabilístico. Y en efecto; no vale el cálculo infinitesimal sino por vía de aproximación.

3.^a) Las relaciones entre materia física fundamental (espacio) y los potenciales básicos no es causal; sino que se asemeja algo a la de la materia y forma. Es cuestión propia de la ontología de lo físico; lo mismo que el estudio de las relaciones entre singular y universo.

4.^a) En virtud de la ley de la entropía va aumentando siempre el número de singulares o cuantos; tendemos al atomismo universal. Todo campo de ondas condensa su energía en mínimos o cuantos, aunque los vectores fundamentales (vgr., E,H) sean de estructura continua o no singular.

Luego, van desapareciendo las leyes de tipo funcional o causal clásico, siendo sustituidas por otras de tipo colectivo o probabilístico. Si investigásemos las relaciones entre materia física básica de naturaleza *simultánea* y el tiempo (unidimensional) de estructura *sucesiva* lineal, hallaríamos que ambas estructuras son en ciertos límites *incompatibles*.

La producción de cuantos o individuos finitos no es sino la manifestación real de tal incompatibilidad entre las categorías físicas fundamentales; espacio tridimensional, tiempo unidimensional. El número de cuantos es el conjunto e índice de partículas de materia básica en que vence el tiempo al espacio; por eso poseen localización temporal exacta y espacial indeterminada. La entropía es la ley que indica en qué medida triunfa el tiempo sobre el espacio, al querer informar ambas categorías la materia física básica. Para justificar estas afirmaciones sería preciso demostrar que el tiempo en rigor es de estructura cuántica, más o menos amplia, es un presente más o menos lleno. En cambio, el espacio no es de estructura cuántica, sino continua; la materia básica no puede ser informada por ambas categorías, sino dentro de ciertos límites. Como el tiempo no es de estructura finita (en contraposición al espacio real), sino abierta, al fin triunfará su tendencia cuántica sobre la continua: la materia física básica quedará estructurada cuánticamente. El universo será un monte de

perlas en presente. Ley de la entropía. Relación entre ser y tiempo, formulada físicamente. Tal estado final parece ser propio y original de lo físico en sí. Al llegar a él, un singular físico ya no será él y su circunstancia; ésta habrá quedado reabsorbida por la singularidad. Mas estas consideraciones pertenecen a la ontología regional de lo físico, que aún no poseo con las garantías científicas indispensables para presentarla decorosamente en público.

Si damos ahora una mirada al proceso de transformación metafísica de las nociones, veremos que las determinaciones ontológicas que para los conceptos de sustancia, individuo y causalidad pedía la filosofía clásica eran demasiado exigentes.

Valen tales ideas, bastante exactamente, para los individuos grandes, para los hombres; mas no para el microindividuo.

Sirviéndome de una teoría de Hartmann diría que las categorías lógico-matemáticas no informan totalmente lo real físico; lo que de irreductible y original posee esta esfera de la realidad; sino que únicamente algunas de tales categorías se hallan presentes como principios del ser físico (Seinskategorien). Y teniendo presente que tales categorías consideradas en su esfera ideal propia son de una estructura interna complicadísima, no siempre informarán perfectamente lo real físico bajo todas sus virtualidades y matices. Esta presencia, o relación de identidad como la llama Hartmann, entre categorías lógico-matemáticas y el ser físico, puede ser una función del tiempo, admitir ampliaciones o restringirse a ciertos momentos más fundamentales. Los límites de "racionalismo" de "logificación y matematicismo" de lo real físico se desplazarían en extensión y profundidad, en número de categorías y en penetración, a lo largo del tiempo. Hartmann lo afirma como sospecha metafísica, cuya fecundidad metafísica se descubriría al construir la ontología de lo físico.

Sería cuestión de valorar desde el punto de vista lógico-esta dirección de la física. que se encamina evidentemente a descubrir las categorías propias de lo físico, a poner de manifiesto las transformaciones que la materia básica, el irracional físico, impone a las formas categoriales. La unión entre este aspecto ontológico y el lógico es ya conocido; a toda ontología regional, corresponde un sistema propio de esencias, que, una vez intuídas o captadas por la intuición esencialista de Husserl, propia de la región, conduce a principios o conexiones esenciales, apriori categorial propio de la región. Este apriori, más las

leyes lógicas, constituyen el conjunto de axiomas fundamental para construir deductivamente la ciencia correspondiente a la región considerada.

De consiguiente, el estudio de las transformaciones que sufren las categorías ideales metafísicas de sustancia, individuo, causalidad al aplicarse a lo físico, lleva directamente a la lógica propia de la física, que será objeto de otro trabajo. En éste no hago sino disponer los materiales de manera que se ofrezcan a la vista intelectual desde la conveniente perspectiva.

***DE DEFINICIONES ABSOLUTAS A DEFINICIONES
DE COORDINACION***

CAPITULO QUINTO

De definiciones absolutas a definiciones de coordinación

§ 1.º

Algunas consideraciones sobre el espacio geométrico y las definiciones de coordinación.

Ya se vió en el cap. II (a) que la unión entre álgebra y geometría no podía establecerse sino por definiciones de coordinación especiales; a saber, por los sistemas de coordenadas. Ninguna fórmula algebraica posee su figura geométrica: ni inversamente; dada una figura geométrica no existe la *única fórmula algebraica propia*. Todo lo cual indica que geometría y álgebra no son dominios subordinados, sino independientes ópticamente. Establecer entre ellos una unión será negocio humano; se hace por un axioma o postulado. El artificio de las coordenadas es el método de unión; por numeración será posible aritmetizar lo geométrico para nuestros fines. Mas esta "imposición" extraesencial se ha de notar en mil puntos. Requerirá tantas nuevas intervenciones nuestras cuantos sean los aspectos de independencia óptica entre lo geométrico y lo algebraico, que queramos con todo soldar. Notemos algunos.

1) Independencia de la función topológica respecto de la métrica: que expresa la independencia del orden frente a la longitud.

Si el plano de una ciudad se dilata, o se encoge (sin llegar

a romperse o soldarse), la función métrica que indica las distancias se altera; mas queda igual la topológica; el orden de las calles y la numeración de las casas.

2) La función métrica incluye los siguientes postulados; es decir, puntos en que hemos de suplir por un acto nuestro la falta de determinación objetiva.

a) Fijación de la unidad de medida; hay figuras que son por definición circunferencia, elipse, recta...; mas ninguna de ellas ni de sus partes es por esencia "unidad de medida". Este aspecto lo hemos de fijar nosotros. Al uno *no corresponde a priori* "una unidad de longitud".

b) Determinar la ley para calcular la longitud de una magnitud conocidas las de otras.

c) Método de transporte de la unidad de medida para poder comparar en cuanto a longitud magnitudes distantes. Y otras determinaciones secundarias.

Se llama geometría métrica la que además del aspecto topológico haya fijado los tres puntos anteriores de una manera u otra. La de Euclides es un caso particular; el transporte no altera las unidades de medida. La condición b) se fija por el teorema de Pitágoras.

En una magnitud geométrica hay que distinguir entre extensión y longitud. Una longitud se extiende cuando posee un determinado número de puntos con orden; es, pues, un concepto topológico. Si, además, fijamos la unidad de medida y demás condiciones métricas tal magnitud tendrá longitud.

Que la fijación de unidad, de ley de transporte y comparación de magnitudes sea algo "extraesencial" trae como consecuencia que los cambios de longitud, de ley de transporte y comparación sean lícitos en cualquier momento; y por tanto objetivamente incognoscibles. Si, vgr., he fijado una magnitud como unidad, sus cambios serán incontrolables; pues para conocerlos debería comparar con otra unidad y así in infinitum. Es igualmente imposible saber si una longitud ha cambiado durante el transporte por el espacio. Exigiría esta comprobación llevar la unidad a donde está la longitud transportada y medirla de nuevo; mas esto supone que la unidad no cambia con el transporte, cosa que no sabemos. Hay, pues, que introducir en la ciencia afirmaciones del tipo dictatorial siguiente: "esta magnitud hará de unidad"; "la longitud se considerará como invariable por el transporte", etc.

Por tanto medir no es una operación del mismo tipo que deducir. Es algo que solamente resulta posible si en el universo se da un ser de tipo hombre a quien por alguna razón le conviene tratar como unidas esferas de ser de suyo independientes.

De manera semejante; lo geométrico puro no posee "dirección ni sentido"; digamos abreviadamente "orientación"; si nos conviene que una magnitud la posea, será preciso introducirlo por una nueva definición de coordinación. No se dan, por tanto, "vectores", o sea magnitudes que por esencia posean sentido, como existen en la esfera geométrica figuras de tipo circunferencia, elipse..., sin que nosotros las construyamos. Es claro que este carácter de vectorialidad es independiente de lo topológico y de lo métrico. Es de nuevo el hombre quien hace posible la introducción del aspecto "vectorialidad" en lo geométrico puro.

Consiguientemente, una magnitud geométrica no tiene por ser tal una figura; puede tener infinitas. Para atribuirle una determinada es preciso haber fijado una geometría para todo el espacio determinando todas las condiciones an'edichas. Así, la misma magnitud que llamamos línea recta puede tener la figura de una línea arbitraria: basta que cambiemos convenientemente la manera de transportar la unidad, lo cual es enteramente libre.

Necesitaremos más tarde algunas nociones de topología. La topología considera nada más el aspecto de orden y número de los elementos de una figura. Ahora bien; es claro que se dan diversas maneras de estar ordenados los puntos aun prescindiendo del aspecto métrico.

Primer ejemplo:

Si considero en la línea A B los puntos a, b, c; veo que vale

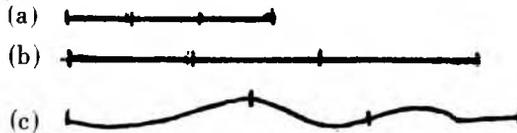


"b está entre a, c"; mas no, "c está entre a, b", ni "a está entre c, b". En cambio, en la figura cerrada adjunta valen,



(m) "n está entre m,s", y "s está entre m,n", y "m está entre n,s", basta mirar convenientemente. Nos hallamos con dos tipos de orden; en el 1.º la relación "entre" es asimétrica, en el 2.º simétrica; la figura será en el primer caso abierta; y en el segundo cerrada.

Nótese que el mismo tipo de orden vale para las figuras

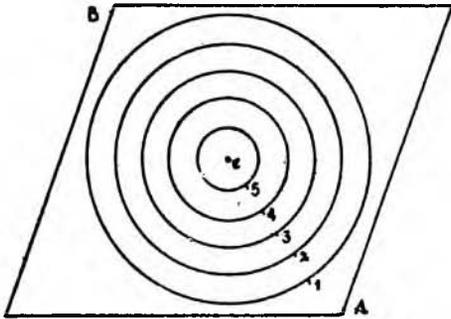


y semejantes: aunque en cada una la distancia métrica de los puntos sea diferente, lo que se expresa técnicamente diciendo; las propiedades topológicas son invariantes frente a los cambios de las métricas (estirar, encoger, ondular, doblar..., mientras no lleguemos a romper y soldar).

Un concepto básico en topología es el transformación biunívoca y continua. Una transformación se llama biunívoca si a un elemento de una figura dada corresponde otro y solamente otro en otra figura; e inversamente. Es, pues, una relación de uno a uno: cual la que existe entre marido y mujer (en países cristianos).

Y será continua, si a dos elementos de una figura tan próximos cuanto queramos corresponden en otra otros dos también tan próximos como queramos. Si, por ejemplo, tomo una recta simbolizada en un hilo, y la arrollo como guste, resultan innumerables figuras geoméricamente diversas; mas entre todas ellas vige una transformación biunívoca y continua mientras no suelde los dos cabos o rompa el hilo por algún punto; pues en ambos casos altero el número de puntos. En general salen unas de otras por transformación biunívoca y continua todas las figuras, deformaciones de una inicial, siempre que no rompamos o soldemos. Si dos o más figuras se pueden relacionar por una transformación biunívoca y continua se llaman topológicamente equivalentes. Esta equivalencia topológica se mantiene frente a las operaciones de estirar, encoger, doblar, etc., que trastornan la métrica, mas dejan intacta la topología. Es claro que si la topología se define por el orden existente entre un determinado número de elementos, cualquier cambio en una de ambas condiciones llevará consigo un cambio de topología. Si dos figuras son de topología diferente (vgr., una recta finita y una circunferencia) y queremos establecer entre ellas una relación biunívoca perderemos la continuidad; es decir, a puntos próximos en una de ellas corresponderán otros remotos en la segunda; e inversamente. Y si queremos conservar la continuidad, desaparecerá la biunivocidad; es decir, a un punto en una figura corresponderán dos o más o infinitos en la otra. La diferencia topológica entre dos figuras se conserva siempre en una de las dos condiciones definidoras, o en la biunivocidad o en la continuidad.

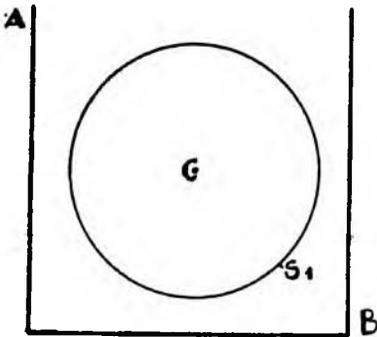
Segundo ejemplo: Sea un plano AB y en él un punto C. La infinitud del plano se nota en que el punto C (u otro cualquiera) sólo puede ser acordado en una dirección. La



curva 1 encierra a la 2; esta a la 3, etc., y así hasta llegar a un punto. En cambio, en la superficie toral (1) es imposible hallar una curva que encierre a otra, etcétera, de modo que al fin todas encierren un punto. Sino que si la curva A encierra a la B y ésta a la C... al cabo de unas más, se hallará una curva M que encierre la A. Como se ve es una estructura de orden en que no interviene para nada el que tenga

una curva m. metros, etc., o sea, datos métricos. Tenemos un nuevo criterio para dos dimensiones, de finitud intrínseca o infinitud, compatibles con limitación o ilimitación.

Tercer ejemplo: División en regiones incomunicables. Sea AB un plano indefinido: c un punto, s_1 una curva que lo rodea. Desde la parte



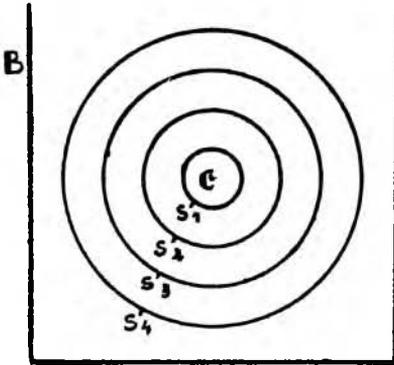
externa a la curva no se puede pasar a la interna sin tocar la curva s_1 , sin tener un punto común con ella. Es decir, en el plano, una línea curva cualquiera (compuesta de rectas o curvas) divide al plano en dos regiones incomunicables. Y al revés; si en una superficie se dan curvas (líneas cerradas que la dividen en dos partes incomunicables), la topología de tal superficie desde este punto de vista es la del plano.

En cambio, en la superficie toral, se puede trazar una línea cerrada que no divida la superficie entera en dos regiones incomunicables, sino que se puede pasar de una parte a otra sin tocar la línea.

La superficie esférica posee la misma propiedad que el plano euclídeo.

(1) Por superficie toral o torus entenderemos la superficie de una anilla ordinaria. O bien; tomemos un plano y una circunferencia perpendicular a él: prolonguemos el diámetro en que la circunferencia corta al plano: señalemos en la nueva recta un punto fuera de la circunferencia; si hacemos girar en estas condiciones la circunferencia al derredor de dicho punto, la superficie engendrada por la circunferencia es un torus o superficie toral pura.

Cuarto ejemplo: Circulación simple o doble. Si consideramos un plano AB y una curva s_1 , podremos ir rodeando s_1 con s_2 ; y vale $s_2 > s_1$; s_3 con s_2 y vale lo mismo $s_3 > s_2$...: sin que nunca se pueda cerrar el proceso con un punto. En cambio, si consideramos la superficie esférica y en ella un polo, a su derredor una curva s_1 , se da una s_2 tal que $s_2 > s_1$, etc.: mas llegamos a una s_n tal que la siguiente s_{n+1} será menor que s_n y con todo la circunda... y por fin a un punto, el polo opuesto. La superficie esférica posee, pues, doble cerradura, doble circunvalación. Así queda expresada bajo forma la propiedad de finitud intrínseca de ciertas superficies y la infinidad de otras. A la vez, la relación de orden "entre" queda hecha en las intrínsecamente finitas, relativa; en el plano $s_1 < s_2 < s_3 < s_4$...: s_2 circunda a s_1 ; s_3 a s_2 ... y no al revés; hay un orden definido de circunvalación; en cambio, en la superficie esférica no sabremos si s_1 circunda a s_2 , o al revés, s_2 a s_1 ; depende de qué polo miremos.



Estas son propiedades intrínsecas y anteriores a las métricas. Vamos a notar algunas de sus relaciones con la métrica: o con el transporte de unidades de medida. Comparemos el plano y la superficie esférica respecto de simple o

doble acordonamiento. Supongamos que la unidad de medida (y por tanto la longitud) es independiente del transporte. Si comenzamos a medir en un plano la longitud de la curva s_1 más inmediata al punto c , hallaremos una longitud l_1 ; la curva que rodea a s_1 , s_2 , tendrá una longitud, l_2 ; y vale $l_2 > l_1$; y así sucesivamente.

$$\infty \leftarrow s_{n+1} > s_n > s_{n-1} > s_{n-2} \dots > s_3 > s_2 > s_1$$

En cambio, en la superficie esférica llegaremos a una curva s_μ mayor que todas las anteriores; pero si continuamos midiendo hallaremos una curva $s_{\mu+1}$ que circunda a s_μ y con todo es menor que ella en longitud, y así sucesivamente hasta llegar al polo opuesto a aquel de que salimos. Supongamos ahora que queremos interpretar como plano la superficie esférica, ya que la figura o forma geométrica no es algo absoluto, sino que depende de la definición de métrica que empleemos. Hasta llegar a s_μ todo parece indicar que nos hallamos midiendo curvas en un plano, pero al pasar a $s_{\mu+1}$ la longitud $l_{\mu+1}$ debería ser mayor que la de s_μ , pues rodea a s_μ y en el plano una curva que rodea a otra posee mayor longitud. Si con todo queremos sostener (lo que es perfectamente lícito) que nos hallamos en un plano, habremos de decir que la unidad de medida aumenta de longitud, así con menos veces de aplicarla (lo que da la apariencia de ser $l_{\mu+1} < l_\mu$) llenamos $s_{\mu+1}$; y lo mismo en las curvas siguientes.

tes; cuanto menores sean, interpretadas como curvas en la superficie esférica, tanto mayor tendrá que volverse la unidad de medida, si queremos que la figura sea un plano. Por fin, para medir el punto final, el polo, será menester una unidad de medida infinitamente grande; el punto es, entonces, el equivalente de la curva máxima, infinita, que rodea a todas las demás en el plano. Así que sólo puede ser abarcado por una unidad infinitamente grande.

Y al revés sucedería si quisiésemos interpretar el plano como superficie esférica, cambiando convenientemente la medida. Absolutamente hablando, desde el punto de vista geométrico, no hay nada que oponer. Fuera de un detalle, a saber, que al hacer la transformación de superficie esférica al plano (proyección estereográfica), al punto finito, polo, corresponde, no otro punto finito, sino una curva infinita, o el infinito del plano; hemos perdido la biunivocidad, es decir, destrozado la topología.

Y al revés, al proyectar el plano en la superficie esférica, al infinito del plano, a una curva infinitamente grande con infinitos puntos corresponde un punto sólo, el polo.

Y como al cambiar la topología cambiamos radicalmente el tipo de geometría, podemos afirmar:

Entre dos figuras de topología diferente no puede vigir la misma geometría.

Entre dos trozos finitos de dos magnitudes geométricas, de topología igual o diferente, puede vigir la geometría que queramos, y por tanto, no poseen forma geométrica intrínseca, poseerán la que determinemos. Es decir, la forma geométrica es una propiedad del todo; y solamente lo es de cada una de las especies de figuras topológicamente diferentes. Dentro de una especie topológica las formas posibles son equivalentes; y es indiscernible saber cuál tienen; su designación es arbitraria.

Esto es físicamente muy importante, pues demuestra que la forma geométrica del mundo sólo puede ser deducida por consideraciones sobre "el mundo", no por inducción de una parte.

Lo que hemos dicho para 1 y 2 dimensiones vale para tres o más; el mundo, según una de las opiniones de Einstein, es esférico; no con forma de esfera ordinaria, sino de topología esférica. Es decir, se da siempre un punto, a su derredor una superficie esférica y otras concéntricas (digamos más bien, superficies cerradas) que van aumentando hasta llegar a una máxima que rodea a las anteriores y después vienen otras superficies esféricas que encierran y rodean a las anteriores y con todo son menores que ellas, hasta llegar a otro punto, contrapolo del primero.

Veremos la transcendencia física de esta opinión.

2.º) Teoría del espacio físico

a) *Determinación de la geometría real.* Es el primer paso que hemos de dar. Para ello hay que proceder *hipotéticamente*;

suponer que vige una geometría real determinada y ver qué consecuencias físicas se seguirían.

La concordancia entre ellas y los experimentos demostrarán la legitimidad de la adaptación hecha. La física clásica, sin preocuparse de más, comenzó a medir el universo, a calcular distancias, a transportar unidades de medida, suponiéndolas invariables...; no le ocurrió dudar de qué geometría rige realmente; para ella vigía indiscutiblemente la de Euclides. Nosotros, con la teoría de la relatividad, vamos a tratar ordenadamente el asunto.

1.^a definición de coordinación. Fijación de unidad

Si queremos medir una magnitud es menester señalar una *unidad de medida*; sólo entonces podremos hablar de *longitud* frente a “*extendimiento*”.

Esta fijación de “unidad” es arbitraria; es decir, que la estructura del espacio no impone ninguna unidad natural e intrínseca de medida. Y vimos que, una vez fijada, sus cambios son por definición incontrolables; ahora que siempre quedábamos libres para cambiarla con otra según nos conviniese.

Ante los cuerpos reales nos hallamos con la misma indeterminación; hay cuerpos “*extendidos*”, es decir, con pluralidad de elementos y orden entre ellos, o sea, topología real, que habremos de estudiar; mas no está por *ley natural* fijada una unidad de longitud (latitud, profundidad...); *unidad* que habría de poseer propiedades físicas *en cuanto unidad*: ser, pues, tipo de medida señalado para la misma naturaleza con propiedades originales. Así, pues, como para pasar de topología abstracta a métrica hubimos de poner por una definición de coordinación, la unidad de medida; ahora, para fijar una unidad física, habremos de emplear una nueva definición de *coordinación*: decimos de coordinación, pues juntamos en tal definición dos dominios independientes, el matemático (unidad métrica de medida) y el físico, obteniendo una unidad física de medida.

Notemos cómo se hace, que es por un procedimiento que na-

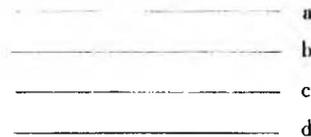
da tiene de demostrativo, sino de imperativo: “a este cuerpo, en estas condiciones y con estas propiedades físicas” llamaremos “*unidad de medida*”.

No introducimos una subordinación entre lo matemático y lo físico, que no existe, sino una coordinación. Así, por este procedimiento, se constituye el metro: “a esta barra, en estas condiciones de aislamiento, con esta aleación, llamaremos unidad de longitud”. De suyo, pues, ya no habríamos de preocuparnos con sus mudanzas, ni siquiera aislarla. La unidad de medida no puede cambiar en su oficio métrico; pero los físicos exigen para dar este título y conservarlo, algunas condiciones dignas de ser meditadas. La barra-unidad ha de tener una composición química especial que la defienda de fuerzas que alteran las propiedades *topológicas*; que impiden la rotura, la evaporación, la fusión. Si fuese hacedero, habría que evitar la misma pérdida de átomos por radiación, por rayos ultrapenetrantes...; piden, pues, los físicos, invariancia topológica la más perfecta posible. Pero exigen otras condiciones que parecen suponer cambios métricos controlables en la misma unidad de medida, lo que sería un *círculo vicioso*: señalar medio para evitar que se estire, encoja, doble o se dilate por el calor... ¿Cómo podemos saber estas cosas en la misma unidad de medida?

Consta que se dan fuerzas físicas *diferenciales*, es decir, que obran diversamente según la calidad del cuerpo, así el calor.

Pongamos varios de ellos, reducidos a barra o lámina alargada, unos junto a otros, de modo que coincidan sus extremos y siempre de metal diferente: sometámoslos todos al calor.

Veremos que se pierde la coincidencia; en unos, más; en otros, menos. Si hemos señalado de antemano una unidad de medida, sabremos cuánto han cambiado de longitud; luego, hay fuerzas que deforman métricamente



los cuerpos; a unos, más; a otros, menos. Claro que si la longitud de medida elegida, y que hemos mantenido lejos de la influencia perturbadora, es de alguno de los cuerpos que más se han cambiado, procuraremos nosotros cambiar la definición de coordinación y coordinar el concepto métrico “unidad de medida” al cuerpo que menos se haya modificado.

Así iremos eliminando *fuerzas diferenciales*; mas siempre presuponiendo una unidad de medida fijada de antemano por definición de coordinación. Sus cambios serán siempre incontrolables; y apenas lo sean, será señal de que hemos cambiado de unidad de medida física.

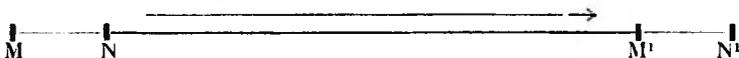
Mas supongamos que se dan fuerzas, que Reichenbach llama universales, a saber, que cumplen estas dos condiciones: a) obran por igual sobre todos los cuerpos; b) y no haya contra ellas aisladores; entonces nunca podremos decir si ha habido cambios *métricos*, ni en la unidad de medida, ni en los demás objetos.

Por tanto, la fijación, por definición de coordinación, de la unidad de medida, se entiende respecto de fuerzas diferenciales, para las que poseamos aislantes.

Una vez puesta en condiciones del mayor aislamiento ha de ser considerada como inmutable; decir que ha cambiado de longitud, no tiene sentido alguno. Un caso en que nos moveríamos a cambiar la unidad de medida sería aquél en que para admitir y mantener su invariabilidad hubiésemos tenido que sostener la mutabilidad de la mayor parte de los modelos de medida, derivados de la primera. En rigor, no sabemos quién ha cambiado, pero preferimos suponer que son los que nos exijan menos complicación. Así obraría la oficina de pesas y medidas de París, si llevando allá un día todas las unidades, poseídas por los demás países y que primitivamente fueron reguladas por el patrón parisién, se hallase que todas habían cambiado, a pesar de haberlas preservado de fuerzas diferenciales.

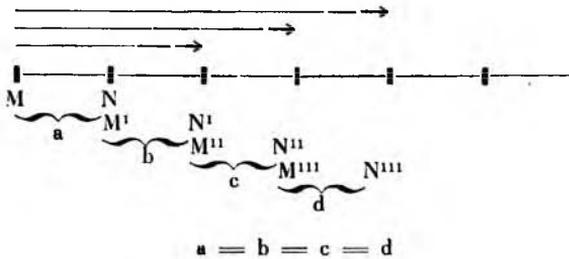
2.^a definición de coordinación

Una vez fijada la unidad de medida, si queremos uniformar el uso es preciso, de una manera u otra, *transportarla* a lo largo del espacio. Y aquí nos hallamos ante otro punto en que nada puede determinarse a priori. Que la unidad de medida no cambie por el transporte o que cambie, es una afirmación *indemostrable*. En efecto: para saber que la unidad de medida (MN) al llegar a M^1N^1 , y señalar o dejar un patrón derivado, no ha cambiado, sería preciso



que pudiésemos saber que el transporte nada afecta a la longitud, y esto no puede conocerse sino midiendo, es decir, empleando la unidad cuya invariabilidad discutimos.

Que M^1N^1 señalado por MN , sea igual a MN en su primitiva posición, no transportado, es una afirmación indefinida, mientras no fijemos la ley de transporte. Mas ésta no puede ser determinada *experimentalmente*, es decir, por un medio independiente de la misma longitud; nos hallamos, pues, ante un caso de “indecisión intrínseca a una noción”. Se trata, en efecto, de unir dos dominios del ser, independientes entre sí; luego, no hay medio analítico de unión, por identidad, por consecuencia...



Pongamos, pues, “que una unidad de medida cuando se transporta, procurando eliminar las fuerzas diferenciales, no cambia”.

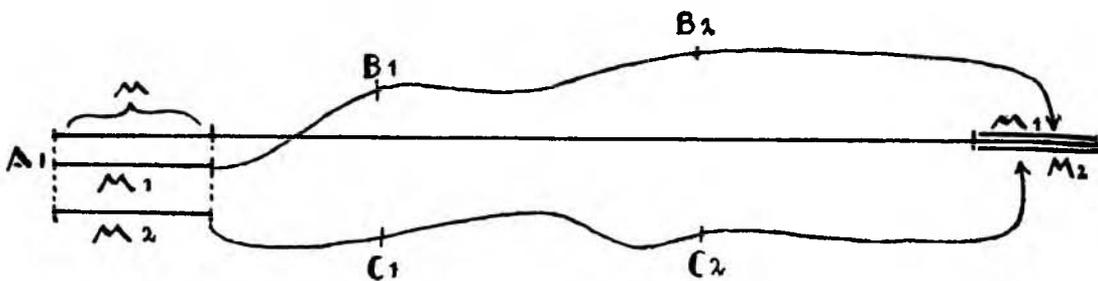
Notemos que es una afirmación sobre objetos empíricos, empíricamente incontrolable, ni en pro ni en contra.

Conviene que meditemos este punto. Ante todo nos indica que la realidad física no se halla totalmente impregnada de “racionalidad” (ni matemática ni lógica). Tenemos una proposición cuya verdad o falsedad es incontrolable físicamente; lo físico no se preocupa de *decidirlo*. Mas podemos preguntarnos: ¿es que el ángulo de visión, bajo el que el físico mira el mundo, impide ver tal racionalidad; o es que lo físico en sí no es del todo racional, no está hecho de manera que decida si una proposición que parece atañerle muy de cerca es verdadera o falsa? Esta cuestión la reservamos para la “ontología de la física”. Aquí nada más queremos hacer notar el problema.

De todos modos podemos comenzar a sospechar si es posible la “física” como ciencia. Las definiciones de coordinación indican que cabalga de vez en dos dominios del ser, independientes entre sí, y por tanto sin “*unidad total*”.

3.ª definición de coordinación

Supongamos que sobre la unidad de medida hemos tomado dos patrones M_1, M_2 , allí iguales a M ; si por diversos caminos S_1, S_2 los llevamos a A_2 hallaremos *experimentalmente* que son iguales entre sí.



Es un *hecho experimental*, dentro de los límites *finitos* de nuestra observación (nótese bien, pues esto lo habremos de retocar más tarde para espacios mayores) que si valía en $A_1, M = M_1 = M_2$, vale $M_1 = M_2$ en A_2 : esto simplifica mucho los cálculos. La misma *experiencia* se encarga de velar para que cosas iguales, por caminos diferentes, al juntarse se hallen iguales.

Nótese todas las precisiones: igualdad controlada en A_1 ; transporte de M_1, M_2 , cada uno por su camino, durante el cual no sabemos si M_1 en B_1 es igual a M_2 en C_1 ; ni si M_2 en C_2 es igual a sí misma en C_1 ; esto es incontrolable, según la segunda definición de coordinación; mas al juntarse en el mismo lugar $A_2, M_1 = M_2$: puede ser que ambos hayan cambiado mucho durante el camino, que en algunos lugares sea $M_2 > M_1$; en otros $M_1 > M_2$: todo se iguala al juntarse en A_2 . Para una *sola medida* la naturaleza no señala criterio físico de igualdad; para dos, nos lo ha dado dentro de ciertos límites.

Con todo, esto se sigue de la definición primera: “si llevamos la unidad de medida de A_1 a A_2 por S_1 , y señalamos su longitud, y determinamos que sea igual en A_2 a la de en A_1 ;

y por S_2 , repetimos la operación, la unidad de medida coincidirá consigo misma”.

Para lo que necesitamos una nueva definición es para poder comparar M_1 , M_2 en dos puntos cualquiera del camino, sin llevarlos a coincidir: diremos que también entonces son iguales; cosa incontrolable, pues sólo una coincidencia mediata o inmediata nos lo permitiría afirmar.

Tenemos, pues, tres definiciones de coordinación que la experiencia ni afirma ni niega, es decir, no ha determinado ni la afirmativa ni la negativa, aunque racionalmente necesitaríamos una de las dos partes.

α) *La designación física de una unidad de medida.* La naturaleza no está hecha del todo para ser medida, se nos muestra un poco indiferente a este vestido que le echamos. La física, como ciencia, no es del *todo natural* a lo físico. Veremos porque. Aquí hay ya una indecisión.

β) *Falta un medio físico propio, sin círculo, para ver* que la naturaleza respeta la *unidad*, que de suyo es invariable, señalando una ley de transporte que no la altere, o al menos, la cambie según ley. Hemos de suplirlo por una afirmación incontrolable que permita simplificar los cálculos; es decir, que introducimos en el dominio matemático totalmente racional, un elemento *alógico*.

γ) *Falta un medio o ley física* para saber si dos unidades derivadas, iguales en A_1 serán iguales entre sí durante el transporte por caminos diferentes.

La naturaleza se muestra poco sensible a lo métrico

Veremos que lo es mucho más a lo topológico.

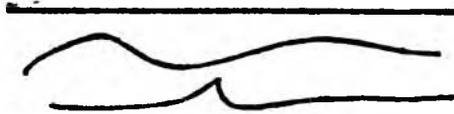
En cambio, nos da una facilidad métrica, controlable físicamente y encarnada en cuerpos especiales, los *sólidos*; a saber: la *figura* de los *sólidos*, dentro de límites experimentales bastante amplios para lo humano, es invariable al transporte. Digo la *figura* y no la forma geométrica: la *figura* es la presentación inmediata, la disposición visual o táctil del cuerpo sólido, más o

menos retocado por nosotros, sin que digamos que sus aristas son *rectas*, su forma *prismática*...

La forma geométrica es la figura directamente dada; pero interpretada, coordinada a una especie geométrica pura. La forma geométrica, ya demostramos que sólo puede decidirse presuponiendo una *métrica*.

Al ver lo que llamamos una *recta*, una *circunferencia*... no vemos propiamente nada de eso; para verlo sería menester que la naturaleza nos permitiese ver la *métrica propia*, para que la sucesión de puntos fuese precisamente una *recta*, una *circunferencia*... Y al experimentar, hallaríamos la ley de transporte correspondiente como una ley *físico-geométrica*.

Tal cosa no se encuentra por ninguna parte. Veremos diversas figuras; empero llamar a una de ellas *recta* no quiere decir que encarne el tipo de *recta* matemática.



Suponer, pues, *figuras inmutables* (más o menos) al transporte, no es suponer ni mucho menos dárse nos, una *métrica*. Siempre será una definición de coordinación vincular a tales figuras la “unidad de medida”. Introducimos una simplificación con fundamento experimental.

La figura pertenece a la *topología*, y sabemos que aun dentro del mismo número de dimensiones se dan figuras esencialmente diversas. La física o la naturaleza respetan durante un transporte lo más puro posible estas propiedades topológicas.

La naturaleza es sensible a lo topológico; por tanto:

“El espacio físico, es decir, los cuerpos con “extendimiento” no se hallan totalmente determinados en un punto a propiedades métricas; si queremos eliminar esta indeterminación y construir una geometría métrica real, de igual grado de determinabilidad que la geometría métrica abstracta, son menester tres postulados, que por relacionar el dominio físico con el matemático se denominan definiciones de coordinación”.

Son los puntos en que pretendemos racionalizar, matematizar lo real. Serán puntos de “sorpresas experimentales”, mientras no sean conocidos. Al poner el pie en ellos, caemos en el vacío de lo abstracto: ésta es la raíz de los fracasos de la física clásica y la de las victorias de Einstein.

Newton supone (inconsciente, mas efectivamente) que la naturaleza sigue la *métrica euclidiana*: que el mundo está *totalmente matematizado*.

Si queremos *imponer* una métrica, será cuestión de ver cuál va mejor, aunque ninguna se adaptará perfectamente.

Como unidad métrica elegiremos los cuerpos sólidos y por tanto *supondremos* que son *rígidos*.

Sólido es un concepto físico-topológico, definible por medios propios (estado físico especial de cohesión); en cambio, *rígido* es un concepto métrico. Y así:

Cuerpos rígidos son los cuerpos sólidos, cuando hemos eliminado las fuerzas diferenciales; entonces el transporte no altera las propiedades métricas.

Vamos a ver ahora un punto de importancia capital: en qué se conoce que hemos impuesto a lo físico una métrica que no le es natural, y los grados de innaturalidad; ya que toda métrica lo es en un grado mayor o menor. O sea, vamos a ver la relación entre fuerzas explícitas, bajo forma de causa eficiente, y métrica prefijada y hasta qué limite podemos eliminar las fuerzas, cambiando la métrica. Es uno de los puntos más profundos de la teoría relativista: a la vez que de innegable valor filosófico para la formación de conceptos dentro de la ontología de lo físico.

Geometría y fuerzas

Causa formal. - Causa eficiente

Supongamos que los cuerpos físicos en punto a propiedades geométricas se rijan por la geometría de Euclides, la de métrica más rigurosa. Newton hace implícitamente esta suposición.

Caractericemos brevemente la geometría euclídea, pues lo necesitaremos con frecuencia.

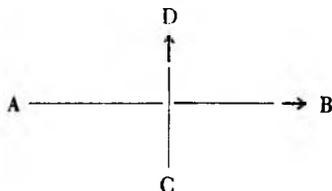
En geometría euclídea estudiamos las propiedades de las figuras, suponiendo:

1.º) Que el movimiento, sea de traslación o rotación de las mismas, no cambia sus propiedades. Es decir, las propiedades geométricas, vgr., “los tres ángulos de todo triángulo suman dos rectos”, se conservan igual, aunque paseemos la figura por el espacio, la invirtamos, o hagamos girar al derredor de un punto con cualquier velocidad. Naturalmente que tratamos de figuras ideales, movimientos ideales. Invariancia frente a posición o lugar en el espacio.

2.º) Las propiedades geométricas son igualmente independientes (invariantes) de la magnitud. Suman dos rectos tanto los ángulos de un triángulo pequeño como los de uno grande. Invariancia frente a semejanza.

3.º) Las propiedades geométricas son independientes del sentido y dirección.

Distingamos entre dirección y sentido.



La recta AB define una dirección, la horizontal; CD otra dirección, la vertical; y en cada una caben dos sentidos, hacia la derecha, hacia la izquierda; hacia arriba, hacia abajo. Decimos, pues, que las propiedades geométricas son independientes del sentido en que estén colocadas las figuras. Invariancia frente a sentido o simetría.

Evidentemente sería una geometría más complicada la que tuviese que estudiar figuras, cuyas propiedades cambiasen con el movimiento, con la magnitud; por ejemplo, si en un triángulo 10^{10} veces mayor que otro la suma de los tres ángulos fuese algo mayor que $2R$. Veremos que algo parecido sucede en la geometría empleada por la relatividad.

Digamos, pues:

“La geometría clásica estudia las propiedades de las figuras que permanecen invariantes frente al movimiento (posición en el espacio), a la magnitud y al sentido. Pero notemos, que invariancia equivale, bajo cierto aspecto, a “insensibilidad frente a diferencias”. Por eso no podemos apre-

ciar, por solo examen de los teoremas (o propiedades), si la figura es grande o pequeña, si está a la derecha o a la izquierda, si lejos una de otra... Ya podemos presentir que la geometría del espacio físico (si no queremos que espacio físico sea igual que espacio geométrico puro, tan indiferente a la posición, a la magnitud, al sentido) difícilmente se adaptará a este tipo tan poco sensible a cosas, al parecer muy fundamentales para un espacio físico, como son la distancia, la magnitud, el sentido. Magnitud, dirección, posición, son finuras incontrolables en esta geometría, llamada métrica; y que bajo muchos aspectos es una traducción de los datos del sentido del tacto.

Mas esta geometría aprecia otras finuras; vgr., la distinción entre triángulos rectángulos o no; entre cuadriláteros (cuadrado, rectángulo); entre línea curva y recta, y más todavía entre línea y superficie... Así las leyes o propiedades de la circunferencia son diferentes de las de la parábola, elipse o hipérbola; las de un triángulo equilátero, de las de uno isósceles...

Guiarse los cuerpos por la geometría de Euclides quiere decir que las leyes físicas reales siempre que entren en el campo geométrico, realizarán tal geometría. Entendiéndose por "entrar en el dominio geométrico" tener que manifestar o seguir una propiedad geométrica, por ejemplo, describir una trayectoria, adoptar una figura externa, etc., frente a fenómenos que directamente no tienen que ver con las propiedades geométricas, como cambio de color, de peso, de cantidad de electricidad...

Ahora bien; en la geometría de Euclides son tratadas como figuras diferentes no sólo las de topología irreductible, sino las topológicamente iguales, mas cuyas diferencias no se pueden llevar unas a otras por las transformaciones de los grupos fundamentales, posición, simetría.

Si, pues, una ley física obliga al cuerpo en unos casos a describir una recta y en otros, una curva por pequeña que sea no podrá explicarse esto último por la geometría real, habiendo de acudir a una fuerza, a una nueva causa. Tenemos, pues, un principio general para conocer cuándo aparece una nueva fuerza dentro de la geometría euclídea; o bajo otra forma, cuándo a la *geometricidad natural de una causa*, a la geometría intrínseca (semi-causa formal) de un fenómeno, hay que añadir una causa *eficiente*, tipo *fuerza*.

“Principio de distinción entre fuerzas geometrizadas y fuerzas eficientes, no geométricas”

“Cataloguemos las figuras geométricas diferentes, irreductibles para las transformaciones que definen el grupo métrico-euclídeo: si un fenómeno sigue a veces una de ellas y en otros casos, no, será preciso en unos u otros admitir la presencia de una causa *extrageométrica*, de una fuerza *física*, no geométrica”. Para las transformaciones realizables dentro de tal geometría no se requiere nueva causa, basta que los cuerpos sigan la geometría intrínseca. Y la llamamos “intrínseca” no porque lo sea en absoluto y hablando metafísicamente (cosa que aquí no discutimos), mas porque en relación a lo que sucede transitoriamente al presentarse las fuerzas, estos otros fenómenos parecen más naturales y permanentes.

Pongamos un caso típico. En la geometría de Euclides se dan líneas que son *geodésicas*; es decir, de vez las *más cortas* (métrica) y las *más directas* (topología); tales son las rectas. Además, la curvatura total del espacio es nula; es un espacio abierto. Sabemos lo que esto significa topológicamente, un *orden* particular entre los puntos. No vayamos ahora a imaginar que junto a los cuerpos reales se dé una segunda entidad que sea puro espacio euclídeo, subsistente, en sí, independiente.

Así lo imaginó Newton y veremos por qué. Nosotros, para evitar ya desde un principio un error o falso camino, admitiremos que los mismos cuerpos y sus fuerzas se hallan sometidos, no por imposición externa, sino por estructura interna, a una geometría.

En este caso, el euclídeo, el movimiento de un cuerpo que sigue la geometría impresa en sus fuerzas naturales, será la línea recta, la *línea de inercia*. Notemos que hay en el cuerpo fuerzas *naturales* (decimos naturales para significar que se hallan bajo una forma que las asemeja a causas formales, habituales, permanentes) que no están primariamente geometrizadas vgr., las de cohesión, que determinan el *estado* del cuerpo sólido, líquido...; las que fijan el número de protones y electrones... son causas *topológicas*. Hay otras que están de hecho y han de estar por estructura, más o menos geometrizadas; vgr., las que causan movimientos, dan la figura externa, la forma

cristalina...; y de éstas decimos que si están geometrizadas euclídeamente, dejadas a sí mismas cumplirán las leyes euclídeas. Por eso una fuerza motora geometrizada euclídeamente sin más intervenciones llevará al cuerpo por la línea abierta; seguirá una geodésica, un mínimo. Para tales movimientos no se requiere *fuerza*; se entiende fuerza de tipo causa eficiente nueva; se requiere una causa, que tiende a ser del tipo causal formal, intrínseca, habitual.

Al ir eliminando influjos diferenciales, fuerzas atractivas, centrípetas productoras de cualquier clase de rozamiento pareció a Newton y Galileo (y es verdad hasta cierto punto) que el movimiento se reducía a un tipo único; el inercial, la línea recta, recorrida con velocidad *uniforme*, es decir; la línea euclídea, de métrica fija, uniforme durante el transporte.

Por esta razón las leyes físicas fueron formuladas por Newton de manera que permaneciesen invariantes frente a las transformaciones del grupo métrico fundamental.

Por tanto, cualquier desviación de la línea recta es debida a fuerzas, que serán de tipo causa eficiente y de algún modo *exteriores* al sistema de cuerpos o cuerpo movido. De consiguiente: los fenómenos gravitatorios no provienen de las fuerzas intrínsecas al cuerpo en cuanto sometidas a la geometría natural, euclídea; no hay fusión posible entre gravitación y geometría real; los cuerpos, una vez libertados de la gravitación, fuerza externa, siguiendo sus fuerzas internas y la geometría impresa en ellos se escaparían en línea recta, con velocidad uniforme hacia el infinito; el mundo se disiparía como un gas. Nos hallamos muy lejos de Einstein.

De que la línea natural de los cuerpos, dejados a sí mismos, sea la recta euclídea se sigue la posibilidad de definir un sistema absoluto de referencia, o un sistema inercial según la terminología de L. Lange.

Notemos ahora que según Newton "la forma verdadera de las leyes frente a las formulaciones especiales que les demos, referidas a diversos sistemas de coordenadas, es precisamente aquélla en que las formulaciones son referidas a un sistema inercial".

Hemos visto que el único movimiento *natural*, que no nece-

sitaba causa externa al cuerpo, era el *inercial*, el que sigue la recta.

Son, pues, menester *fuerzas* para la gravitación, para las fuerzas centrífugas, de Coriolis, para los fenómenos electromagnéticos; es decir, *casi nada de la física* se puede explicar por la geometría natural; son dos dominios con gran independencia. Era, pues, muy tentador suponer que lo geométrico se hallaba encarnado en una entidad *separada* de los cuerpos; ya que lo geométrico en ellos era tan poco y esto poco se manifestaba en aguda contraposición a lo físico.

Tal es el *espacio absoluto de Newton*; los cuerpos se hallan en su seno, y mientras no influyen en ellos las fuerzas gravitatorias, o permanecen quietos, o siguen la línea natural. La fuerza queda definida muy naturalmente por Newton, como una perturbación de la uniformidad del movimiento, o como una desviación de la dirección rectilínea; o sea, *como algo anormal*, atentatorio al reposo y rectilineidad del universo. Los cuerpos se hallan *en* el espacio como dentro de otro ser diferente, que obra sobre ellos más naturalmente que las fuerzas, pero al fin extrínsecamente; nos hallamos en un sistema de separación total entre geometría y física.

Separado el espacio absoluto, como substrato propio de la geometría euclídea, se pueden definir en él sistemas absolutos de referencia, sistemas inerciales en cada uno de sus puntos. Todos ellos son equivalentes *geométrica y físicamente*; es el principio de *relatividad newtoniana*.

Vamos a explicarlo; aunque es una pura consecuencia de lo anterior.

En geometría euclídea abstracta sabemos que es imposible distinguir o hallar una propiedad nueva respecto de dos figuras, una de las cuales sale de otra por puro corrimiento; tanto da que el desplazamiento sea hacia la derecha como hacia la izquierda, mientras se haga con velocidad constante. Al *movimiento puro no corresponde propiedad nueva que no posea ya la figura en reposo*. Consecuencia un poco sorprendente y soezchosa desde el punto de vista físico.

En geometría euclídea son equivalentes reposo y traslación.

Luego, si hay una entidad que encarna el espacio euclídeo, el reposo y el movimiento uniforme no poseen propiedades diferentes; son puramente relativos. Cualquier cuerpo puede ser considerado como en reposo, o en

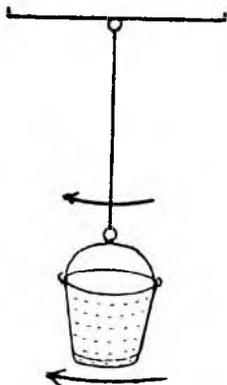
movimiento uniforme. Y así parecería suceder *físicamente*; por de pronto, en la formulación de las leyes mecánicas. La caída de los cuerpos, las leyes sobre choques, gases... presentan igual forma en un tren en movimiento uniforme, o cuando está parado. Todos hemos experimentado la impresión de reposo mientras la comarca que el tren recorre parece animada de un movimiento en sentido opuesto; y al revés, cuando un tren a nuestro lado emprende la marcha. Una vez adquirida velocidad uniforme, de suyo, si no fuese por roces a vencer, etc., el tren continuaría indefinidamente en movimiento rectilíneo y uniforme sin empleo de fuerzas; físicamente no caracterizarían a tal sistema propiedades que no poseyese en reposo; considerarlo, pues, en reposo y lo demás en movimiento, no supone cambio alguno ni adición de *fuerzas*, para mover el sistema de referencia. Mas si esto vale desde el punto de vista de la causalidad eficiente, no es totalmente igual desde otros puntos; el mismo acto de pasar de movimiento a reposo e inversamente, se halla en un cuerpo y no en otro; aquí ya no vale la relatividad clásica; veremos qué solución da Einstein.

Del concepto newtoniano de espacio absoluto se sigue que no existen en él puntos privilegiados con propiedades físicas que posean unos y no otros; cada punto puede ser considerado en reposo o en movimiento uniforme; no hay un solo sistema absoluto de referencia, sino una variedad triplemente infinita, según las tres dimensiones.

Según esto, al espacio absoluto no corresponde propiedad física alguna. No vale para comprobar si un cuerpo se mueve o está en reposo.

Newton halló otros criterios para descubrir el estado de los cuerpos, respecto al espacio absoluto: es clásico el experimento. Véase la figura adjunta.

Si arrollamos el hilo perpendicular hasta que quede bien retorcido y después lo soltamos, comenzará el conjunto a dar vueltas en la dirección indicada: al principio, dice Newton, mientras gira *realmente* sólo el vaso; y el movimiento no se ha comunicado al agua que encierra, ésta conserva su superficie llana; mas apenas el movimiento de rotación se le ha comunicado, el agua adopta en su superficie la forma parabólica, subiendo hacia los lados del vaso por la fuerza *centrífuga* desencadenada. En el estadio primero, podemos afirmar que el agua giraba *relativamente* al vaso; mas como era un giro puramente relativo, un movimiento ficticio, no aparecían las fuerzas centrífugas y la superficie del agua no se alteraba; mas cuando la rotación relativa se hace real, absoluta, sobrevienen las fuerzas cen-



trífugas y el agua adopta la forma conocida. Así que el cambio de forma geométrica y las fuerzas centrífugas son criterios de rotación intrínseca. Ponderemos bien este experimento.

Newton, afirma:

a) Mientras el vaso gira *realmente* respecto del agua, y por tanto ésta gira *relativamente* a él en sentido inverso, pero sin movimiento real, ni se deforma el agua ni aparecen fuerzas. Por tanto, aunque girase al rededor del agua, en el mismo sentido que el vaso, *todo el universo*, aunque girasen todas las estrellas, sin el giro del vaso, ni de la tierra, afirma Newton que ni la tierra se aplastaría por los polos (efecto según él de la rotación intrínseca), ni el vaso se deformaría más o menos, ni el agua cambiaría la forma de su superficie.

Aunque, pues, “girar” es un concepto relativo, “gira uno respecto del otro”, se puede conocer muy bien quién es el que realmente gira, y quién es el que no se mueve; y esto por criterio físico: el que de hecho gira se deforma físicamente, aparecen fuerzas centrífugas, de Coriolis..., todo lo cual no sucede si sólo gira el sistema de referencia: entonces en éste aparecen dichos efectos, deja de ser sistema de referencia, y esta propiedad pasa al cuerpo no deformado. Tenemos, pues, dos series de fenómenos: unos que no deforman los cuerpos ni desvelan fuerzas, los inerciales, he aquí el sistema natural de referencia; otros, los que desvelan fuerzas y deforman, éstos han de ser referidos a aquéllos.

“*Un sistema absoluto y físico de referencia es aquel en que no aparecen fuerzas ni se altera la forma física. No pierde la cualidad de tal por el movimiento uniforme o por el reposo*”.

b) El espacio absoluto queda caracterizado, porque respecto de él los cuerpos en rotación se deforman. El movimiento uniforme y el reposo no poseían distintivo físico dentro de la mecánica, Designar, pues, el sistema de referencia, como tal siempre en reposo, era cuestión sin sentido físico. Ahora vemos que el movimiento de rotación posee efectos físicos que no tiene el sistema de referencia: luego, podemos saber quién es el que se mueve y quién no; y éste será el sistema de referencia.

Crítica de Mach y solución de Einstein

Si cuando el agua ha tomado la forma parabólica, paramos la rotación del vaso, el agua continúa un rato con tal forma, y sujeta a las fuerzas centrífugas internas que se la dan. De aquí concluye Newton que tal forma le proviene de una causa intrínseca: por eso afirma que si girasen en torno todas las estrellas, como al principio giraba el vaso, el agua se quedaría plana. Esto es lo que niega Mach. Primero, porque es inexperimentable; Newton no puede saber lo que pasaría si girase/n/de tal modo las estrellas, de manera que hiciesen las veces del vaso primitivo. Mientras giraba el vaso relativamente al agua, y este movimiento no se había comunicado por roce, el agua se quedaba llana; mas podría depender de la pequeñez del vaso; si girasen de parecida manera todas las estrellas, ¿se puede afirmar que el agua permanecería llana? Se puede contestar que sí o que no. Es una suposición sin fundamento, la de Newton. Él opta por la afirmativa; Mach dice que no. Precisamente el giro de tan grandes masas produciría deformaciones, y cuando hubiese adquirido la velocidad correspondiente se pondría poco a poco llana, pues entonces se hallaría en reposo relativo respecto de las estrellas en rotación.

Las fuerzas inerciales centrífugas son manifestaciones dinámicas de gravitación; la atracción de todas las masas del mundo sobre el agua (u otro cuerpo) cuando se hallan en reposo no produce fuerzas centrífugas, y deformaciones. De parecida manera, la electricidad en reposo no produce un campo magnético. Mas si todas las masas de las estrellas se ponen a girar, la *gravitación* adquiere entonces nuevos efectos dinámicos, a saber, las fuerzas centrífugas...; al modo que a la electricidad en movimiento acompaña un campo magnético. Newton se equivoca al pensar que tal rotación no producirá efecto alguno: pues no adivina los efectos dinámicos de la gravitación; por eso no sabe explicar la comunicación del movimiento al agua, sino por *roces*.

Para completar la física era preciso, según estas ideas de

Mach, construir una teoría de gravitación bajo las formas estática (de Newton) y dinámica; entonces quedaban explicadas las fuerzas *inerciales* como *gravitatorias* y reducido el número de nociones físicas. Mach no supo hacerlo. Lo halló Einstein.

Tenemos, pues, esta contraposición:

Newton	}	Agua abovedada por movimiento intrínseco; y a la vez
I)		
	}	Agua en reposo, llana o en movimiento puramente relativo; y a la vez,
II)		

Supone: gravitación solamente estática; aunque girasen las estrellas sus efectos centrífugos, su deformación total, por sola gravitación o atracción sobre el agua en reposo, con forma plana, no se notarían.

Mach	}	Agua abovedada en <i>reposo</i> intrínseco; tal forma es efecto de la <i>rotación</i> total del cielo; gravitación <i>dinámica</i> , que deforma, sin mover, el agua. (Como el calor).
I)		
	}	Agua en reposo, en forma plana; si las estrellas se hallan en reposo por ausencia de causas deformadoras, todo queda igual: si se hallan en rotación, entonces la forma plana, es efecto de que el reposo del agua se ha cambiado en movimiento igual al del cielo, en rotación de igual período y sentido.
II)		

Newton afirma que la forma abovedada del agua no puede provenir sino de un movimiento intrínseco; no se la puede considerar como en reposo. Newton no hallaba *causas* de la deformación, por no conocer la gravitación dinámica.

Vemos, pues, que con el concepto de gravitación dinámica podemos considerar en este caso al agua como en *reposo*; de consiguiente, la deformación no es *indicio* de movimiento *intrínseco*, y nos hallamos con que ni el movimiento uniforme ni el de rotación (acelerado o no) poseen *propiedades físicas*, por sólo ser movimientos, que no posea el reposo.

Tenemos conseguida una relatividad más amplia que la clásica.

Claro está que todo *movimiento* es relativo al *reposo*; son movimiento y reposo conceptos que se completan mutuamente; mas no por eso deben ser sin más *relativos físicamente*, es decir,

sin preeminencia *real*, de uno sobre otro; podría ser, hablando a priori, que el reposo o el movimiento o al menos alguna clase de movimiento poseyese propiedades exclusivas, y entonces la *relatividad lógica* valdría; mas no la *física*. Tal sostenía Newton para el movimiento de rotación y semejantes (el de la luna, péndulo...). Einstein mantiene la *relatividad lógica y la física*. Lo que se amplía ahora es la teoría de la gravitación.

Al reposo y al movimiento no corresponden propiedades físicas: la naturaleza no es sensible a diferencias cinemáticas. El punto cinemático es puramente subjetivo.

Pero, ¿no podría ser que la gravitación fuese solamente de tipo estático? Entonces tendría razón Newton contra Mach. ¿Por qué englobar en nueva entidad—campo gravitatorio—efectos estáticos como el peso, y dinámicos, como las fuerzas centrífugas?

Si no hay un fundamento *físico*, sino sólo matemático, de simplificación conceptual no habríamos adelantado nada en *física*. Nos hallaríamos ante la teoría de Einstein, como el principio de Hamilton frente a las ecuaciones de Lagrange: economía de deducción, ganancia lógica; mas no por eso queda demostrado que *toda simplificación lógica describa mejor y se adapte mejor a la realidad, que un sistema de mayor complicación conceptual.*

Inmediatamente veremos qué es lo que da la razón a Einstein. Por ahora nos vemos precisados a introducir una nueva definición de coordinación.

4.^a definición de coordinación. Reposo

Las proposiciones “El sistema A se halla en reposo”.

“El sistema A se halla en movimiento”,

son desde el punto de vista *físico, indiscernibles*: la naturaleza no da propiedades para distinguirlo. Se muestra indiferente a lo cinemático. Aquí nos hallamos de nuevo ante proposiciones contradictorias que la naturaleza no decide; una nueva *irracionalidad lógica*, que nos indica la independencia entitativa de lo físico frente a lo lógico.

Tratándose de una indeterminación irresoluble por lógica, sólo cabe resolverla por nuestras imposiciones: por un medio algo artificial; la definición de coordinación, que adaptaremos a nuestras conveniencias.

Nos serviremos del cuerpo *sólido*. Por tres definiciones de coordinación determinamos ya: *primera*, que el cuerpo sólido es, bajo ciertas condiciones, unidad de medida; *segunda*, que no cambia por el transporte; *tercera*, que dos patrones iguales continúan tales, aunque se hallen distantes (igualdad a distancia); y por una *cuarta* definición diremos que “tres puntos que no se hallen en un plano, se hallan en reposo si pertenecen a un cuerpo rígido, o sea; a un sólido que llene las tres definiciones anteriores. Puntos unidos por cuerpos rígidos se hallan en reposo. Por comparación con tal sistema sabremos del movimiento de los demás. Siempre teniendo ante la vista que no hay ninguna necesidad de tal coordinación: podríamos tomar como “sistema en reposo” un conjunto de puntos de un gas en dilatación continua: las leyes físicas adoptarían una forma más complicada, mas no por ello solo menos verdadera. Lo hemos decidido “por comodidad”, por “*intervención de un valor*”.

Notemos ahora que la misma entidad, la gravitación, se exterioriza en dos clases de *manifestaciones*. Las estáticas (peso, presión) y las dinámicas (inercia frente a movimientos no uniformes); veremos que son del tipo *accidentes transitorios, manifestaciones anormales*.

La misma causa formal, “universo trabado por la gravitación”, si se la perturba, reacciona de dos maneras diferentes.

Sirviéndonos de la geometría proyectiva podemos afirmar: el universo en estado normal es como una superficie cónica íntegra; el universo perturbado es como un cono en que hemos hecho *secciones*; según como las hagamos obtendremos una circunferencia, en otros casos una elipse, parábola, o hipérbola: curvas tan diferentes se hallan *potencialmente* en la superficie cónica, única, trabada, lisa: e igual se han respecto del estado normal del universo las fuerzas gravitatorias estáticas y las dinámicas.

Que se manifiesten solas o juntas depende de “secciones” que introducimos en el universo.

Hemos de ver si son “puras perspectivas humanas” o “perspectivas objetivas”.

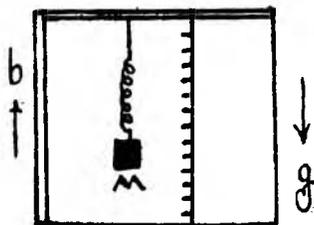
De todos modos resulta claro que la tendencia de la física va al tipo de causa formal y derivar de ella las eficientes, bajo forma de *fuerzas*: se ha como unidad proyectiva a pluralidad métrica de figuras. Desde el punto de vista lógico las definiciones básicas deberán poseer una estructura original, propia de la física, a estudiar en otra obra. Aquí presentamos los materiales objetivos, de manera que converjan, que apunten y aludan al tipo lógico que explicaremos en lugar oportuno.

c) *Fusión de geometría y física. Einstein.*
Principio de equivalencia

La idea que empleaba Mach para refutar a Newton, y demostrar que el movimiento de rotación no permitía definir un sistema absoluto de referencia, siempre en reposo, se reducía en última instancia a afirmar que las manifestaciones inerciales no eran sino manifestaciones gravitatorias; que de algún modo eran equivalentes gravitación e inercia. Mas no pasaba de ser una hipótesis, lógicamente posible, con lo cual la teoría de Newton perdía el distintivo de ser la única posible. Pudiera ser con todo muy bien que fuera precisamente la real, la que siguiera la naturaleza. Al menos nos deberíamos quedar sin decidir nada. Einstein resuelve a base de la experiencia esta cuestión lógicamente indecisa; su teoría, complemento de la de Mach, tendrá valor físico.

Se funda en el llamado “principio de equivalencia” entre cualquier clase de movimientos (rectilíneo, uniforme, de rotación, acelerado...).

Sea un espacio cerrado en forma, vgr., de cajón, y supongamos que un físico que halle dentro de él, sin poder ver lo que pasa fuera; nota que el resorte se estira, comparándolo con una escala rígida adjunta. Es claro que esto depende de que la masa m tira más del resorte; ¿cuál será la causa de esto último? Caben dos interpretaciones igualmente satisfactorias desde el punto de vista lógico:



1) El cajón se halla animado de un movimiento acelerado hacia arriba, dirección b , la inercia de m tira hacia abajo para conservar el reposo primitivo.

2) El cajón se halla en un nuevo campo gravitatorio, de modo que aun estando en reposo, la masa m es atraída hacia abajo, aumentando de peso; de ahí el aumento de longitud del resorte.

Es claro que podemos regular b y g de manera que sean iguales; tenemos que *inercia más movimiento acelerado del cajón, equivale a peso más reposo del cajón*. Dentro del cajón ningún experimento podrá decidir sobre cuál interpretación es la real. La misma indeterminación permanece aunque el físico pueda mirar al exterior; los efectos cinemáticos son iguales; en el primero vería caer los objetos, digamos, moverse hacia abajo con igual velocidad (b), mas de signo inverso; y en el segundo, por el campo gravitatorio le sucedería lo mismo. La aceleración gravitatoria, en su aspecto cinemático, de recorrido espacial, es exactamente igual que cualquier otra aceleración de igual valor absoluto.

Y no nos queda el recurso de decir, que en la primera interpretación no se presentan nuevas masas y en la segunda sí, para causar el campo gravitatorio; pues sabemos por la crítica de Mach, que sin aumentar las masas, sin que en nuestro caso aparezcan por abajo, se pueden producir fuerzas gravitatorias por solo el movimiento de las ya existentes (gravitación dinámica).

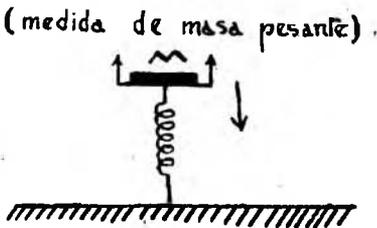
Este experimento ideal no demuestra sino que la equivalencia conceptual existe; mas pudiera ser de hecho que no fuese real sino la segunda suposición.

Vamos a ver que la misma naturaleza no ha decidido, ha dejado ambas interpretaciones como posibles: nos hallamos ante otro caso en que el dominio lógico no acopla exactamente con lo real.

Distingamos entre masa inerte y masa pesante.

La masa inerte es el coeficiente de la fórmula $F = m_1 \cdot a$: una fuerza; vgr., el resorte de la figura 1) cuya fuerza elástica de reacción se mide

por el acortamiento primitivo, por ejemplo el señalado por la línea de puntos perpendicular, comunica doble aceleración a una masa mitad que



otra; triple, a una tres veces menor..., lo conoceremos por la aceleración que tomará la carretilla. Si ahora ponemos la masa m en el platillo, sabemos (figura II) que la presión que se notará en el resorte será $G = m_2 \cdot g$. Un hecho experimental de los más comprobados y seguros nos dice que si tomamos el mismo cuerpo sin cambiar el volumen ni las demás circunstancias, y medimos su masa inercial y da m_0 , vale $m_1 = m_2$. Es decir, la masa reacciona igual ante la gravitación y ante las demás fuerzas de carácter diferente. Esto no es necesario a priori. Parece más bien que si las fuerzas físicas, vgr., las de elasticidad y gravitación son diferentes, la misma masa debería reaccionar diferentemente a ellas. Más aún: si dos cuerpos pesan igual, mas

son de diverso volumen, parece que respecto de las demás fuerzas físicas su inercia debería ser diferente. Que la inercia no sea función del volumen, de la estructura química, y que lo mismo suceda respecto del peso, es un hecho experimental. Bajo otra forma esta ley dice que "todos los cuerpos caen con la misma aceleración en el vacío".

Este hecho experimental es el que justifica que la tesis de Mach, afirmando la equivalencia de inercia y gravitación, posea un valor físico, además del puramente lógico que poseía igualmente la explicación de Newton.

La naturaleza nos quita la distinción entre inercia y gravitación; en el caso de que la interpretación inercial fuese la real y física, sería controlable el estado de movimiento de unos cuerpos y el reposo de otros; movimiento y reposo no serían conceptos equivalentes-relativos, sino relativos lógicos y no-equivalentes reales.

En el caso de que la explicación gravitatoria fuese la real, sería real el movimiento de sistema astronómico y el reposo del cajón; la naturaleza, al hacer equivalentes masa inerte y masa gravitatoria, no se decide por ninguna interpretación: ambas son arbitrarias, dependerán de nuestra manera de mirar.

Comparemos ahora el concepto de inercia en Newton y en Einstein. La ley de la inercia dice en Newton "una masa, lejos de toda fuerza, o se mantiene en reposo si en él se hallaba, o bien se mueve con velocidad uniforme rectilínea indefinidamente". Y esto se cumple en cualquier parte del espacio en que soltemos un cuerpo y sobre todo lejos de los cuerpos gravitatorios, en los espacios estelares, donde la única fuerza eficaz, la gravedad, casi no se nota por la distancia. Así, nuestro sistema solar en conjunto se mueve en línea recta, con dirección al infinito, con velocidad uniforme, cual si no existiesen las estrellas; pues sus influjos son demasiado pequeños; o bien se halla en reposo; es decir, cumple la ley de la inercia; y lo mismo vale de cualquier cuerpo, lejos de un campo gravitatorio.

La ley de la inercia se cumple en los grandes espacios vacíos interestelares, según Newton; digamos sistemas astronómicos inerciales; y no se cumple pura cerca de los cuerpos, vgr., en el campo gravitatorio terrestre; la línea inercial queda encorbada bajo el influjo de la gravedad; mas la inercia vuelve por sus fueros haciendo sentir su influjo en las fuerzas centrífugas (vgr., las de la luna que la impiden caer en la tierra, las de Coriolis...).

Es claro que con la equivalencia conceptual y real a la vez entre gravitación e inercia tal formulación cae por su base.

Veamos cómo trata Einstein estas ideas.

Sabemos que en un sistema inercial la aceleración es cero; o sea, la velocidad uniforme, la trayectoria una recta. Además, dos aceleraciones de sentido opuesto y de igual valor absoluto se contrarrestan y dejan al cuerpo en reposo o en movimiento uniforme, es decir, como si hubiese un sistema inercial.

Tenemos un medio para hacer sistemas inerciales. "Dado un campo gravitatorio $g \downarrow$, superponer una aceleración $b \uparrow$ ": el cuerpo quedará en reposo o en movimiento uniforme, si el valor absoluto de $|g| = |b|$. El espacio recorrido por un cuerpo sometido a la gravedad es,

$$\downarrow s_1 = -\frac{1}{2}gt^2 + bt + a; \text{ y el recorrido por el mismo cuerpo sometido a una}$$

aceleración b , igual a g en valor absoluto $|b| = |g|$, mas de dirección contraria es,

$$\uparrow s_2 = -\frac{1}{2}gt^2. \text{ En } s_1 \text{ los miembros } bt + a, \text{ es decir, una velocidad unifor-}$$

me inicial y un trayecto fijo inicial no eran efectos de la gravitación, que siempre da un movimiento acelerado: así que

$\downarrow s_1 - s_2 \uparrow = bt + a$; "el cuerpo queda en movimiento rectilíneo y uniforme", o bien en reposo si $b = a = 0$.

Se pueden formar sistemas inerciales superponiendo a un campo gravitatorio otro de aceleración igual en valor y de sentido opuesto.

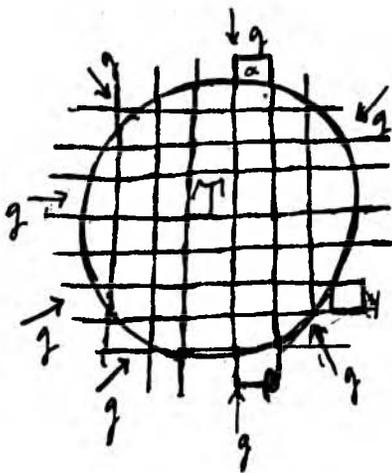
O más técnicamente: "suponiendo que la caída tiene lugar en un sistema de referencia con el movimiento acelerado conveniente".

Pues bien; Newton no admite estos sistemas inerciales; porque el cambio de coordenadas habría de ser, no $x' = x - vt$, cual el de Galileo, sino $x' = x - \frac{1}{2}gt^2$, es decir, no lineal, ni de tipo de transformación euclídea.

Mas desde el momento en que experimentalmente son iguales masa gravitatoria (reposo del sistema de referencia) y masa inerte (intervención del movimiento), hemos de pensar que a la naturaleza le importa poco el punto de vista cinemático o el dinámico. Así, la caída de un cuerpo en el campo gravitatorio, puede ser interpretada como fenómeno de inercia; a saber, resistencia al movimiento acelerado (en sentido inverso) que lleva el sistema de referencia; entonces el cuerpo se encuentra en reposo, en movimiento uniforme, inercial, y los efectos, vgr., el choque, aplastamientos... se habrán de interpretar por choque del sistema de referencia contra el cuerpo; no del cuerpo en movimiento contra el sistema de referencia en reposo (interpretación gravitatoria). Igual dolor causa el choque de un cuerpo si nosotros chocamos con él que si él choca con nosotros (en reposo) por moverse él con la velocidad g .

El cuerpo que cae puede considerarse, y la naturaleza nos da fundamento positivo, como en reposo, como hallándose en un sistema inercial; sólo que entonces el sistema de referencia debe hallarse en movimiento acelerado, g ; tenemos, por tanto, un medio de contrarrestar la gravitación.

Y ahora viene el punto más interesante y sutil de Einstein. Sea T un cuerpo atrayente, y consideremos el trozo (α) del espacio circundante; sea un cuerpo que caiga en él con la gravitación g ; según lo dicho podemos considerar físicamente a tal cuerpo como en reposo, suponiendo que el sistema de referencia, el cuerpo redondo entero T , se mueva hacia arriba con la aceleración $-g$. Pero notemos que si simultáneamente queremos retransformar (wegtransformieren) la gravitación en la celdilla (β) sería preciso suponer que el mismo T en el mismo momento se mueve en la dirección opuesta que convenía para la transformación en α ; es decir, la transformación de la gra-



vedad en movimiento acelerado del sistema de referencia, sólo puede ser alcanzada en un sistema local restringido y no de vez en todo el espacio con igual clase de transformación.

La equivalencia de inercia y gravitación es un fenómeno local; si se quiere emplear para transformaciones mutuas, no vale de vez para todo el espacio. Por tanto, los sistemas inerciales locales que obtenemos no poseen valor universal.

Newton no los admite como sistemas inerciales con iguales derechos que los astronómicos; aunque las leyes físicas posean igual forma en ambos casos. Por eso niega que se den sistemas inerciales cerca de los cuerpos gravitatorios.

Einstein sostiene todo lo contrario: no se dan sistemas astronómicos inerciales; los únicos reales son los sistemas inerciales locales.

Preferencia de lo finito próximo sobre lo lejano y grande: antimegalomanía.

Notemos que estas afirmaciones físicas no se siguen de la equivalencia dada por la naturaleza entre inercia y gravitación; sino que encierran mucho más, una nueva hipótesis que ha de ser controlada por la experiencia.

Ideológicamente se reduce a pedir que lo clásico, geometría de Euclides, sistemas inerciales, relatividad restringida, valgan para lo pequeño, y no valgan en lo grande; al revés de Newton. Claro que afirmaciones tan amplias se salen de las deducciones puramente lógicas del principio de equivalencia, tal cual es dado en la experiencia.

Con ello volvemos a un paralelismo muy significativo con la geometría. La geometría de Euclides vale en lo infinitamente pequeño (toda curva se compone de rectas infinitamente pequeñas) y toda geometría superior supone como primera aproximación de la Euclides.

Donde se empiezan a notar discrepancias es al llegar a lo grande, al infinito. Así pasa con la física clásica; en ella el tipo de movimiento natural, no perturbado, es el inercial; según Einstein, esto se cumplirá sólo en lo infinitamente pequeño, en regiones limitadas del universo, y precisamente compensando y componiendo las divergencias infinitesimales al modo como la recta infinitesimal suple la curva finita; en cambio, al subir a dimensiones mayores, vale otra geometría y otra física. Ya no existen sistemas inerciales; como en muchas geometrías no se dan líneas finitas tratables como rectas, aunque en todas ellas trozos infinitesimales de curvas equivalgan a rectas.

Lo clásico es principio infinitesimal, respecto de lo einsteiniano. Una consecuencia de estas ideas es la desviación de la luz al pasar de los cuerpos. Por el principio experimental y teórico de la equivalencia, el influjo gravitatorio equivale al de un movimiento acelerado; luego, al pasar la luz junto a un cuerpo con campo gravitatorio, por más que supongamos que la luz no pese, podemos suponer convertido el campo en un movimiento acelerado que se compondrá con el que lleve la luz, dando una trayectoria curva.

Newton no pudo admitir ni conoció la premisa. Dentro de su física se puede determinar una desviación de los rayos luminosos, si suponemos que son pesados; mas aún así hay que superponer otra desviación debida al principio de equivalencia y comprobada experimentalmente.

Notemos ahora las consecuencias geométricas de este principio.

1) Imposibilidad de líneas rectas en el universo y su incurvación en función de la distancia a los cuerpos. En efecto: si la gravitación equivale a un movimiento acelerado, todo campo gravitatorio es un campo de movimientos indicados, que no permiten ninguna trayectoria recta y recorrida con velocidad uniforme; es decir, ningún sistema inercial, ninguna recta. La geometría euclídea no existe; y tanto menos cuanto más cerca nos hallemos de los cuerpos.

2) La energía potencial gravitatoria, o sea, el campo gravitatorio sin obrar sobre ningún cuerpo libre o movable, equivale a un movimiento en potencia, con trayectoria ya preseñalada, líneas cinemático-geométricas que llevarán por allí a los cuerpos libres. Tenemos de nuevo una preeminencia de la causa formal, habitual, sobre los fenómenos llamativos y transitorios de las fuerzas y movimientos visibles.

La gravitación, bajo su forma potencial, es a la vez causa del campo métrico y de sus líneas naturales. Hemos fundido en uno, gravitación y geometría. Mejor, hemos descubierto que la gravitación no es una pura fuerza, que obre en un espacio, realidad preexistente, escenario impasible;

sino que ella misma, su campo, posee intrínsecamente propiedades determinadoras de la métrica, de la geometría.

Por eso dice muy bien Reichenbach: "que no es la gravitación la que se ha convertido en geometría, sino que la geometría es una manera de expresarse el campo gravitatorio". Así que la geometría del universo admite una explicación por causas; no es un dato primitivo e irreductible. Podemos determinar la geometría del universo por el camino de la medida (que es el de Riemann, Helmholtz y Gauss); es o sería tratar la *geometría real* como *geometría*; y además determinarla por la *gravitación*, es decir, tratar la *geometría real* antes como *real* que como geometría. Un nuevo triunfo de lo real sobre lo matemático puro.

3) Si la geometría, la métrica, es una manifestación de la gravitación, los métodos para indicar y medir la gravitación serán los mismos que los que sirven para el puro medir. Hacer geometría real (medir), es hacer gravitación, e inversamente. Así que todas nuestras explicaciones sobre la unidad de medida, transporte..., pueden ser estudiadas desde el punto de vista gravitatorio. Por tanto, y es importantísimo, la *fórmula matemática que fija la distancia entre dos puntos* $ds^2 = \sum g_{\mu\nu} dx_\mu dx_\nu$ es una *orientación para descubrir la ley más general de gravitación: y al revés*.

Y como la teoría newtoniana se servía de la geometría euclídea en que

$$ds^2 = dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2,$$

donde los $g_{\mu\nu}$ poseen los valores cero o uno, Einstein adivinó que llegaría a una fórmula más amplia para la gravitación, partiendo de otra fórmula métrica más amplia. En Newton, la *fuerza gravitatoria* no tenía nada que ver con $ds^2 = dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2$, la *métrica euclídea*.

Newton no entrevió ninguna relación entre los coeficientes de ds^2 que son 0,1 y las leyes del movimiento gravitatorio.

Para Einstein, una vez descubierto el principio de equivalencia, las relaciones son:

Elemento métrico $ds^2 = \sum g_{\mu\nu} dx_\mu dx_\nu$

Potenciales gravitatorios, los $g_{\mu\nu}$.

Fuerzas explícitas, funciones de los $g_{\mu\nu}$ y de sus derivadas $\frac{\partial g_{\mu\nu}}{\lambda x_\sigma}$.

4) Podemos decir que el movimiento de los astros se hace sin fuerzas (no sin causas), mientras no sobrevenga una perturbación; pues los cuerpos celestes con su gravitación establecen un campo gravitatorio y en él las líneas geométricas naturales: por ellas se mueven los cuerpos, al modo que por las líneas rectas, sin fuerzas suplementarias, se movían los cuerpos sueltos en la física clásica.

Al introducirse una perturbación aparecen las fuerzas explícitas; pasa algo semejante en el universo a lo que sentimos cuando un vehículo frena de repente.

Newton, por la incomunicabilidad entre geometría y física llegó a

hipostasiar el espacio; el estado tranquilo, el reposo y movimiento uniforme, quedaron como propiedades suyas; en cambio, los aspectos de intranquilidad, de roces, de luchas entre fuerzas, pasaron a ser lo propio de la física. Ya expliqué en otro lugar estas diferencias. Ahora sabemos la causa; Einstein ha restituído la salud al universo. Se da la calma física, cual nos parece sentirla al contemplar el cielo estrellado, el silencio y suavidad con que los astros se deslizan en los misteriosos carriles de sus órbitas.

5) Si la métrica es una expresión, una manifestación gravitatoria, podemos concluir que las unidades de medida, las leyes del transporte, son funciones de la gravitación; que la longitud cambiará según los campos gravitatorios recorridos... El acortamiento de una longitud en movimiento puede ser previsto a priori.

6) Supongamos ahora dos relojes A, B: hemos sincronizado sus indicaciones. Tomamos uno de ellos y lo colocamos en un campo gravitatorio, g ; y al segundo en otro de diferente intensidad G . Decimos que ya no serán sincrónicas sus indicaciones; uno se habrá adelantado respecto del otro; pues la influencia gravitatoria es también métrica, altera las longitudes y sus proporciones; luego, el ritmo de uno y otro cambiarán. Si tomamos por relojes los átomos (pues ejecutan sus electrones un movimiento periódico de rotación al derredor del núcleo), esto equivaldrá a que la luz emitida cambie de color. Comparando, pues, la luz emitida por un cuerpo en la tierra, es decir, sus líneas características, con las que nos vienen del mismo cuerpo en el sol, hallaremos huellas de una diferencia, que es un corrimiento hacia el rojo. Otro efecto a discutir experimentalmente; parece que se confirma su realidad. Más tarde perfilaremos estas conclusiones; todas tienen valor físico, pues lo tiene el principio de equivalencia.

Pero notemos que aquí Einstein ha introducido una hipótesis atrevidísima, junto a un hecho experimental, a saber: *la equivalencia entre inercia y gravitación*. Consta experimentalmente dentro de sistemas locales muy pequeños, los terrestres, los laboratorios. La inercia dentro de estos límites es una manifestación de la gravitación (dinámica); mas pudiera ser que al subir a mayores dimensiones ya no equivaliesen inercia y gravitación; vgr., en los espacios y magnitudes astronómicas. Einstein hace la hipótesis: *la equivalencia entre masa y gravitación vale para todo el universo*.

De ahí que deban ser comprobadas experimentalmente el mayor número posible de consecuencias en los dominios extra-terrestres (desviación de la luz, rayas espectrales...), pues la validez en ellos no consta por el principio experimental de equivalencia. Esta hipótesis puede ser desmentida un día; mien-

tras se halle otro medio de explicar los datos experimentales que parecen confirmarla. Mas no puede ser desmentida la equivalencia de inercia y gravitación dentro de los límites terrestres.

7) En punto a la geometría del universo; la relatividad generalizada, que se caracteriza por la admisión del valor universal del principio de equivalencia, nos indica que ya no vige no sólo la geometría de Euclides, sino ninguna de métrica constante, como las primitivas de Riemann. En el espacio de la relatividad generalizada no hay curvatura constante, depende en cada momento de las masas gravitatorias y de su distribución. Hemos de buscar una geometría más amplia. Mas como la geometría es determinada por las masas gravitatorias, para cada distribución de ellas, se da una geometría propia y la misma fórmula ds^2 indica entonces de vez la gravitación y la métrica.

Con todo, lo métrico es demasiado superficial y cambiabile para caracterizar el mundo, vamos a ahondar un poco en lo topológico.

d) TOPOLOGIA DEL ESPACIO FISICO

Vimos ya que la topología estudia el aspecto cualitativo de orden entre los elementos de un espacio o variedad de más o menos dimensiones; hicimos notar algunas clases de figuras con topología diferente e irreductible.

Vamos a preguntar ahora qué topología es la que rige en el espacio real: lo que equivale a estudiar el aspecto de *orden* entre los elementos del universo.

Estudiemos un intento sobre manera interesante de Reichenbach para demostrar que "no puede darse sino una *sola topología real*"; no dos. En efecto: entre dos variedades de topología diferente no se puede establecer una relación biunívoca y continua; si logramos poner biunivocidad romperemos la continuidad, o sea a elementos próximos en una variedad corresponderán elementos más o menos separados en la otra; es decir, alteración de distancias y *roturas*. Y si logramos establecer una relación de continuidad, perderemos la biunivocidad; o sea, a un elemento de una variedad corresponderán dos o más (o infinitos) en la otra.

Si la variedad era de topología cerrada (vgr., superficie esférica) y la queremos coordinar con otra abierta (plano), a un elemento de la primera (un polo) corresponderá infinitos en la segunda, etc.

Pero supongamos ahora que el conjunto de todos los elementos del universo se halle topológicamente ordenado, suposición fundada en la existencia de leyes, y sea A la topología real.

Si por no conocerla suponemos que es B (otra topología diferente), al querer explicar el mundo y sus leyes propias por el orden propio de B, nos encontraremos con que nos sorprenderán *roturas* en el universo; o bien multiplicaciones del mismo fenómeno. Es decir, para explicar lo real tendremos que suponer que repentinamente fenómenos próximos se distancian, sin causa eficiente o parecida; o al revés, que fenómenos distantes hemos de tratarlos como próximos; o bien, que un fenómeno real, único al parecer, posee simultáneamente copias exactas múltiples; es decir, que el mismo fenómeno se halla de vez en muchas partes; o bien, que muchos fenómenos se nos reducen y los hemos de tratar como uno.

Así nos sucederá, vgr., si en la topología A vigiere continuidad espacio-temporal (coincidencia en el lugar y simultaneidad temporal) entre los fenómenos α , β , que se han como causa y efecto (vgr., rayo y trueno), y que por ignorar tal topología tomásemos otra, B; al tratar en ésta la unión α , β , se perdería la continuidad, es decir, aparecería α en el tiempo t_1 y β en el tiempo t_2 , tal vez muy distante; el efecto nacería mucho después que la causa puso su influjo: así el trueno, la vibración del aire se produciría no inmediatamente después del rayo, sino más tarde; entre ambos fenómenos se daría un tiempo vacío, inexplicable; y si quisiésemos evitar esta rareza, empleando funciones continuas, perderíamos la biunivocidad; vgr., a un mismo rayo corresponderían de vez muchos o infinitos truenos simultáneos en diversos lugares, y según en qué punto se produjese el trueno seguirían más o menos relámpagos; o sea, el efecto nacería lejos de la causa y se duplicaría, triplicaría..., sin por eso duplicar, triplicar, el influjo causal.

Por tanto, o entre causa y efecto se darían intermediación espacial y separación temporal; o bien, intermediación temporal con separación espacial y multiplicación. Entre los ejemplares del mismo efecto se daría por lo demás un sincronismo perfecto, la evolución de uno sería igual que la del otro, pues son el mismo efecto multilocado.

Si el mundo fuere, vgr., de topología cerrada, semejante a la esférica, y nosotros la tratásemos como la del plano, nos hallaríamos con uno de estos fenómenos; al llegar a un polo, habiendo salido del opuesto, aun siendo entre ambos la distancia finita, nos encontraríamos con el infinito, habríamos hecho un camino infinito y nos hallaríamos presentes en infinitos puntos de vez; lo que hiciésemos en uno se reproduciría simultáneamente en todos, sin que tal fenómeno se transmitiese por causalidad, sino por una especie de armonía preestablecida. Mas si quisiéramos evitar este paso al infinito en todas nuestras leyes, o sea salvar la biunivocidad, perderíamos la continuidad; tendríamos que tratar cosas que vemos juntas o que vienen seguidas, como si distasen entre sí en tiempo y espacio.

Claro está que nuestro yerro en la elección de la topología no alteraría el orden del universo; solamente complicaría nuestras fórmulas y nuestras imágenes del universo. Nos obligaría a tratar duplicados (o triplicados) en diversas partes los mismos

objetos; o a tratar como separado en espacio y tiempo lo que estamos viendo, como junto y simultáneo, o inmediatamente sucesivo.

Si la topología real fuese de tipo "torus", en que la relación de "entre" es simétrica ("si A está entre B, C; B está también en C y A; y C entre A y B) y consideramos que en todo "torus" hay siempre dos curvas opuestas *iguales* entre otras mayores todas o menores todas; y por no saberlo pensamos hallarnos en topología euclídea, en un plano, nos sorprendería lo siguiente: salimos de un punto de la curva *mayor superior* llevándonos fotografías y medidas de nuestro entorno (casas, muebles, persona...), y vamos adentrándonos en la superficie *total* que creemos ser un *plano*; al cabo de cierto recorrido, como de *hecho* nos hallamos en un torus, nos encontraremos en la curva inferior, exactamente igual a la primera y continuando nuestra excursión siempre en línea recta, según nuestro prejuicio de hallarnos en plano euclídeo, llegaremos a nuestro *punto de partida*. Aquí nos encontraremos con los mismos objetos que a nuestra salida, igualísimos (pues son idénticos, para quien sabe que ha caminado por un torus); mas por estar convencidos de que nos hallamos en un plano euclídeo y que hemos caminado en línea recta, sin hacer vueltas, no podremos explicarnos aquella igualdad perfecta; habremos de admitir que las cosas se hallan duplicadas y que hay otro yo exactamente igual en el punto de partida: mas como esto se nos hace inconcebible, habremos de suponer que el universo está hecho *como si* fuese duplicado y calcular siempre así o bien inventar otra explicación extraña: vgr., una alucinación *normal* que al cabo de cierto recorrido nos presenta a *todos los sentidos* lo mismo que según nuestros cálculos debía estar muy lejos.

Es decir, la elección de una topología desacertada nos obligaría a complicar extraordinariamente las fórmulas y la interpretación del universo. En particular, las relaciones causales, en cuanto a su formulación.

Reichenbach admite que el cambio de topología trastornaría todas las relaciones causales. Mejor será decir, que deberíamos tratarlas *como si* estuviesen trasmutadas en la manera dicha; y lo probable es que nunca hubiésemos conocido la ley de causalidad en su forma actual.

Si queremos, pues, que la formulación causal sea normal, no podemos elegir al arbitrio la topología; si en una se cumple, en ninguna otra valdrá.

Pero notemos que toda la argumentación de Reichenbach supone que el mismo universo es de estructura matemática perfecta: semejante a la de la superficie esférica.

Si suponemos que todo el mundo se compone de "cuantos"

en número determinado, caben transformaciones biunívocas y continuas (que salven la proximidad finita, ya que proximidad infinitesimal no se dará) entre topologías, o sea distribuciones topológicamente diferentes de los elementos, que llenan las relaciones causales, dejándolas normales. Si suponemos que con perdigones hemos formado una figura semejante a superficie esférica, podremos extenderlos por un plano de manera que los perdigones próximos en la figura primera continuarán próximos en la figura segunda; y siempre exactamente se dará una relación biunívoca.

Ahora bien, el universo se compone de realidades probablemente continuas (campos); y otras discontinuas (cuantos); así que las consideraciones de Reichenbach poseen poco valor.

Además, vimos que los campos, a causa de su continuidad, poseen poca individualidad, y en rigor en ellos solos no se dan relaciones causales; en cambio los cuantos que poseen individualidad perfecta están poco localizados; sus relaciones espacio-temporales son muy sueltas. Cabe, pues, un margen grande para cambios de topología contra Reichenbach.

La compensación del invariante básico por la causa y efecto (esencia de la causalidad física), no debe hacerse con velocidad metafísica, instantáneamente; pues el trastorno no es del orden absoluto del ser; y en efecto, tales compensaciones no pueden correr más que la luz (relatividad): se puede poner la causa en un momento y tardar aún mucho en producirse el efecto (tal vez millones de años).

La cuestión, pues, es muy complicada y vamos a tratarla a fondo, dentro de los medios de que podemos disponer.

Cuestión básica

“¿Se puede demostrar experimentalmente y a priori que lo físico realiza una sola métrica y una sola topología? Y ¿cuáles son en tal caso los criterios para conocerlo?”

Decimos: a priori se puede demostrar que lo físico, en cuanto original y nueva manera de ser distinta de lo matemático, no

puede realizar o encarnar perfectamente ninguna métrica ni ninguna topología de manera que ellas determinen enteramente lo físico: no hay vestido matemático que se acomode totalmente a lo físico en sí. Las propiedades matemáticas de lo físico oscilan y cambian en función del tiempo. Quédese este aspecto para un futuro tratado sobre la ontología de lo físico.

Ahora nos vamos a contentar con una proposición más humilde:

1.º) Podemos suponer que en el universo rige la métrica que queramos (vgr., la euclídea); la consecuencia que a la física se impondrá será que determinados fenómenos exigirán causas del tipo fuerzas, causas eficientes, externas; que en otra métrica aparecerían como causas internas, sin necesidad de eficientes.

2.º) El hecho experimental de la equivalencia entre masa inerte y masa gravitatoria, en el mismo *cuerpo* , nos fuerza hasta cierto punto a adoptar una métrica real que incluya la gravitación; es decir, que la gravitación pasa a ser causa intrínseca en estado normal.

Como no se da una equivalencia semejante entre masa inerte, masa gravitatoria y masa electromagnética, la adopción de una métrica generalísima (Weyl-Eddington, Einstein) que encierre como causas intrínsecas gravitación y electricidad, es una pura síntesis matemática; no una realidad.

3.º) Podemos suponer que en el universo rige cualquiera topología, mientras en la formulación del principio de causalidad no incluyamos las condiciones de biunivocidad y continuidad espacio-temporal; y contemos con las modificaciones que esto supone para las fórmulas. El cambio de topología lleva consigo, o cambio en la medida (métrica) temporal (no en su topología), o en la espacial (cortes), o faltas de individualidad espacio-temporal, semejantes a las de los cuanta.

4.º) Los hechos experimentales de los dominios cuánticos nos indican que en el *microcosmos* no rige causalidad estricta; queda, pues, un gran margen a cambios topológicos; con todo parece que en el *macrocosmos* rige, según todas las condiciones de proximidad y biunivocidad. La topología será, pues, una propiedad macroscópica del universo.

Según esto, podemos afirmar:

Las relaciones entre métrica y fuerzas son:

*en el microcosmos euclídeas—o sea clásicas;
en el macrocosmos, riemannas generalizadas.*

En cambio:

Las relaciones entre topología y causalidad son:

*en el microcosmos, anticlásicas;
en el macrocosmos, clásicas o normales.*

Hemos de meditar sobre esta inversión.

Ante todo, expliquemos y probemos en lo que quepa, las afirmaciones anteriores.

Podemos suponer que en el universo rige cualquiera métrica, por ejemplo la euclídea; porque, para fijar una métrica son menester, al menos, tres definiciones de coordinación; de la unidad de longitud, la de constancia de la unidad durante el transporte y un criterio de comparación entre dos ejemplares en puestos diferentes.

Es un hecho que eligiendo los *cuerpos* sólidos obtenemos una métrica sencilla; mas no por esto sólo es ya más verdadera.

Hemos visto que la relatividad generalizada, fundándose en el principio de equivalencia, demostraba que al derredor de las masas gravitatorias no vige la geometría de Euclides. Pero notemos que esta conclusión no es de valor absoluto: *al derredor de un cuerpo celeste vige una geometría tridimensional no euclídea, si para la comparación de longitudes empleamos el transporte de cuerpos rígidos.* Esta condición no es puesta en fuerza de ninguna necesidad metafísica.

Podemos suponer muy bien que al derredor de un campo vige la geometría euclídea y atribuir el cambio de dimensiones a una *fuerza*, que en tales casos aparece; vgr., algo así como un calor o frío métricos: sólo que tales fuerzas poseen una propiedad, la de ser *universales*; por tanto, actúan sobre una longitud por ser tal, independientemente de la clase de cuerpo que sea; y no hay modo de aislar un cuerpo de su influencia.

Ya vimos que la forma de un cuerpo no es un dato absoluto: podemos suponer que tiene una cualquiera, mas entonces habremos de introducir o suponer que existen fuerzas métricas convenientes para acortar o alargar las magnitudes.

Si, por ejemplo, quisiéramos explicar el mundo por una geometría en la cual el transporte duplica a cada paso la longitud, al *ver* que en realidad las barras rígidas parecen quedar lo mismo, habríamos de suponer que se da una *fuerza*, es decir, una causa de tipo eficiente, extrínseca, que a cada paso reduce en una mitad la longitud; y esto, sólo por ser longitud, independientemente de la naturaleza del cuerpo. La explicación,

aunque parezca artificial es inatacable: en efecto; tales fuerzas universales afectan igual a todos los cuerpos; luego, no podemos decidir nada sobre su existencia o no existencia por ningún experimento semejante al que empleamos para fuerzas diferenciales (calor, electricidad).

Y a priori se ve, que si afecta a las mismas medidas, será imposible distinguir su existencia, faltando término de comparación: ni tampoco podemos negarlo, porque no sea controlable físicamente; pues, prefijada una geometría, siempre podremos señalar sus efectos como el indicado: "la magnitud había de ser doble"; "es de hecho la mitad"; luego, la mitad que falta proviene del influjo de una causa externa; y éste es precisamente el efecto que legitima su introducción".

De esta indiferencia de lo real frente al tipo geométrico, indiferencia que parece llegar a una ductilidad completa de lo físico a cualquier vestido geométrico que le echamos encima, sacó Poincaré la tesis del *convencionalismo*: "no se da una geometría natural; es lícito emplear cualquiera; no cabe más criterio de elección que la comodidad".

Frente a este convencionalismo absoluto, se da una relatividad moderada, una realidad condicional de determinada geometría: "si por una definición de coordinación fijamos las condiciones de la unidad medida y su transporte, se puede determinar qué geometría es la real; entonces las proposiciones geométrico-reales tienen igual valor objetivo que las siguientes: "la torre tal tiene 100 m. de altura"; "el termómetro marca 100 grados Celsius", etc.

Si no hemos fijado la unidad de medida "metro", "grado Celsius", podríamos decir: "la torre A tiene 100, 200, 300, 203, 102... de altura".

Poincaré vió solamente este aspecto, y no la manera de salir de él.

Al revés, si los cuerpos se rigiesen por la geometría de Euclides, podríamos con todo suponer que es la de Riemann la vigente: entonces nos veríamos forzados a suponer la realidad de una fuerza universal que arreglase las longitudes de modo que quedasen constantes.

¿Por qué, pues, los físicos se han adherido a la fusión einsteniana de gravitación y geometría?

1.º) Por una razón de simplificación conceptual. La fórmula ds^2 , permite un acoplamiento de ambos aspectos.

2.º) Por la mayor fecundidad experimental; pues no sólo prevé nuevos fenómenos, sino que explica otros antiguos inexplicables y permite una afinación progresiva de otros.

3.º) Por la equivalencia experimental entre masa inerte y masa pesante: la gravitación posee carácter de fuerza universal, afecta igual a todos los cuerpos, independientemente de la constitución química; ahora bien, de tal constitución habrían de ser las fuerzas métricas; luego, es muy natural pensar que lo es la gravitación.

Saquemos una consecuencia filosófica importante:

"Todas las afirmaciones físicas sobre el espacio no poseen valor absoluto, sino condicional: las categorías empleadas no son esenciales a lo

físico en sí, dejan escapar entre sus mallas lo original de la esencia propia de lo físico en sí”.

Con lo anterior queda de algún modo respondido el punto segundo: “no se da una necesidad absoluta” de adoptar la geometría generalizada de los $g_{\mu\nu}$ por el principio de equivalencia, aunque sí una gran conveniencia, una indicación natural que no llega a imposición.

Pero notemos un punto: una fuerza intrínsecamente geométrica debe ser siempre exclusivamente de tipo interno, semejante a causa formal; por tanto, no puede poseer manifestaciones anormales de tipo causa eficiente o fuerza externa. Ya Aristóteles y los escolásticos notaron que los matemáticos demuestran siempre por *causa formal*, por la esencia de la figura, por la ecuación de la curva dada por una definición: el concepto básico de la matemática moderna es el de función, que se reduce al de relación, y la relación no es nunca causa eficiente. Así, pues, en rigor, la gravitación no es una fuerza propiamente métrica, posee múltiples manifestaciones anormales, sobre todo cuando se manifiesta como gravitación dinámica. De ahí que no concluya nunca la teoría de la relatividad con absoluto rigor.

Podríamos ponernos la cuestión más radicalmente: ¿es posible que una fuerza física sea de tipo geométrico puro? Demostraremos en la ontología de lo físico que no es posible. Sería reducir lo físico a lo matemático y lo real al tipo irreal. Lo matemático puede estar presente en lo real; llegar a participación y imitación, hasta semejanza; mas nunca a identidad con lo real. Y una fuerza física en manifestación anormal no es sino lo físico en cuanto tal rompiendo los moldes de lo matemático, dando muestras de su irreductibilidad entitativa. Cómo y dónde se romperá, es cuestión aparte, de la que algo comenzamos a vislumbrar con la introducción del cálculo de probabilidades en física.

Por las relaciones entre topología y causalidad macroscópica, podemos afirmar que si determinamos qué métrica y qué topología rige en el universo las afirmaciones físicas en cuanto al espacio quedan totalmente determinadas. De nuevo nos hallamos con que las proposiciones físicas dependen en su valor lógico de verdad o falsedad de la determinación de la métrica y topología que queramos usar.

Es decir:

*“El tipo de ciencia física es
irreductible a la lógica y a las matemáticas:”*

porque,

*“la realidad física posee una estructura óptica
propia y original”.*

Estos asuntos serán objeto de otra obra, complemento de la tesis doctoral.

Tesis doctoral, leída en la Universidad de Barcelona, en 26 de abril de 1935; Director, Prof. Dr. Joaquín Xirau.

Formaron el Tribunal los Profesores Doctores, Jaime Serra Hunter, Presidente; Tomás Carreras Artau; Pedro Font Puig; Joaquín Xirau, todos de la Universidad de Barcelona, y el Profesor Dr. Javier Zubiri de la Universidad de Madrid; mereciendo la calificación de sobresaliente.