



**LOS FUNDAMENTOS COSMOLOGICOS  
DE LA MECANICA Y LAS LEYES  
FUNDAMENTALES DE  
LA DINAMICA**

**JUAN RIUS-CAMPS**

# LOS FUNDAMENTOS COSMOLOGICOS DE LA MECANICA Y LAS LEYES FUNDAMENTALES DE LA DINAMICA

## I. MATERIA Y FORMA.

1. Los co-principios, *materia y forma*, en que se cimenta la Metafísica de la Naturaleza o Cosmología pudieran parecer, a algunos, simples elucubraciones históricas que, a partir de la antigüedad clásica centrada en ARISTÓTELES, han llegado hasta nuestros días, que ya no precisan para nada —y menos en el quehacer científico— de esta infraestructura. No deja de ser sorprendente, sin embargo, que los mejores pensadores de la física contemporánea, no se puedan deshacer de la Metafísica si no es con cierta violencia intelectual; primero, consigo mismos; luego, una vez convencidos y acostumbrados al nuevo dogma ideológico autofabricado, creído y recibido, en ocasiones sin crítica alguna, imponerlo a los demás. Otros, más honrados intelectualmente, acaban admitiendo la igualdad de derechos entre las opiniones que han recibido por educación y las que vislumbran como otras posibles opciones y que, en no pocos casos, son los cimientos inalterables de la Metafísica. Quizá sea conveniente intentar, poniendo nombre propio a las ideas, exponer algunos de esos intentos antimetafísicos junto con ejemplos del redescubrimiento de la perenne verdad que yace en la misma estructura de la realidad física y del pensar del hombre. Es la expresión del fracaso del *mecanicismo* moderno, iniciado por DESCARTES, y de la «afilada navaja» de OCKHAM que no penetra hasta el íntimo ser de las cosas ni la profundidad, analíticamente in formulable, del alma

del hombre, sede de una inteligencia —limitada por la materia y la temporalidad— que trasciende la realidad experimentable. La ley de *causalidad*, centro de la Cosmología, es el punto en que se establece el debate. Mientras LAPLACE afirmaba que «debemos considerar el estado presente del Universo como el efecto de su estado anterior y como la causa del que siga», MACH se encuentra en la polaridad contraria: «no hay causa ni efecto en la naturaleza; la naturaleza simplemente es, ya que la conexión entre causa y efecto sólo existe en la abstracción que hacemos con el fin de reproducir, mentalmente, los hechos». MAX PLANCK es más moderado: «puede decirse que la ley de causalidad es, ante todo, una hipótesis... pero aunque sea una hipótesis, se trata de una hipótesis fundamental, que representa el postulado necesario para dar sentido y significado a la aplicación de todas las hipótesis en la investigación científica».

El principio de causalidad va directamente unido al concepto de *determinismo*. Para algunos, «la ciencia, en el pasado, es una descripción y, en el futuro, una creencia» (KARL PEARSON); se trata de una mera *probabilidad* de coincidencia. LUIS DE BROGLIE diría, «el muro del determinismo tiene una fisura cuyo ancho viene expresado por la constante de PLANCK». Pero esta *indeterminación* no es metafísica sino puramente experimental; sin embargo no faltan los que le han dado un carácter trascendente, sacándolo, incluso, del marco de la física para aplicarlo al espíritu —que por supuesto niegan— y entonces la verdad ya no es única, se reduce a un puro «argumento de plausibilidad»: es el positivismo llevado a las mismas entretejas del pensar: GUSTAVE JUVET<sup>1</sup> deja la posición indeterminista en su lugar exclusivamente experimental: «la observación o la experiencia no pueden expresar fenómenos físicos en el lenguaje del espacio y del tiempo con un rigor indefinidamente perfectible; las aproximaciones

1. Gustave JUVET, *La Structure des Nouvelles Théories Physiques*. París, Ed. Alcan, 1933, pág. 141.

sucesivas de la experiencia y de la teoría tienen en él un límite; no pueden encerrar la realidad en las redes de mallas, cada vez más pequeñas, porque es imposible que su fabricación sobrepase una tenuidad medida por el número  $h$ ». HEISENBERG formuló su famoso «Principio de Indeterminación» y no pretendió darle más alcance que el puramente experimental; «con la indeterminación, no niega toda causalidad, como tampoco EINSTEIN niega con la relatividad la mecánica clásica. Ambos proponen una crítica más severa y un afinamiento de nuestros conceptos»<sup>2</sup>.

Otra idea que repugna, físicamente considerada, es que esta causalidad, necesaria entre el agente y su efecto, pueda darse sin *contacto*, sin *nexo* entre ambos. Nexa que debe ser real, físico; no basta la relación meramente notional; sin embargo, tal posibilidad depende del concepto de causa que se admita. Antes se trataba de la existencia de la idea causal; ahora se trata —admitida ésta— de cómo actúa: ahí vuelven a dividirse las opiniones: unos admitirán la *causalidad material*, la «res extensa» cartesiana; otros irán más lejos, se quedarán con lo puramente fenomenológico y el apriorismo espacio-temporal de IMMANUELE KANT. Algunos se fijarán en el *aspecto formal* eliminando la realidad material: todo lo que es experimental es algo imponderable: la *energía*; son los seguidores, más o menos cercanos, de ideas leibnizianas y fundadores del *energetismo* que intenta ser una tendencia anti-mecanicista. Cuando los físicos quieren huir de esta trampa ideológica, caen entonces en el *positivismo* de AUGUSTO COMPTE: limitémonos a estudiar la relación entre fenómenos, podríamos oír, y dejemos las diatribas especulativas para los filósofos. No es raro hallar, incluso en manuales de física, expresiones tales como: «este modo de hablar es algo metafísico, puesto que la afirmación de que las es-

2. Paul F. SCHURMANN, *Luz y Calor*, Madrid, Ed. Espasa-Calpe, 1948, pág. 148.

trellas fijas no están aceleradas rebasa nuestro conocimiento experimental presente»<sup>3</sup>.

Para los primeros, el *nexo* sería puramente material, mecánico, y la materia puramente medible, *cuantificable*; para los seguidores de MACH vendría implícito en las transformaciones energéticas, la energía es lo único experimentable: nace una especie de materialidad imponderable equivalente a un formalismo material. El energetismo, que fundara LEIBNIZ, toma carta material de naturaleza en 1855 con RANKINE: es fruto de una crítica negativa al mecanicismo, partiendo de que todos los fenómenos físicos no son más que manifestaciones y transformaciones de energía, y le acusa de dar poca entidad al hecho experimental y excesiva a la hipótesis que, en la mente del físico, sustituye a la misma realidad. La energética de RANKINE no era idealista, como propusiera LEIBNIZ, sino «experimental, empírica, determinista, deductiva y matemática»<sup>4</sup>. Esta física energetista ya había sido iniciada por MAYER, aunque no se atrevió a negar la materia; fue MACH el principal propulsor de esa doctrina en su famosa *Mecánica*<sup>5</sup>, en que desarrollaba esas ideas bajo el título de «explicación cinética animada de un espíritu antimetafísico» y añadirá que «la explicación mecánica de todos los fenómenos naturales no es más que un prejuicio de orden histórico».

En el fondo, ni RANKINE ni MACH, están demasiado lejos de DESCARTES, como no lo estaban COPÉRNICO, KEPLER, GALILEO, NEWTON o HUYGHENS. La doctrina mecanicista estaba empeñada, durante más de dos siglos, en construir un modelo matemático de la naturaleza, mediante el estudio de la materia y sus movimientos, siguiendo las Leyes Newtonianas que serían aplicables a las masas y movimientos, invisibles, de los átomos. Era una teoría

3. Charles KITTEL, y otros, *Mecánica Berkeley Physics Course*, vol. 1, pág. 60.

4. P. F. SCHURMANN, *op. cit.*, pág. 208.

5. E. MACH, *Mecánica*, editada en 1903.

puramente *cuantitativa*: primero una Geometría de la naturaleza, seguida de una Mecánica analítica que, completada con los conceptos de *masa*, *inercia*, *acción igual a reacción* (introducidos por GALILEO, NEWTON, HUYGHENS) condujeron al mecanicismo cuyos hallazgos, en parte, aún siguen en pie. Sin embargo, a mediados del XIX, tan soberbio edificio se tambalea: SADI CARNOT descubre y fórmula del «Segundo Principio de la Termodinámica»: los fenómenos naturales no solamente son cuantificables sino que presentan una *asimetría*, un *sentido único* en su evolución: existe una cualidad que no pueden explicar las todopoderosas ecuaciones de la mecánica Newtoniana: la *irreversibilidad* de los procesos naturales. Aquí aparece un aspecto, meramente *formal*, difícilmente cuantificable. La materia, por sí sola, no explica ni este aspecto ni que la energía se esfume para transformarse en otro tipo de energía: MAYER anuncia el «Primer Principio de la Termodinámica», históricamente posterior al segundo (y que, según se supo años después de la muerte de SADI CARNOT, éste había descubierto mucho antes, como pudo probarse por sus manuscritos, entregados a la Academia de Ciencias Francesa, por su hermano —cuarenta y seis años más tarde— en 1878). Los energetistas intentan una solución mediante un puro formalismo energético. Sin embargo su Cosmología, desprovista de materia, está basada en la *continuidad* de la energía y en el determinismo; pero a fines del XIX no había pruebas, experimentales, convincentes de la existencia del átomo, postulada desde LEUCIPO y DEMÓCRITO, pasando por GASSENDI; MACH podía seguir considerando superflua la hipótesis atómica.

*Continuo, discontinuo*, constituyen una constante polaridad desde los albores de la física y de la filosofía. PLANCK inclina la balanza experimental, definitivamente, en favor de este último aspecto: nace la *Mecánica Cuántica* y el energetismo es abandonado.

EINSTEIN, con la afirmación de la equivalencia entre masa y energía:  $E = mc^2$ , elimina la pretendida distinción entre el puro mecanicismo y las teorías energetistas. Finalmente, a partir de 1925 con DE BROGLIE y WERNER

HEISENBERG, y más tarde con ERWIN SCHRÖDINGER y DIRAC, nace la *Mecánica ondulatoria*; se intenta lo que es mentalmente contradictorio: unir el aspecto material, corpuscular, discontinuo, con la visión ondulatoria, energética, continua (basada en un *substrato* o éter continuo). Llegamos nuevamente al positivismo, a los hechos experimentales; se prescinde de toda intuición sensorial y de las antiguas concepciones físicas, que buscaban un modelo imaginable, para dar una descripción totalmente abstracta —basada en valores perfectamente medibles— que nos da un modelo matemático de una realidad que se esfuma —en el análisis microcósmico— detrás del Principio de Indeterminación. El nexo causal es puramente lógico-matemático: conceptos como «acción directa a distancia», son perfectamente admisibles en un modelo de este tipo.

2. Al final, después de la ardua diatriba entre mecanicistas y energetistas, la moderna Mecánica Cuántica busca un apoyo más profundo, no puede quedarse a nivel de los hechos positivos, medidos en el laboratorio y encuadrados en un modelo matemático. La sistemática Kantiana encuadra muy bien con esa visión positivista-indeterminista de la realidad, así se expresa CARL F. VON WEIZSÄCKER<sup>6</sup>: «La insuficiencia de las opiniones ingenuamente realistas y positivistas, hoy en colisión con el sistema de KANT, encarna el planteamiento en la dirección tomada por KANT. Las soluciones que KANT ha dado a sus planteamientos básicos no aparecen, a la vista de la física moderna, ni verdaderas ni falsas, sino ambivalentes. Al tratar de ensayar aquí, llevados de la mano de los conocimientos de hoy, un discernimiento entre una interpretación recta y otra falsa de las tesis Kantianas, establecemos un principio de crítica de la filosofía de KANT, y al mismo tiempo, un punto de partida para la ulterior elaboración filosófica de la física moderna». P. F. SCHURMANN<sup>7</sup>, nos acla-

6. C. F. VON WEIZSÄCKER, *La imagen física del mundo*, Madrid, Ed. B.A.C., 1974, págs. 76 y ss.

7. P. F. SCHURMANN, *op. cit.*, pág. 205.

ra, algo más, esa tendencia que será una «vía media» entre DESCARTES y LEIBNIZ: «para KANT la experiencia nos da la información necesaria acerca de las cosas *en sí* que existen realmente, pero cuya única intervención en nuestro conocimiento es estimular nuestros sentidos y permanecer inaccesibles. Sobre estas impresiones, nuestra facultad de conocer, con su organización intelecto-sensorial, construye nuestra imagen del mundo. Para ello tiene como bases fundamentales de toda percepción, las nociones del *tiempo* y de *espacio* que son *formas* de nuestra sensibilidad. Con el entendimiento, que también tiene sus formas o *categorías*, damos forma y relacionamos las impresiones de la sensibilidad...» En esta Cosmología ciertas nociones son «a priori», dadas por la sensibilidad y por el entendimiento; ahí están el espacio, el tiempo, la *causalidad*. Esta visión del mundo físico se inicia ya en el pasado siglo con físicos tan eminentes como HERTZ que, aunque partidario de MACH en algunos aspectos, coincide con KANT al afirmar que «las imágenes que nuestro intelecto construye deben satisfacer las condiciones de admisibilidad, de exactitud y de conveniencia. Mientras la exactitud está fijada por la experiencia, la admisibilidad está librada a nuestro intelecto y como condición *a priori*»<sup>8</sup>.

Los energetistas defendían una posición basada en el baluarte del «Segundo Principio» termodinámico, que tenía difícil entrada en el mecanicismo; sin embargo, con la teoría cinética de los gases de MAXWELL, BOLTZMANN y GIBBS, y el concepto estadístico de *entropía*, desaparecieron estas dificultades; por si fuera poco el triunfo del atomismo, proclamado definitivamente por OSWALD<sup>9</sup>, frente a la continuidad, dejaba fuera de combate la Cosmología energética. Los mecanicistas habían triunfado definitivamente... La cuantificación de la materia y las poderosas leyes determinísticas —aunque fueran estadís-

8. P. F. SCHURMANN, *op. cit.*, pág. 211.

9. Bien a pesar suyo, pues era autor de la obra titulada, *La derrota del atomismo*.

ticas— daban razón suficiente de nuestro Cosmos. Así hasta los años 30, en que se abre camino otra visión del Microcosmos, dada por el «Principio de Incertidumbre» Heisenbergiano. El mecanicismo es incapaz, también, de englobar toda la razón de ser del mundo real. La moderna Mecánica Cuántica se mantiene en una postura meramente positiva, no vaya a caer también en una *crystalización* tan inconveniente como las anteriores. Sin embargo, es tentación constante, del científico, buscar la *unidad* de las cosas; así se expresaba E. POINCARÉ: «la ciencia se acerca a la unidad, condición necesaria de su posibilidad». A menudo el hombre se olvida de donde parte el impulso motor de sus investigaciones, aquello que realmente las hace posibles: la búsqueda de *algo*, que al mismo tiempo se presenta al entendimiento como apetecible por la voluntad: algo que es *bueno*; pero este acercamiento a la realidad no puede hacerse sin ninguna ley, con los datos meramente experimentales, es preciso que exista una *unidad*, dada por leyes que distingan el comportamiento *verdadero* de las cosas y excluyan la falsedad, el error. Así llegamos a *lo que es* en sus diversas manifestaciones: y nos conduce al ser de las cosas englobado en los cinco *trascendentales*, puntales de la auténtica Metafísica de la naturaleza.

La Metafísica Aristotélico-tomista, a partir de OCKHAM y DESCARTES, fue duramente atacada; no por su insuficiencia, por nadie probada, pues sus cimientos son tan sólidos que sus negadores —si son consecuentes— niegan sus propios puntos de partida para destruirla; fue atacada quizá por el deseo de novedad, por el intento de no tener una plataforma, *única*, para todos los pensadores; por la soberbia de no admitir una «filosofía perenne», base del buen pensar. Además, en no pocas ocasiones, la *verdad*, repugna a quien no se comporta según ella: los hombres a menudo han buscado «un conjunto de falsos doctores que lisonjeeen sus bajas pasiones»<sup>10</sup> y SÓCRATES tuvo que

10. 2 *Tim.* 4, 3-4.

beberse la cicuta por su sabiduría frente a los sofismas de sus detractores.

Los físicos, los científicos en general, están más cerca de la perenne verdad, de la Metafísica, que muchos filósofos: corrientemente ni se plantean tales problemas, sino es al fin de su vida y como resultado de una reflexión profunda sobre sus propios conocimientos físicos: así C. VON WEIZSÄCKER, BONDI, LEMAÎTRE, W. HEISENBERG. Sin embargo, son hombres de su tiempo y están influidos por las ideas en boga, como lo estaban PARMENIDES y PLATÓN, SAN AGUSTÍN y su amigo, maniqueo, FAUSTO. Algunos logran desenmascarar errores fundamentales y entonces nace una nueva visión que sustituye a la anterior (en el campo de la física por ejemplo), pero estos cambios suponen, frecuentemente, una toma de postura filosófica como se ha visto en el estudio que precede. Los físicos actuales no son excepción y buscan, con avidez, una infraestructura que dé unidad a sus conocimientos. En el ambiente en que han nacido y vivido, en la mayor parte de los casos, la Metafísica no sólo está «desacreditada», o se la mira con recelo, sino que ni siquiera se la conoce. ARISTÓTELES, PLATÓN, PARMENIDES, vislumbraron e incluso llegaron al conocimiento de los *cinco trascendentales, de la causalidad*, y de los co-principios *materia-forma*, que explican la unidad y multiplicidad de los seres... llegaron a estas conclusiones pagando «un gran precio», en medio de un mundo lleno de *mitos* y de *sofistas* cuya característica intelectual más sobresaliente era la avidez de novedades<sup>11</sup>. Con el advenimiento de CRISTO, vino la Verdad al mundo y lo que antes sólo se lograba «a gran precio», a partir de ese momento «se tiene por nacimiento».

Ante ese ambiente, actual, en que se desarrolla la ciencia y en el que la Metafísica ha perdido su lugar, no es extraño el triunfo de la *ambivalencia*, del *relativismo*, de la desconexión de la realidad. La filosofía Kantiana tiene todas las características de una pseudo-metafísica, en la

11. 2 Tim. 4, 3.

que el ser de las cosas ya no es objetivable: la realidad misma queda desconectada. De ahí las preferencias honestas de muchos físicos contemporáneos, de gran talla, por esta visión Cosmológica que les presta la Ontología que les falta.

Las cuatro causas aristotélicas: *causa materialis, formalis, efficiens, finalis*, han quedado muy empobrecidas: la primera es inaccesible y la formal y final quedan identificadas con el agente que, con base en sus «categorías», es la única causa que, además, se halla fuera de la realidad física. C. F. VON WEIZSÄCKER<sup>12</sup> lo expresa así: «La Edad Moderna no conoce otra causa más que aquella que se halla fuera de la cosa. De este modo se eliminan, en primer lugar, las dos primeras causas, las cuales se hallan presentes en la cosa misma; materia y forma designan, según esta manera de hablar, la esencia, pero no la causa del objeto. De esta manera de hablar, así modificada, brota la polémica de los científicos de la naturaleza a comienzos de la Edad Moderna, falseando el sentido original de ARISTÓTELES y en contra de la tesis escolástica de que las formas sustanciales, o las cualidades, podrían ser causas... Si el saber es poder, ha de conocer, ante todo, los medios de producir las cosas y los fenómenos, o al menos ha de influir sobre ellos. Ha de conocer la *causa efficiens* de cada uno. El criterio para saber si conoce verdaderamente la *causa efficiens*, es que pueda predecir correctamente el hecho desencadenado por ella. De este modo se ha transformado tanto el concepto de causa, que en la ciencia natural moderna el principio de causalidad se vino a identificar justamente con el principio de la plena predicabilidad de los fenómenos naturales. La expresión matemática de este concepto de causalidad es la representación de los fenómenos naturales por medio de ecuaciones diferenciales que exponen el cociente temporal diferencial de las magnitudes, que caracterizan el estado de una cosa, por medio de estas mismas magnitu-

12. C. F. VON WEIZSÄCKER, *op. cit.*, pág. 165.

des; el estado determina, de un tiempo a otro, incluso su variación temporal». La matemática moderna postula que no existe diferencia entre la determinación eficiente y final de un proceso. El último reducto de la antigua causalidad metafísica es la *forma matemática* en que se apoya la física: una especie de *causa formalis* extra material; pero la Metafísica queda mutilada de tal manera que más bien es pseudo-metafísica, como se ha afirmado antes. En el fondo, todo el valor formal de la física, dejando aparte el nebuloso contacto con la realidad a través del fenómeno y de las «categorías» de la sensibilidad espacio-temporales, está en la ciencia matemática (no olvidemos que KANT era matemático y sus errores provienen de aplicar a la filosofía los métodos válidos para objetos puramente matemáticos). Así se comprende el intento de HILBERT<sup>13</sup> de reducir la lógica a una *meta-matemática* (palabra acuñada por él mismo), un sistema formal *consistente y completo*: una fundamentación absoluta de los métodos y teoremas de la matemática. Sin embargo, el teorema de GÖDEL implica que tal sistema no es, simultáneamente, *consistente y completo*. La Física contemporánea se ha refugiado en KANT, por un tiempo parece estar segura; los mecanicistas fueron desalojados por el «Principio de Indeterminación» ¿qué otro Principio puede desacreditar esa, ya antigua, postura filosófica? precisamente la insuficiencia de la meta-matemática antes apuntada. A. DOU<sup>14</sup> lo expresa así: «El teorema de GÖDEL se ha generalizado en diversas direcciones y, en general, la lógica matemática está actualmente en un período de desarrollo extraordinario. Desde el punto de vista de los fundamentos de la matemática la importancia del teorema es evidentemente extraordinaria y esencialmente significa que hay que renunciar al optimismo que había manifestado HILBERT en un principio... También parece obvio que el teorema

13. Alberto Dou, *Fundamentos de la matemática*, Barcelona, Ed. Labor, 1970, pág. 105.

14. *Ibidem*, págs. 109 y 110.

de GÖDEL supone cierta *limitación* del poder deductivo de la lógica. Algo así como el Principio de Indeterminación de HEISENBERG en Mecánica Cuántica, pero aquí, al parecer, en el plano mucho más abstracto y profundo de la matemática o lógica pura... A veces parece que se interpreta el hecho de que sepamos que la interpretación de la fbh (*fórmula bien hecha*) es verdadera, a pesar de ser independiente en (el sistema) S, como si la inteligencia humana, y consiguientemente la capacidad del cerebro humano, estuvieran por encima de todo lo que puedan dar de sí los calculadores artificiales; pues se admite la identificación de las funciones computables, por un computador, con las funciones recursivas y éstas son precisamente las representables en S. Se concluye, entonces, que el hombre en su función cognoscitiva o intelectual no puede ser, ni siquiera en teoría, totalmente sustituido por máquinas o robots. Todo esto parece que de momento es en efecto así».

3.—Ni el mecanicismo, ni el energetismo, ni la postura última analizada, de corte Kantiano, pueden dar razón suficiente de la realidad material que se les escapa o, lo que es todavía más grave, aunque se prescinda de la accesibilidad a la misma, lo que entonces se esfuma es la propia realidad pensante. ARISTÓTELES inicia, y SANTO TOMÁS completa, la más potente y congruente Cosmología con la intuición, genial, de la doctrina del *Acto* y la *Potencia*, aplicable a los dos niveles del ser: el puramente entitativo, que comprende el modo más general de ser, que incluye a *todos* los seres —materiales y espirituales— con la clara diferenciación de los co-principios, *esencia* y *existencia*; y el puramente *material*, con la composición de *materia prima* y *forma substancial*, que constituyen los co-principios del ser corpóreo. Dios trasciende los dos niveles, el hombre trasciende la materia: la super-máquina pensante, como lo quisieran reducir algunos, se escapa de la materia, incluso de la lógica: su forma sustancial es *espiritual*; es una realidad con unas cualidades

que esquivan toda experiencia cuantificable y todo intento de formulación «consistente y completo».

En la formulación mecanicista, al prescindir de la causa formal, se escapan las *cualidades* de los seres corpóreos; sólo indirectamente —a través de las Leyes de la Naturaleza— cabe un acercamiento a las mismas en forma cuantificada. Pero la experiencia nos muestra que lo que «primo et per se» conocemos son, precisamente, esas cualidades. En las formulaciones energetistas y fenomenológicas las cualidades, que están en la línea de la causa formal, quedan desconectadas de la realidad física; que deja de ser la realidad accesible, objetivable, cuyas cualidades son objetivas, es decir, son el «sello del artista» que las ha hecho. Las Leyes de la Naturaleza, conocidas y formulables, no son suficientes para dar cuenta de *todas* las cualidades de los seres: existe un *exceso de ser* que no puede explicar ninguna teoría, aunque sea con el recurso o procesos probabilísticos, a los que tan acostumbrados nos tienen ciertos científicos, que requieren miles de millones de años (incluso billones o trillones si fuera preciso) para llevarse a cabo, y que nos recuerdan los números fabulosos de las cosmogonías indostánicas.

Hay ideas, que durante años se han considerado como científicas, y que expresan este «exceso de ser», además de las insuficiencias señaladas en el presente estudio. La más importante es la Creación «ex nihilo», por un Ser trascendente, Dios. Otra idea sería la existencia de un alma, trascendente, en el hombre. Respecto a la primera, cada vez son más numerosos los científicos a los que la hipótesis existencial de un tiempo  $t = 0$ , es decir «el comienzo de los tiempos», no repugna sino que es, por lo menos, tan científica como la no existencia de principio. BONDI<sup>15</sup> se expresa así:

«Hablando en general, han sido dadas tres respuestas a la cuestión del principio, y las opiniones sobre los méritos relativos de cada una se encuentran muy divididas:

15. H. BONDI, *Cosmología*, Barcelona, Ed. Labor, 1970, pág. 17.

a) El principio es un punto singular en la frontera de la ciencia física. Cualquier cuestión relativa a su naturaleza o a sus antecedentes no puede ser contestada por la física y por consiguiente no es de carácter pertinente a ella.

b) El principio fue un estado especialmente simple; el más simple, armonioso y permanente que pueda pensarse. Dentro de él se encontraban, sin embargo, los orígenes del crecimiento y evolución que en algún momento, indefinido, iniciaron la cadena de complicados procesos que lo han convertido en el Universo que conocemos.

c) No hubo principio. A gran escala el Universo probablemente permanece inmutable o quizá sufriendo cambios cíclicos. En todo caso su edad es infinita.

Más adelante se verá el proceso por el cual se alcanzan estas tres distintas respuestas. De momento baste decir que una teoría debe, por lo menos, conducir al *problema de la creación* y que las opiniones difieren en cuanto a la naturaleza de la respuesta concreta».

Para identificar esta disparidad de opiniones, actual, frente a la idea de Creación, puede servir la siguiente anécdota relatada por C. F. VON WEIZSÄCKER<sup>16</sup>: «En 1938, cuando yo era joven físico teórico en Berlín, dí una comunicación al *Physikalische Colloquium* de aquella Universidad sobre la transmutación de los elementos en el Sol... yo estaba muy orgulloso de mi descubrimiento, y para demostrar su plausibilidad subrayé el punto de que podía asignar al Sol una edad que ajustara muy bien en la edad del Universo obtenida mediante interpretación de los espectros de las nebulosas, idea que era entonces muy reciente. Pero en este punto tropecé con la violenta oposición del famoso físico-químico WALTHER NERNST, que pertenecía a una generación anterior y que ocupaba entonces

16. C. F. VON WEIZSÄCKER, *La importancia de la ciencia*, Barcelona, Ed. Labor, 1968, pág. 140.

la cátedra de Física de dicha Universidad. NERNST dijo que la opinión de que podía haber una edad el Universo no era ciencia. Entonces explicó que la duración infinita del tiempo era un elemento básico de todo pensamiento científico, y que negarla sería traicionar los fundamentos mismos de la ciencia. Tal idea me sorprendió mucho, y aventuré la objeción de que era científico formar hipótesis acordes con las insinuaciones de la experiencia y que la idea de una edad del Universo era una de esas hipótesis. El replicó que no es posible hacer hipótesis científicas que contradigan los fundamentos mismos de la ciencia. Estaba muy enojado... Lo que me impresionó de NERNST no fueron sus argumentos, en los que temo que sigo creyendo que no había sustancia; lo que me impresionó fue su enojo. ¿Porqué estaba irritado? ¿Qué intereses vitales del hombre WALTHER NERNST, que había nacido a fines del siglo XIX, y estaba seguro de morir en el XX, qué intereses vitales de ese hombre podrían ser violados por la posibilidad de que el Universo no hubiera existido desde un tiempo infinito, sino que hubiera empezado su existencia hacía cinco mil millones de años?... Ni el platónico, creyente en la inmortalidad del alma, ni el cristiano, creyente en la resurrección en una nueva tierra, bajo un nuevo cielo, se sentirán turbados por el descubrimiento de que este mundo material pudiera tener sólo una duración finita por razones inmanentes. Creo que no me equivoqué al suponer que NERNST, como en general los científicos de su generación, no era hombre positivamente religioso, y me pareció (y aún me parece) natural la conclusión de que en su estructura mental el Universo infinito e imperecedero había ocupado el puesto del Dios eterno y del alma inmortal».

Hemos visto que uno de los postulados más sólidos de la física actual es la *Primera Ley Fundamental* de la Mecánica: la conservación de la energía, mejor dicho de la *masa-energía*, después de la identificación Einsteiniana  $E = mc^2$ , admitida con la misma solidez; con las excepciones de las teorías que, para mantener constante la densidad de materia-energía en un Universo en expan-

sión, proponen la creación constante de la misma; así la «teoría del estado fijo» de BONDI y GOLD (1948)<sup>17</sup> y la de HOYLE, que parte de las ecuaciones de campo de la Relatividad General modificadas convenientemente. Sin embargo no existe, al parecer, confirmación experimental de esta creación constante y, en cualquier caso, no se trata de la creación «ex nihilo», sino de una hipótesis. Queda claro, sin embargo, que todas las Cosmologías tropiezan con este hecho creacional, como advierte el mismo BONDI.

Para nosotros, aunque pensamos es fundamental en la Mecánica esta *Primera Ley*, no la tomamos en este sentido, absoluto, de creación «ex nihilo», pues a fin de cuentas esta conservación se refiere a lo *cuantificable*, medible en el laboratorio. Nos parece mas conveniente la hipótesis creacional de un *substratum* cosmológico, de un *continuum*, un «éter», que sirva de apoyo necesario a toda teoría cosmológica<sup>18</sup>: la *base inercial* que, implícitamente, aceptan todas las formulaciones cosmológicas, donde emplazar los «observadores fundamentales» de los que ninguna de ellas puede prescindir. Este *continuum*, lo postulamos así en oposición a lo discontinuo, cuántico, que es el objeto de toda medida experimental. Además, como se expuso en un trabajo anterior<sup>19</sup>, los postulados del continuo serían los siguientes:

- a) «Existe el continuo, creado de la nada por Dios». Realmente sería lo único, material, existente.
- b) «El continuo admite discontinuidades». Que serían la materia-energía.
- c) «El continuo es inexperimentable». Lo que se experimenta, se mide, son relaciones entre discontinuidades.
- d) «El continuo es imperecedero». Perecer, moverse localmente, es propio de lo discontinuo. Sólo puede pere-

17. Cfr. H. BONDI, *op. cit.*, pág. 159.

18. Cfr. H. BONDI, *op. cit.*, pág. 78.

19. Juan RIUS-CAMPS, *La afirmación del Principio de Mach y sus consecuencias dinámicas*, Pamplona, E.T.S.A., 1975, págs. 10 y ss.

cer por aniquilación, por decreto de su Creador. Existe el «fin de los tiempos» —entendiendo por «tiempo» la pura discontinuidad sucesiva— pero el Universo, entendido como substrato continuo, es imperecedero, aunque tuvo un comienzo (que no tiene por qué coincidir con el «inicio del tiempo», es decir con el tiempo  $t = 0$ , que se identifica con la introducción de discontinuidades en el seno del continuo).

e) «El continuo no fluye». El movimiento, entendido como variación topológica, es de lo discontinuo, cuántico. Ni espacio, ni tiempo son algo continuo: existe una longitud fundamental  $\lambda$ , unidad de medida de todo el Cosmos, como afirmó HEISENBERG<sup>20</sup>, y también una unidad de medida, elemental, para el tiempo  $\tau$ . Existe una única

velocidad  $c = \frac{\lambda}{\tau} = 1$ ; las demás «velocidades» son

valores medios de una sucesión de estados de movimiento, a velocidad  $c$ , con situaciones de paro respecto al substrato. La misma velocidad  $c$ , es un valor medio entre dos extremos en reposo, pues la idea de aceleración instantánea no parece aceptable.

Podemos observar, de todo lo que antecede, que la cuestión del Fundamento Cosmológico de la Física, y particularmente de la Mecánica, no es algo meta-científico como han afirmado no pocos, si no que es de capital importancia. De ahí el interés que tienen, para nosotros, estas disgresiones que preceden al trabajo sobre las *tres Leyes Fundamentales* de la Mecánica, que se desarrolla en los capítulos que siguen al presente, dedicado a los *Fundamentos Cosmológicos* de la Física.

Hemos hablado de la *primera Ley Fundamental*, que hace referencia directa al aspecto cuantificable de la materia-energía; se apoya en el aspecto más material del ser

20. W. HEISENBERG, *Más allá de la Física*, Madrid, B.A.C., 1974, pág. 28.

de las cosas: la *cantidad*, primera expresión de la *materia* y que DESCARTES llamaría «res extensa» y confundiría con la *sustancia*, dando nacimiento al mecanicismo moderno. Sin embargo, y siguiendo fielmente a ARISTÓTELES y SANTO TOMÁS, los seres corpóreos también poseen *cualidades*, objetivas, que dicen relación directa con la *forma sustancial* y son lo que, como afirmamos al principio, «primo et per se» conoce el sujeto. Estas cualidades *son* del objeto material, no una creación derivada de las formas «a priori» de la sensibilidad y del entendimiento con base en la pura fenomenología.

Si se descuida este segundo aspecto cualitativo, negándole la objetivabilidad, no sería nada extraño que la ciencia física perdiera posibilidades en su desarrollo, que es lo mismo que decir, en su capacidad de conocer las profundidades, aún desconocidas, de la Naturaleza. En el apartado que sigue, se intentará dar fundamento cosmológico a las que llamaremos *segunda* y *tercera Leyes Fundamentales* de la Mecánica, con base en las precedentes ideas.

4. Además de la conservación de la materia-energía, el siguiente aspecto fundamental del mundo físico es la *cualidad* de los cuerpos, llamada *inercia*; desconcertante tanto para los físicos como para los filósofos<sup>21</sup>. ¿Es la inercia una cualidad inherente a cada cuerpo o es relativa a la presencia de los demás? y otra pregunta ¿es una propiedad de las masas en relación mutua, o es la relación que cada una de ellas tiene con el espacio entendido, físicamente, como «substratum»? Leemos<sup>22</sup> «en una teoría coherente de la Relatividad, no puede haber inercia en relación con el espacio, sino sólo inercia de las masas en relación de unas a otras». NEWTON, en cambio, postulaba la existencia de un espacio, o substrato, absoluto<sup>23</sup>; le

21. Cfr. J. MERLEAU-PONTY, *Cosmología del siglo XX*, Madrid, Ed. Gredos, 1971, págs. 42 y ss.

22. *Ibidem*, pág. 53.

23. Cfr. los *Principia Mathematica*, publicados, por primera vez, en 1686.

resultaba inaceptable una «acción directa a distancia» que, sin embargo, subyace en el «Principio de MACH», aceptado por EINSTEIN como uno de los axiomas de su teoría de la Relatividad General que, por otra parte, no da cuenta suficiente de la inercia, real, existente en el Universo<sup>24</sup>: «Así, la inercia estaría *influenciada (beeinflusst)* con seguridad, pero no estaría *determinada (bedingt)* por la materia presente en el finito», en palabras del propio EINSTEIN. «Después de un desinterés progresivo por la cuestión de la inercia, los cosmólogos de la generación contemporánea la pusieron de nuevo al orden del día: esto hace reparar en que, en ese punto, el fracaso de EINSTEIN no ha sido reparado y que nadie ha logrado dar una expresión matemática perfectamente satisfactoria del principio de relatividad de la inercia. Y de ahí que personas como HOYLE se sientan inclinadas a concluir que la verdad es que no ofrece mucho interés ese principio; y aunque fuese exacto, su valor eurístico y su fecundidad deductiva quedan muy limitados»<sup>25</sup>.

Si se acepta el *substrato continuo*, la inercia no es más que la *respuesta* de éste a toda aceleración; no depende, como la gravitación, de la presencia —cercana o lejana— de otras masas, sino que es una propiedad del espacio físico *extrínseca a todo cuerpo*. «Las estrellas lejanas», del «Principio de MACH», no son la causa de la inercia por una *actio in distans* sino algo así como las balizas que nos indican la situación del *substrato* —directamente inexperimentable, como hemos postulado— y lo mismo cabe decir de los marcos inerciales de laboratorio: giróscopo, péndulo de FOUCAULT, etc., que conciden con el determinado por las estrellas lejanas, de manera tan exacta que excluye toda coincidencia. Esta inercia podría ser distinta en un Cosmos diferente del nuestro (suponiendo que existiera un procedimiento de comparación). También cabe pensar que en nuestro propio Universo —en gran

24. J. MERLEAU-PONTY, *op. cit.*, págs. 44 y ss.

25. *Ibidem*, pág. 53.

escala— variará de un punto a otro, e incluso según la dirección que se considere; pero en la escala conocida, nuestro Universo se presenta como *homogéneo e isotrópico*.

La «escuela de MACH», ante la pregunta de ¿qué pasaría si se suprimiera toda materia excepto un único cuerpo experimental: subsistiría la inercia? responde que no. Sin embargo, los partidarios de que ésta es una *cualidad* del substrato responderán afirmativamente. NEWTON sigue teniendo razón, según muchos cosmólogos actuales. Pero la primera Ley Newtoniana de que una masa «aislada» seguirá en movimiento rectilíneo y uniforme, es cierta si se trata de *una sola* masa (o dos a lo sumo) pero es incongruente con la inercia considerada como propiedad *extrínseca* a las masas de un sistema formado por tres o más cuerpos, en número finito, que interactúan por lo menos gravitacionalmente y, por tanto, un sistema nunca se puede considerar aislado, inercialmente, del resto del Universo; el que el movimiento sea «rectilíneo y uniforme» depende —en NEWTON— de que *sobre* el sistema no actúe ninguna fuerza exterior; pero, al no estar aislado inercialmente, pueden aparecer fuerzas de origen inercial, externas al sistema (las llamadas «fuerzas aparentes») cuya resultante no sea nula y, por consiguiente, modificar el estado de movimiento de un sistema de masas energéticamente aislado. El «Principio de MACH» —equivalente, desde el punto de vista práctico, a la aceptación de un substrato— conduce a este resultado<sup>26</sup>: «En efecto, en la Dinámica clásica ocurre que cuando un cuerpo está acelerado en relación con un sistema de inercia, fuerzas de inercia *ficticias* acuden a completar la descripción de las acciones a las que está sometido; son ficticias porque la Dinámica no las atribuye, como las otras fuerzas, a una acción del *entorno*. Ahora bien la experiencia demuestra que los sistemas de inercia están en descanso con relación a la materia lejana (por ejemplo: el plano de oscila-

26. *Ibidem*, pág. 298.

ción del péndulo de FOUCAULT permanece fijo con relación a las estrellas); entonces, el Principio de MACH requiere que lo que induce las fuerzas de inercia *sobre* el cuerpo experimental sea la aceleración relativa del cuerpo experimental con relación a esa materia que se supone, de modo global, en reposo». Nosotros afirmamos el Principio de MACH, pero no respecto a las estrellas lejanas, sino refiriendo la inercia al *substrato-continuo*, directamente inexperimentable, pero localizable gracias a los «marcos inerciales» que tenemos como referencia: sean las estrellas, el péndulo de FOUCAULT o un giróscopo. Esta afirmación de que *no existen* sistemas, inercialmente, aislados la denominamos *tercera Ley Fundamental* de la Mecánica.

Algunos físicos han intentado probar la validez del Principio de MACH por caminos diferentes del Einsteiniano (y otras Cosmologías análogas), partiendo de un paralelismo con la teoría electromagnética de MAXWELL. Así D. W. SCIAMA<sup>27</sup>, que tiene un precedente en FÉLIX TISSERAND (1872) que intentó, en base a su teoría, explicar el comportamiento anormal del perihelio del planeta Mercurio, pero fracasó en su intento. En fechas más recientes, los físicos BRANS y DICKE han pretendido dar comprobación experimental, íntegra, al Principio de MACH. Pero para la mayor parte de los físicos, por no decir todos, dicho principio continúa siendo una «mera conjetura no probada ni negada». Para nosotros es una ley capital, *tercera Ley Fundamental*, como se intenta exponer y probar en un trabajo anterior, iniciado y registrado en 1974, y publicado en 1975, con el título de «La afirmación del Principio de MACH y sus consecuencias dinámicas».

Se han justificado la *primera y tercera Leyes Fundamentales*, ¿cuál puede ser la *segunda?*, la respuesta a esta pregunta es lo que se expone a continuación y cuyo estudio

27. D. W. SCIAMA, "On the origin of inertia", *Monthly notices of the Royal Astr. soc.* (1953), n.º 1, págs. 34-39.

detallado y formulación matemática es el contenido, esencial, de los capítulos que siguen.

La *primera Ley Fundamental* tiene su punto de partida metafísico en el co-principio: la *materia* de los seres corpóreos y en el primero de los *accidentes* que la determinan: la *cantidad*; este es el motivo de que esta *ley* sea esencialmente cuantificable. La *tercera ley* no hace referencia directa a la esencia misma del ser de las cosas sino al hecho de que los *seres* no son aislados, puesto que por *naturaleza* interaccionan. Además, el hecho de que todo ser material ocupe un «lugar», que no es algo exclusivamente propio sino que está determinado por la presencia de otros cuerpos, no es una cuestión meramente abstracta de relaciones de distancia, sino que se trata de una interacción física, dinámica además (en el Microcosmos no hay nada que esté en reposo, éste sólo existió antes del «inicio de los tiempos», cuando el *continuo* estaba en perfecto «silencio», y volverá cuando todo regrese al «primitivo silencio»<sup>28</sup> al «fin de los tiempos»); el único cuerpo que no ocupa «lugar» es el Universo, el Cosmos considerado como un todo, de ahí que el único sistema realmente aislado sea éste, el objeto más amplio existente, y que estudia la Cosmología.

El *accidente*, inevitablemente unido a la *cantidad* a la que *cualifica* es el que, desde ARISTÓTELES, se denomina *cualidad*: su ser es más bien en la línea *formal*; sólo indirectamente se puede cuantificar, pero es lo más *inteligible* que tienen las cosas. La *segunda Ley Fundamental* sería la exposición física, cuantificada, de la *cualidad* más elemental que tienen los cuerpos cuando se alteran; pues en el fondo de toda alteración está el *movimiento local* aristotélico, de ahí que esta *Ley* esté directamente relacionada con el *tiempo*, medida intelectual de todo movimiento que, al relacionarlo con la medida del espacio, da origen al concepto de *velocidad*. Esta *Ley* diría primariamente: «las cosas se mueven» (sería el *πάντα ῥεῖ* de HERÁ-

28. IV LIBER ESDRAE, 6, 39 y 7, 30.

CLITO DE EFESO), para añadir: «según unas determinadas condiciones». Las cosas se mueven, propiamente, porque *interaccionan* (*tercera Ley*), y además conservándose la masa-energía (*primera Ley*), pero esta interacción, este movimiento, es en el *sentido* marcado por la *segunda Ley*. El «segundo Principio de la Termodinámica» es una expresión, parcial, de dicha *segunda Ley Fundamental*, cuando se trata de la interacción de un número aproximadamente infinito de masas. No deja de ser aleccionador que este principio, *segundo*, se descubriera antes que el *primero*, como se dijo anteriormente; desde el punto de vista de la Metafísica de la Naturaleza, debía de ser así: las cualidades son lo que primero aprehende el intelecto; la cuantificación viene luego.

La posibilidad de formular matemáticamente, es decir, de establecer leyes formales entre cantidades medibles que sean la expresión de dicha *segunda Ley*, se estudia en los siguientes capítulos. Por analogía con la *entropía termodinámica*, se introduce y define, formalmente, la *entropía mecánica* (capítulo II); la primera no sería más que un caso particular de ésta en el caso de número infinito de cuerpos, que posibilitan una formulación probabilística: la *entropía* se introduce como  $S = K \lg w$  (siendo  $K$  la constante de BOLTZMANN) es decir, proporcional al logaritmo de la probabilidad termodinámica. Así, paradójicamente, se resolvió antes el problema que plantea un sistema de infinitos cuerpos, mientras quedaba sin resolver el «sencillo» de tres.

A partir de la *entropía mecánica*, se introducen los conceptos de *energía cinética* y de *fuerza* (capítulo III); mientras que en el capítulo IV se plantea el concepto, mecánico, de *temperatura* de un sistema. Terminamos la presente exposición con algunas *conclusiones* y *consecuencias físicas* (capítulo V): que son, en el orden cronológico, lo primero que se observó y que nos condujo a realizar este estudio.

5. Como se verá, la posibilidad de formular, matemáticamente, tal concepto de *entropía mecánica*, para siste-

mas de *finito* número de cuerpos en interacción, se asienta en el hecho de que la energía cinética de un sistema puede variar *cualitativamente*, aunque se mantenga *constante* y, por tanto, *cuantitativamente* invariable en razón de la *primera Ley Fundamental*. Este hecho, a nuestro entender, había permanecido desconocido hasta el presente y más su expresión formal. Sin embargo, aparte de la visión parcial del «Segundo Principio» termodinámico, no había pasado oculto a pensadores tan antiguos como ARISTÓTELES y Santo TOMÁS DE AQUINO. Es evidente que su conocimiento respondía a una visión intuitiva, estético-jerárquica, del Cosmos, pero no por esto menos real; no se podía pedir ni esperar más al nivel de los conocimientos científicos de su época. En la nuestra no deja de sorprender que tal hecho, de ser cierto como afirmamos, haya llegado tardíamente; quizá sea por nuestra educación positivista y antimetafísica. Pensamos es de justicia citar algunos textos de estos dos grandes pensadores y concluir, así, este primer capítulo.

ARISTÓTELES exige una *potencia activa*, localizada en el *medio* que rodea al *móvil*, aislado, para que su movimiento permanezca; no se entiende esta permanencia en el movimiento sin esta causa activa, *externa* al *móvil*. No se trata del aire o del agua en inmediato contacto (como pretendían otros pensadores griegos, incluyendo a PLATÓN). El Estagirita no cae en este «desafío al sentido común»<sup>29</sup>, como mal entendió DUHEM, sino una propiedad activa de *todo* el medio, no de las partículas en inmediato contacto: ¿algo así como el éter postulado por LORENTZ?<sup>30</sup> Hace falta una *causa* y además *en contacto*: la «*actio in distans*» le repugna; la moderna «teoría de campos» no es más que la negación de dicha acción directa a distancia. Tenemos, en esta potencia activa del medio,

29. DUHEM, *Etudes sur Léonard de Vinci*, I, págs. 109 y ss. *Le système du monde. Histoire des doctrines Cosmologiques de Platon a Copernic*, I, págs. 321 y ss.

30. Cfr. Pietro HOENEN, *Filosofía della natura inorganica*, Brescia, Ed. La Scuola, 1949, págs. 128 y ss.

la causa de la inercia: es la intuición de la *tercera Ley Fundamental*.

ARISTÓTELES se aperció de que no todos los movimientos de los cuerpos son equivalentes en perfección, aún dentro de la especie *movimiento local*, que sólo afecta directamente al accidente *Ubi* (pero al que se reducen, en último término, todos los demás movimientos *proprios*). En conceptos actuales diríamos que no todas las energías cinéticas son equivalentes desde el punto de vista entrópico, como se verá más adelante. Leemos en la Física<sup>31</sup>: «Podría alguien preguntarse si todo movimiento es comparable con todo otro movimiento o no lo es. Si todo movimiento es comparable, y si todo cuerpo de igual velocidad es el que se mueve en un tiempo igual a lo largo de una cantidad igual, entonces podemos dar con una línea igual a una recta, o bien mayor o más pequeña... Sin embargo ¿qué habrá que decir del círculo y de la línea recta? Sería absurdo compararlos si el movimiento circular y el movimiento rectilíneo no fueran semejantes .. Y, sin embargo, si ellos son comparables, venimos a parar a la consecuencia que hace poco anunciábamos: la igualdad entre la línea recta y el círculo. Ahora bien: estas líneas no son comparables luego tampoco lo son sus movimientos... ¿No será entonces que la velocidad no tiene el mismo significado en uno y otro de aquellos dos casos?». Pasa, luego, a ocuparse de los movimientos de *alteración* que sólo son comparables cuando pertenecen a la misma especie y concluye: «Lo mismo ocurre a propósito del movimiento: hay igualdad de velocidad cuando en un tiempo igual se han producido dos movimientos iguales en magnitud y en *calidad*. Pero si durante este tiempo una parte de la magnitud ha sufrido una alteración y la otra ha sido trasladada, ¿será esta alteración igual a la traslación y de la misma velocidad? Esto es absurdo, y la razón de ello es que el movimiento tiene sus especies distintas.

31. ARISTÓTELES, *Física*, lib. VII, cap. 4.

Por tanto, si las cosas trasladadas en una magnitud igual durante un tiempo igual poseen la misma velocidad, entonces la línea recta y el círculo son iguales. ¿Dónde está la razón de ello, en que la traslación es de un género o en que es un género la línea? En efecto, el tiempo es siempre indivisible en especies. El movimiento, pues, y las trayectorias tienen correlativamente distintas especies, pues la traslación tiene sus especies si las tiene el lugar en que se produce el movimiento... De manera, pues, que tendrán una misma velocidad las cosas movidas a través de la magnitud durante el mismo tiempo, y entiendo por el «mismo» lo que es indistinto bajo la razón de especie y ello lo será igualmente en relación con el movimiento. De esta manera es necesario estudiar la diferenciación del movimiento... Pero llamemos velocidad igual la de la alteración del ser cuyo cambio es el mismo en un tiempo igual. ¿Qué es necesario entonces comparar, el receptáculo de la modificación o la modificación? En este caso, al ser la salud la que es la misma, se está en el derecho de admitir que no hay en ella ni más ni menos, sino tan sólo semejanza. Si, por el contrario, la alteración es distinta, por ejemplo, cuando las alteraciones son un blanqueamiento y una curación, no se puede llamar idéntico a nada de esto y tampoco más igual que semejante, por cuanto hay allí especies de la alteración y porque ellas no constituyen entre sí una unidad, con mayor razón que no la constituyen las traslaciones rectilíneas y circulares». ARISTÓTELES califica como específicamente diferentes al movimiento rectilíneo y el circular. Este último puede tener velocidad constante, no así el rectilíneo que en algún instante debe empezar a decrecer hasta pararse y luego, en todo caso, volver a aumentar; no concibe un movimiento rectilíneo hasta el infinito: «el crecimiento y decrecimiento no pueden ser continuos, sino que hay en ellos un estado intermedio en que se detienen».

ARISTÓTELES intuye, por esta vía, que existe *algo*, una cualidad que diferencia específicamente los movimientos de traslación entre sí; concretamente en los dos casos límite: circular y rectilíneo. Según hemos anunciado, esta

cualidad es la designada por *entropía mecánica*, en que se cimienta la *segunda Ley Fundamental* de la Mecánica enunciada antes.

Santo TOMÁS DE AQUINO<sup>32</sup>, comentando al Estagirita dirá: «El movimiento *circular* de los cuerpos celestes no tiene contrario, y por eso no se da en ellos la violencia; en cambio, el movimiento de los cuerpos inferiores tiene contrarios, como son los movimientos hacia arriba y hacia abajo. Luego los cuerpos celestes tienen una virtud más universal que la de los cuerpos inferiores. Es así que las virtudes universales son motores de las particulares como consta por lo dicho. Por tanto, los cuerpos celestes mueven y dirigen a los cuerpos inferiores». He ahí un bosquejo de lo que ahora llamaríamos *irreversibilidad* de un proceso. Más adelante, y en el mismo capítulo, continúa: «porque el movimiento circular es también el primero entre los movimientos locales: en cuanto al tiempo, porque sólo él puede ser perfecto, como se prueba en el libro VIII de la Física; en cuanto a la naturaleza, porque es el más simple y de mayor unidad, ya que en él no se distingue ni principio, ni medio, ni fin, sino que todo es medio. Y también en cuanto a la perfección, porque revierte a su principio. En tercer lugar, porque sólo el movimiento celeste es siempre regular y uniforme; mientras que en los movimientos naturales de los cuerpos pesados y leves aumenta la velocidad en el fin, y en los violentos disminuye. Luego es necesario que todo movimiento celeste sea la causa de todo otro movimiento».

Intuye el Aquinate que solamente los movimientos circulares (un giróscopo, un volante) pueden almacenar energía cinética indefinidamente, pues realmente están aislados desde el punto de vista energético; no así los «rectilíneos y uniformes»; al existir influencias gravitatorias (Potencial gravitatorio), por débiles que sean, tales

32. SANTO TOMÁS DE AQUINO, *Suma contra los gentiles*, Lib. 3, capítulo 82.

movimientos no pueden existir sino es por abstracción o por indefinida aproximación a este estado ideal.

Pensamos que las citas de esos dos autores, junto con la precedente exposición, puedan resultar esclarecedoras y ayuden a penetrar la esencia de los capítulos que siguen.

## II. ENTROPÍA MECÁNICA: SEGUNDA LEY FUNDAMENTAL.

1. Designamos por  $S$ , una función *de estado* de un sistema mecánico que es una *característica cualitativa* de su situación mecánica, distinta de su situación energética; ésta viene regulada, desde el punto de vista *cuantitativo*, por la *primera Ley Fundamental* de la Mecánica: el llamado «principio de conservación de la energía». Sin embargo, desde otro aspecto *cualitativo* se dice, vulgarmente, que la «energía se degrada»: ¿cómo se pueda medir esta degradación? no está expresado, claramente, en nuestra opinión. La *entropía mecánica*  $S$  sería la formulación, cuantitativa, de las cualidades energéticas de un sistema. De existir esta función  $S$ , claramente expresada y definida, tendríamos por fin un valioso instrumento que, sin duda, se podría llamar: *segunda Ley Fundamental* de la Mecánica. Esta *Ley*, junto con la *primera*, nos define los procesos mecánicos en «sistemas aislados» desde el punto de vista energético. Como se verá, sin embargo, estas dos leyes no son suficientes en todos los casos mecánicos, aún considerados energéticamente aislados, pues no lo están *inercialmente*: la inercia es una propiedad de los sistemas en cuanto que se relacionan con otros sistemas: ésta sería la *tercera Ley Fundamental* de la Mecánica: «no existen sistemas aislados» afirmación que coincide con la formulación del «Principio de MACH» (ya conocido, de manera menos clara, por NEWTON): «Las únicas aceleraciones que tienen sentido son las que se refieren al movimiento respecto a las estrellas lejanas», es decir, respecto a una referencia inercial.

En esas tres *Leyes Fundamentales*, se puede cimentar toda la ciencia mecánica en el Macrocósmos.

2. S es, pues, una medida cualitativa de la «degradación» de la energía. Degradación que sólo es tal, en sistemas energéticamente cerrados y en determinados casos. A esta función —por analogía con la Termodinámica— se la ha designado con el nombre de *entropía mecánica*. Tiene las siguientes características genéricas, que se dan como definición de la misma, y que más adelante se justificarán:

a) es siempre definida positiva:  $S \geq 0$

b) es función *monótona* y *continua* —*creciente*— de la energía cinética  $K$ , a la que caracteriza; es decir:

— si la energía cinética permanece constante,  $S = C^e$  o crece.

— si  $K$  crece con el tiempo,  $S$  crece o es constante también; y si  $K$  decrece,  $S$  puede aumentar, ser constante o disminuir.

c) Viene definida de tal manera que: sean las energías cinéticas  $K_1, K_2, \dots, K_i$  en un sistema energéticamente aislado; entonces las respectivas entropías son:

$$S_1, S_2, S_3, \dots, S_i$$

y si se verifica:

$$K = K_1 + K_2 + \dots + K_i$$

también se cumple: (1)

$$S = S_1 + S_2 + \dots + S_i$$

es decir, es una función aditiva en un determinado sistema. De (1) se desprende que la *entropía total*:

$$S = \Sigma S_i$$

en un sistema, energéticamente, aislado cumple las condiciones a) y b).

3. Puesto que  $S$ , es una *función de estado* del sistema, *debe ser independiente del camino recorrido* en la evolución del mismo, de un estado de equilibrio a otro estado de equilibrio. Siendo función monótona creciente de la energía cinética del sistema, se puede colegir que —en general— para conocer la entropía en un instante, cualquiera, de la evolución energética del sistema, deberá conocerse cuál es la *ley de evolución* que sigue: cosa normalmente desconocida, salvo casos mecánicos sencillos en que la evolución es *única* (o con multiplicidad muy restringida) y es posible establecer esta ley. Por tal motivo, es mucho más sencillo conocer la entropía en estados de equilibrio. En Termodinámica, en que las posibilidades de evolución son elevadísimas por el número elevadísimo de moléculas que interaccionan, carece totalmente de sentido hablar de entropía del sistema fuera de tales casos de equilibrio: los únicos en que puede, realmente, estar definida.

4. La entropía sólo está definida, en general, para *sistemas aislados en equilibrio*. ¿Qué significado damos al vocablo equilibrio?:

a) que sea *estable*,

b) que sea el valor *máximo* compatible con los *enlaces* del sistema,

por tanto:

$$d^2 S = 0, \quad dS = 0 \quad (2)$$

un sistema *evoluciona* de forma que su entropía alcance las condiciones (2), compatibles con los enlaces del sistema (constricciones). Esta evolución, a partir de un estado de equilibrio, se inicia al *variar* los parámetros del sistema y termina en otra posición de equilibrio compatible con los nuevos enlaces. Pero esta evolución es siempre en el *sentido* de que  $S$ , *augmente* o se mantenga constante; además esta evolución no es instantánea: si el cambio es  $dS$ , necesita un tiempo  $dt$  para producirse.

5. El llamado «Principio de D' ALEMBERT» no es más que un caso particular de esta *segunda Ley*: un sistema evoluciona de manera que su energía potencial sea *mínima*. Esta evolución tampoco es instantánea. Decir «energía mínima», es equivalente a afirmar: «estado de equilibrio». Este equilibrio viene dado por los enlaces o constricciones del sistema: para alterarlo será preciso variar estos enlaces o constricciones: entonces el sistema evoluciona, siempre y cuando el potencial resultante sea menor que el precedente.

6. Se puede preguntar ¿qué pasa cuando la entropía alcanza el valor máximo posible, entre todos los «máximos» compatibles con los enlaces posibles? ¿ya no cabe más evolución y sería la «muerte entrópica» del Universo? No es así, en nuestra opinión, pues el *cese de todos* los enlaces sería la mínima constricción del sistema (constricción nula) y entonces debería alcanzarse la energía potencial mínima, o máxima entropía, pero esto equivale a descomponer el sistema en tantos *subsistemas* como masas elementales lo componen: cada uno de éstos es un sistema aislado. Si se descompone el sistema en subsistemas aislados, carece de sentido, físico, hablar de entropía del mismo: ha dejado de existir. Por otra parte, la *tercera Ley* afirma la no existencia de sistemas aislados. Sólo el Universo, considerado en su totalidad, es un sistema aislado<sup>1</sup>. Todos los demás son subsistemas del Cosmos que sólo por abstracción los llamamos sistemas y, en determinadas circunstancias, se comportan *como si* estuvieran aislados. Piénsese que —en el caso de máximo aislamiento físico— siempre subsiste la acción gravitatoria, que es una forma de enlace. Por otra parte, aunque dicha acción pueda considerarse nula a efectos prácticos, nunca lo es la *inercia*, que no es *algo propio* del sistema en cuestión, sino que viene determinada por

1. Desde el punto de vista cosmológico se diría que el Universo es el único cuerpo que no ocupa *lugar*.

el «resto del Universo»: es la afirmación del Principio de MACH: «Las únicas aceleraciones que tienen sentido son las que se refieren a las estrellas lejanas»; es decir: respecto a un *marco inercial*. Todos los marcos inerciales son equivalentes: sólo se diferencian en su movimiento, mutuo, de traslación rectilínea y uniforme: nunca existen giros (rotaciones respecto a las estrellas lejanas).

7. ¿Qué ocurre cuando se alcanza el *máximo* entrópico si no es *estable*? entonces se *invierte* el sentido de la evolución hasta alcanzar, otra vez, el *mínimo*; y así sucesivamente: es el caso, por ejemplo, de dos masas unidas por un resorte elástico tenso: si cesa la única constricción que lo mantiene tenso, el sistema evoluciona hasta que el potencial elástico sea *mínimo*, pero, al no existir constricción para este mínimo, se invierte el sentido hasta que la energía cinética (que alcanza su máximo en este mínimo) sea mínima y dicho potencial de nuevo alcance su valor máximo: el proceso se repite indefinidamente. De ahí la necesidad de las condiciones (2). Para la *estabilidad* no es suficiente la condición de máximo (o mínimo) relativo:

$$dS = 0 \quad d^2S < 0 \quad (3)$$

La evolución no se detiene al alcanzar estas condiciones, debido a la inercia del sistema; se precisan los condicionantes (2) que son más exigentes, es decir en  $P_1$  (fig. 1) se verifica:

$$\begin{aligned} dS &= 0 \\ d^2S &= 0 \end{aligned}$$

Si no varían los enlaces,  $S$  permanecerá constante. El paso de  $P_1$  a  $P_2$ , supone una nueva variación de los parámetros del sistema, que evoluciona hasta  $P_2$  en que  $S$  alcanza un máximo relativo. El equilibrio no es estable en  $P_2$ , pues se verifican las (3) pero no las (2). La situación  $P_3$ , tampoco es estable por tratarse de un mínimo relativo. Si  $S$  no es constante en  $P_3$ , pueden ocurrir 2 casos:

a) que alcance un valor mínimo relativo: entonces el sistema sigue evolucionando en el sentido de entropía creciente (estamos en el caso inicial).

b) Que no sea un mínimo relativo sino un punto de inflexión horizontal: entonces la  $S$ , sigue decreciendo hasta otro mínimo relativo  $P_4$ , y entonces empieza a crecer.

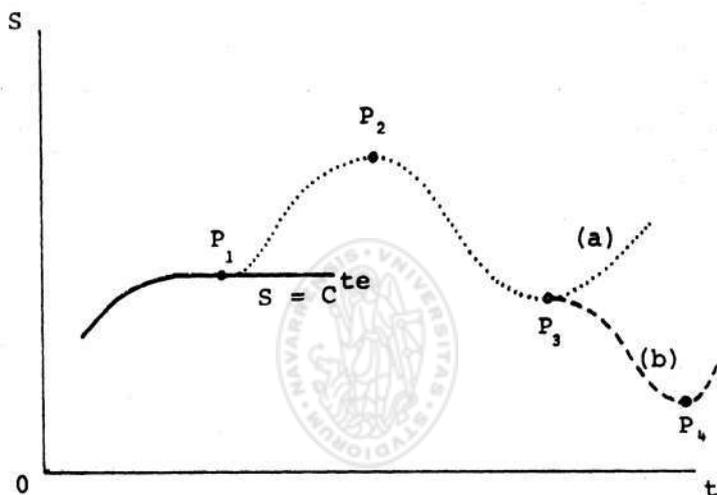


Fig. 1

El caso de dos masas unidas por un resorte elástico —sin constricción que impida el desplazamiento mutuo de las masas— es inestable. Sólo sería estable si no existiera ningún tipo de energía:  $U = 0$ ,  $K = 0$  y en consecuencia:

$$dS = 0 \quad d^2S = 0$$

Un sistema aislado, de masa  $M$ , en que todos sus puntos se mueven en la misma velocidad constante verifica:

$$U = C^{te}$$

$$U + K = C^{te}$$

$$K = C^{te}$$

es decir, el movimiento rectilíneo y uniforme es estable.

Un sólido en movimiento de rotación uniforme, también es un caso de estabilidad. Su entropía es constante.

8.  $S = C^e$  supone, como se ha visto,  $U = C^e$  (sistema aislado) pero no a la inversa, pero podemos afirmar que *toda variación de la energía cinética deriva de un potencial*, de modo que (en un sistema «aislado»)

$$U + K = \text{Constante}$$

si  $U = \text{mínimo}$ ,  $K = \text{máximo}$ . este mínimo no tiene por qué ser  $U = 0$ , que puede ser inalcanzable, por las constricciones del sistema, sino  $U = C^e$  con  $t$ . Sólo se alcanza  $U = 0$  si no hay constricciones, pero entonces es inestable, *oscilante*; de modo que si:

$$U = \text{mínimo}$$

$$K = \text{máximo}$$

esto nos sugiere relacionar  $S_{\max}$  con  $K_{\max}$ , para estados en *equilibrio cinético* del sistema: es decir en que la energía cinética se *mantenga constante*, de lo contrario, ordinariamente, la entropía no *estaría definida*.

Sólo son posibles dos tipos de energía cinética estable:

- a) rotación uniforme.
- b) traslación uniforme.

Por lo tanto, para poder hablar de entropía es necesario este requisito, que en la práctica *no existe*: sin embargo si se prescindien de otros movimientos (vibraciones de las moléculas, o se toman valores medios cuadráticos en que  $\bar{v} = C^e$ ) es posible considerar:

$$U = C^e$$

$$K = C^e$$

y por lo tanto definir la entropía  $S$ , de un sistema en equilibrio estable. También se podrán definir, para un mismo sistema, distintas situaciones de equilibrio que equivalen

a variar los parámetros que definen sus enlaces. Estas situaciones quedan definidas por sus respectivas entropías. Al variar un parámetro, sabremos en qué *sentido* evolucionará el sistema.

9. Las hipótesis expresadas en el apartado 8 nos sugieren la forma de definir la entropía de un sistema, compuesto por  $m_i$  partículas materiales que se mueven a velocidades  $v_i$ , ( $i = 1 \dots N$ ) constantes. Este sistema está en equilibrio; por tanto,  $K = C^{te}$ :

$$2 K = \sum m_i v_i^2 = C^{te} \quad (i = 1 \dots N)$$

podemos definir la entropía así:

$$S_i = m_i v_i = C^{te} \geq 0$$

$$S = \sum^N S_i = \sum^N m_i v_i = M \bar{v} \geq 0$$

en que  $\bar{v}$  = velocidad media en el sistema.

» »  $M$  = masa total del sistema.

Si tenemos dos situaciones de equilibrio estable, cuyas entropías son  $S_1, S_2$ , en que  $S_2 > S_1$ , el sistema *evolucionará* (si la variación o cese de constricciones lo permiten) en el sentido  $S_1 \rightarrow S_2$ , y no a la inversa.

Evidentemente  $S$ , es función monótona creciente o decreciente de  $K$ , para un sistema compuesto de *una sola masa*:

$$K = \frac{1}{2} m v^2 \quad S = m v > 0$$

Sin embargo, en el caso general, resulta que para una misma  $K$  la entropía puede variar según la configuración del sistema: es decir, según la *distribución de velocidades* en el mismo (se supone el sistema referido a un sistema de coordenadas *inercial*). En efecto:

$$2 K = \sum m_i v_i^2 = M \bar{v}^2 = C^{te}$$

$$S = \sum m_i v_i = M \bar{v} = C^{te}$$

pero, en general:

$$\bar{v} < \bar{\bar{v}}$$

Se verifica  $\bar{v} = \bar{\bar{v}}$  si todas las  $v_i = v_j = \bar{v}$  que (salvo el caso de *descomposición del sistema* en N subsistemas, de velocidades  $v_i = v_j = \bar{v} = \bar{\bar{v}}$ , aislados) sólo es posible si el sistema se mueve en movimiento *rectilíneo y uniforme*.

Por tanto:

$$S = \sum m_i v_i < M \bar{\bar{v}} = S_{\max}$$

Podemos afirmar:

Un sistema que verifica:  $v_i = c_i = C^{te}$ , tiene una entropía  $S = \sum m_i v_i = C^{te}$ ; si varían los parámetros que lo definen, S variará en sentido creciente a otro estado de equilibrio, con otra distribución de velocidades:

$v'_i = c'_i = C^{te}$  y otra entropía:  $S' = \sum m_i v'_i = C^{te}$ , tal que  $S' > S$ ; manteniendo constante la energía K. La entropía máxima  $S_{\max}$ , sólo se alcanza cuando *toda* la energía K del sistema es cinética de traslación uniforme en que:

$$S_{\max} > S' > S$$

Una vez alcanzada esta situación, sólo se puede variar  $S_{\max}$ , variando la energía K del mismo.

10. Lo anteriormente afirmado, sugiere la posibilidad de transformar energía cinética, interna, de un sistema (rotación, oscilación) en energía cinética de traslación de *todo el sistema*. Hasta el presente esto no se había logrado<sup>2</sup>, pero no va contra la *primera Ley Fundamental* ni contra la Mecánica de NEWTON, basada en la consideración de sistemas aislados; la *tercera Ley Fundamental* afirma

2. J. RIUS-CAMPS, *La afirmación del Principio de Mach y sus consecuencias dinámicas*, Pamplona, 1975. En este trabajo se expone la realización de esta hipótesis.

que tales sistemas no existen y que la *inercia* no depende del sistema de que se trate, sino de los *demás*: de tal forma que si éstos desaparecieran, desaparecería la inercia (Principio de MACH).

11. Si la energía  $K$  no es constante en  $S_{\max}$ , el sistema es *inestable*, como vimos, y se invierte el proceso. Es el caso de dos masas unidas por un *muelle*: sólo se alcanza la velocidad  $v = \max$  en un punto e instante  $t$ , en que  $ds = 0$  y  $d^2S \neq 0$  es decir,  $K \neq$  constante, en todo momento.

En el caso de un disco que gira, (fg. 2), las velocidades dependen de  $\omega = C^{te}$  y de  $R_i$ , pero se mantienen constantes para cada  $R_i$ , por tanto se trata de *equilibrio estable*. Su energía vale:

$$K = \frac{1}{2} I \omega^2 = \frac{1}{2} M \bar{v}^2 = C^{te} \quad \text{por serlo } I \text{ y } \omega$$

$$S = \Sigma m_i v_i = M \bar{v} < M \bar{v} = S_{\max}$$

$S$ , se mantiene constante y,  $S_{\max}$ , sólo es alcanzable si, por algún procedimiento, se lograra transformar la energía cinética de rotación del disco en cinética de traslación: pero esto sólo es posible si  $I \omega = 0$ , siendo así que va contra la «conservación del Momento Angular»; pero nótese que esta ley de conservación está basada en la Primera Ley de NEWTON, es decir en el concepto de «sistema aislado» y puede ser violada como resultado de la afirmación de las *Leyes Fundamentales* segunda y tercera. La conservación del momento angular es una extrapolación deducida de las leyes Newtonianas, que se verifica en la mayor parte de los casos, pero no necesariamente en todos. Lo mismo cabe decir de la «conservación de la cantidad de movimiento», en tales sistemas «aislados».

Si el disco se redujera a una circunferencia de masa  $M$ , y radio  $R$  se alcanzaría también la  $S_{\max}$  (todas las velocidades de los puntos materiales serían iguales) y tam-

poco se conserva  $I \omega$ , en contra de los supuestos tradicionales, además se trata de un caso límite.

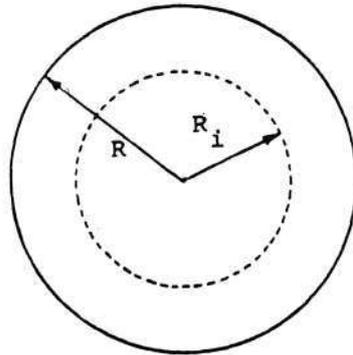


Fig. 2

### III. ENERGÍA Y FUERZA.

1. Existen dos formas de manifestarse esta propiedad, fundamental, que llamamos *energía*: una depende de las masas del sistema y de su *velocidad* en el instante que se considere: es la energía cinética que hemos designado con la letra K; otra es consecuencia de la *posición* de las mismas y es conocida por energía potencial U. Consideramos el sistema aislado y referido a ejes de coordenadas inerciales. Se verifica llamando E a la energía total:

$$\begin{aligned} E &= K + U = \text{Constante} \\ dE &= dK + dU = 0 \end{aligned} \quad (1)$$

Las expresiones (1) constituyen la formulación de la *primera Ley Fundamental* de la Mecánica: la conservación de la energía.

2. Para expresar, formalmente, la energía K, podemos partir de la definición dada para la *entropía mecánica* del sistema, compuesto por las partículas materiales  $m_i$  y velocidad respectiva  $v_i$ , cuya expresión es:

$$S = \sum m_i v_i = \sum S_i, \quad dS = \sum m_i dv_i = \sum d S_i$$

que es *función de estado* del sistema de partículas, escalar y positiva siempre.

Definimos la energía cinética  $K$ , del sistema así:

$$K = \int_0^{v_i} \sum m_i v_i dv_i = \int_0^{v_i} \sum S_i dv_i = \int_0^{v_i} \sum v_i dS_i = \frac{1}{2} \sum m_i v_i^2 \quad (2)$$

en que  $dv_i$ , representa el incremento de la velocidad  $v_i$ , considerada escalarmente, que es lo mismo que afecta a la función escalar  $K$ .

De (2) podemos deducir:

$$K = \frac{1}{2} \bar{v}^2 \sum m_i = \frac{1}{2} M \bar{v}^2$$

en que  $M$ , es la masa total del sistema y  $\bar{v}$ , la velocidad media cuadrática.

3. A partir del concepto de entropía mecánica se ha definido, formalmente, la energía cinética del sistema; se introduce el concepto de *fuerza*, a partir del de energía —potencial o cinética— de un sistema de partículas materiales referidas a una base inercial, así:

$$f_x = \frac{\partial}{\partial x} E \quad (3)$$

manteniendo constantes todos los parámetros excepto  $x$ , que representa *una dirección y un sentido* cualesquiera en el espacio, respecto a los que consideramos la magnitud  $f_x$ , que —por depender de dicha dirección y sentido— es vectorial.

De la (1) resulta:

$$f_x = \frac{\partial K}{\partial x} + \frac{\partial U}{\partial x} = f_{Kx} + f_{Ux} = 0 \quad (4)$$

al primer término de (4) lo llamamos *reacción* al segundo *acción*, cuya suma es nula: es la «Tercera Ley de NEWTON». Siempre que una partícula material varía su *velocidad*, en una determinada dirección y sentido que se considere, aparece una fuerza  $f_{Kx}$ , que es igual y de sentido opuesto a la acción causante de dicha variación, dada por incremento del potencial  $U$ , según la misma dirección y sentido, que expresamos por  $f_{Ux}$ .

Aparece así la Tercera Ley Newtoniana como consecuencia de la *primera Ley Fundamental* y de la *dualidad energética*: potencial y cinética, considerada en un sistema aislado (su energía se mantiene constante).

Por otra parte, la definición (3) y la correspondencia (4) conducen a la clásica expresión de la «Segunda Ley de NEWTON»:

$$f_{Kx} = ma_{Kx}$$

que considera la fuerza, en la dirección arbitraria  $x$ , en función de la masa de la partícula y de la aceleración en la misma dirección y sentido.

4. La «Primera ley de NEWTON», expresa la constancia de la velocidad de una partícula aislada ( $K = \text{Constante}$ ), respecto a una referencia inercial. Cuando se trata de un *sistema de partículas*, esta constancia se refiere, como es sabido, al centro de masa (CM) del mismo. Sin embargo, de la (1) no se desprende, necesariamente, que sea imposible variar el estado de movimiento del CM, pues  $K$  puede variar a expensas de  $U$  y, aún manteniéndose constante, cabe la posibilidad de transformar energía cinética, de rotación u oscilación de las masas del sistema, en energía cinética de traslación de la *totalidad* del sistema. Esta posibilidad, paradójica si enfocamos el problema desde el punto de vista de esta Primera Ley newtoniana, está abierta. Este es, en parte, el objeto del presente trabajo. Basta considerar lo endeble que es la definición de sistema *aislado*, como se vio a propósito de la *tercera Ley Fundamental* de la Mecánica o «Principio de MACH». NEWTON tiene razón siempre y cuando se

trate, realmente, de una situación de aislamiento; sin embargo, aunque es posible considerar aislamiento, incluso respecto a las fuerzas gravitatorias debidas a la presencia de otros sistemas, es imposible el *aislamiento inercial*. Hay fuerzas de origen inercial —externas al sistema— que aparecen aunque él mismo esté, energéticamente, aislado y que pueden variar el estado de movimiento de CM<sup>1</sup>.

5. La Tercera Ley newtoniana es perfectamente válida si se refiere a las fuerzas *internas*, de origen potencial y cinético, que se anulan *dos a dos*, según expresa (4) y —en consecuencia— la suma de todas las fuerzas internas es nula. Lo mismo cabe decir del momento total. Sin embargo, pueden aparecer fuerzas *externas*, de resultante no nula, aunque el sistema esté energéticamente aislado. Es el resultado de la «degradación» de la energía cinética K, expresada por la *función de estado* que se ha definido como *entropía mecánica* S, del mismo y cuyo contenido expresa un aspecto *cuantitativo* de la energía K, frente al *cuantitativo* dado por la *primera Ley Fundamental*. Es lo que se ha anunciado como *segunda Ley Fundamental* de la Mecánica, de la que el «Segundo Principio de la Termodinámica» es un caso particular, cuando el número de partículas del sistema puede considerarse infinito, como se verá más adelante.

6. Nótese que la entropía de un sistema, aún manteniendo K constante, puede *aumentar*, en función de la *distribución de velocidades* de las partículas del mismo, respecto a una referencia inercial (las «estrellas lejanas» de NEWTON y MACH). Esta variación es *irreversible* en estas condiciones. La energía cinética admite *gradaciones*, se puede *degradar*: es decir puede actuar como «potencial» de sí misma; para ello no es preciso la intervención, direc-

1. Véase nuestro trabajo: *La afirmación del Principio de Mach y sus consecuencias dinámicas*, Pamplona, septiembre 1975.

ta, del potencial  $U$ ; basta que el sistema no esté inercialmente aislado, cosa que ocurre siempre.

La irreversibilidad apuntada, sólo es tal si se desprecian las influencias gravitatorias. Esto es siempre posible, a la escala de laboratorio, dada la debilidad de dicha interacción —la más débil de todas las conocidas— frente a las demás: eléctricas, magnéticas, nucleares. Pero no lo es a escala Cósmica, cuyos procesos, además, cuentan con larguísimos períodos de tiempo para producirse. No es admisible, por tanto, la hipótesis de «muerte entrópica» del Universo: la gravitación es una *retroacción positiva*, cibernéticamente constructiva. El Cosmos, en todo caso, sería de naturaleza *oscilante*, de acuerdo con la *segunda Ley Fundamental*.

#### IV. CONCEPTO MECÁNICO DE TEMPERATURA.

1. En Termodinámica, la variación de energía  $\Delta E$ , de un sistema viene dada por:

$$\Delta E = Q - w \quad (1)$$

siendo  $Q$ , el calor suministrado al sistema y  $w$ , el trabajo realizado por el mismo. De (1) se deduce:

$$dE = d'Q - d'w \quad (2)$$

en que escribimos:  $d'Q$ ,  $d'w$ , en lugar de  $dQ$ ,  $dw$ ; pues  $Q$  y  $w$  no son funciones de estado y, en consecuencia,  $d'Q$  y  $d'w$ , no son diferenciales exactas.

2. Podemos identificar, para nuestro propósito, el calor  $d'Q$ , con los incrementos de las energías  $K$  y  $U$  del sistema, con lo que:

$$dE = dK + dU - d'w \quad (3)$$

En Termodinámica, si el proceso es conducido por un camino reversible, resulta:

$$d'Q = TdS$$

y de (2) resulta:

$$dE = TdS - d'w \quad (4)$$

la temperatura viene definida por:

$$T = \frac{\partial E}{\partial S} \quad \text{y} \quad \frac{\partial E}{\partial S} > 0 \quad (5)$$

Manteniendo constantes todas las variables de estado

menos S, con lo que  $\frac{\partial w}{\partial S} = 0$  por ser entonces  $d'w = 0$ ,

de (4) resulta la (5).

A partir de (3) resulta:

$$T = \frac{\partial E}{\partial S} = \frac{\partial K}{\partial S} + \frac{\partial U}{\partial S}$$

pero U depende de la posición y no de la velocidad, con

lo que:  $\frac{\partial U}{\partial S} = 0$  pues, S, depende de la velocidad y

no de la posición, y entonces:

$$T = \frac{\partial K}{\partial S} = \frac{\partial \frac{1}{2} M \bar{v}^2}{\partial S} = \frac{M \bar{v} d\bar{v}}{M d\bar{v}} = \bar{v}$$

pues, se verifica:  $dS = Md = \bar{v} = Md = \bar{v}$ , con lo que:

$$T = \bar{v}$$

en que  $\bar{v}$ , es la velocidad media cuadrática, a que se realizan los cambios diferenciales de entropía; que *no es* la velocidad media de las masas del sistema, dada por:

$$\bar{v} = \frac{\sum m_i v_i}{M} = \frac{\sum S_i}{M} = \frac{S}{M} \quad \text{con} \quad \bar{v} \leq \bar{\bar{v}} \quad (6)$$

La velocidad media cuadrática (v. m. c.) viene dada por:

$$\bar{v}^2 = \frac{\sum m_i v_i^2}{M} = \frac{\sum S_i v_i}{M} = \frac{S\check{v}}{M} = v \check{v} \quad (7)$$

con  $\check{v} \geq \bar{v}$

Solamente cuando las  $v_i = v_j = \bar{v}$ , resulta:

$$\bar{v} = \bar{v} = \check{v} \quad (8)$$

pues:  $\bar{v} = v_j = v_i$  de (6) y de (7) resulta:

$$\bar{v}^2 = \bar{v}^2$$

es decir, la (8).

La noción de «temperatura» es, pues, equivalente a la velocidad media cuadrática a que se realizan las variaciones diferenciales de entropía.

3. En un sistema *mecánico*, la energía interna E, del mismo, viene dada por la suma de su energía cinética K, más su energía potencial U, eléctrica, elástica, etc., de que está dotado:

$$E = K + U$$

y si el mismo sistema realiza un trabajo w, y recibe energía (que designaremos por Q) resulta:

$$dE = d'Q - d'w = dK + dU - d'w$$

pero:

$$\begin{aligned} dK &= d\sum \frac{1}{2} m_i v_i^2 = \sum m_i v_i dv_i = \sum dS_i = dS \check{v} = \\ &= M \bar{v} d\bar{v} = dS \bar{v} \quad (\text{con lo que } \bar{v} = \check{v}) \end{aligned}$$

y de ahí:

$$dE = \bar{v} dS + dU - d'w \quad (9)$$

pero el potencial del sistema sólo depende de los parámetros del mismo, pero no de las velocidades; (la condición para que exista energía potencial, referente a un sis-

tema de partículas, es que sea independiente de las velocidades de traslación de las mismas). Puesto que  $S$  es exclusivamente función de estas velocidades de traslación, resulta que  $U$  es *independiente* de  $S$ . De ahí y a partir de (9) resulta:

$$T = \frac{\partial E}{\partial S} = \frac{\partial K}{\partial S} + \frac{\partial U}{\partial S} = \frac{\partial K}{\partial S} \quad (10)$$

por ser

$$\frac{\partial U}{\partial S} = 0 \quad \text{y} \quad \frac{\partial w}{\partial S} = 0$$

con lo que:

$$T = \frac{\partial K}{\partial S} = \bar{v} \quad (11)$$

puesto que de (9):

$$dE = \frac{\partial E}{\partial S} dS + \frac{\partial E}{\partial U} dU = \bar{v} dS + dU \quad \text{y de aquí}$$

resulta  $\frac{\partial E}{\partial S} = \bar{v}$  que comparada con (10) nos da:

$$\frac{\partial E}{\partial S} = \frac{\partial K}{\partial S} = \bar{v}$$

que constituye el resultado (11), ya deducido anteriormente.

4. En los sistemas mecánicos *siempre* se verifica:

$$dK = \bar{v} dS = T dS$$

mientras que en los sistemas que considera la Termodinámica, en general es:

$$d'Q < T dS$$

Salvo que sean procesos reversibles (ciclo de CARNOT), que son *infinitamente lentos* debido a que el número de partículas es equivalente, en la práctica, a infinito.

Los resultados (11) justifican la hipótesis de identificar el calor  $d'Q$ , con la variación de energía cinética y potencial del sistema. Pero existe una diferencia: mientras en un sistema mecánico —formado por un número finito de partículas y de parámetros que expresan sus interrelaciones— resulta:

$$dK = T dS = \bar{v} dS \quad (\text{manteniendo constantes los demás parámetros del sistema})$$

es decir, es una diferencial exacta; no ocurre lo mismo cuando se trata de un número infinito de partículas, en que es preciso tener en cuenta el *tiempo de relajación*  $\tau$ , del sistema en relación con el tiempo que es preciso para la evolución del mismo de un estado de equilibrio a otro. En este último caso se verifica:

$$d'Q \leq dK = T dS \quad (12)$$

y sólo se satisface la igualdad (12), en procesos quasi-estáticos: que no se dan en la realidad. En los procesos termodinámicos reales —irreversibles— ya no es posible la identidad: el calor absorbido por el sistema  $d'Q$ , es menor que el que resultaría en un proceso reversible, ideal, dado por  $T dS$ . Es decir:

$$d'Q < T dS = dK$$

Tampoco es posible, en un sistema de tan elevado número de partículas, considerar situaciones dinámicas sino tan sólo estados de equilibrio: en los que es posible definir la función  $S$ , mediante consideraciones de mecánica estadística. Sin embargo, sí es posible definir  $S$ , en los sistemas mecánicos en que el número limitado de partículas y de parámetros permite formular las leyes con que evolucionan. Así, en estos sistemas, será posible conocer la entropía en todo momento de su evolución y no sólo en los estados de equilibrio que, por otra parte, pueden no existir: éste es el caso de los sistemas oscilantes.

6. Es sabido que las leyes Newtonianas resuelven perfectamente la *interacción* de una, dos o infinitas partículas, pero son incapaces de resolver el problema de tres, cuatro, ..., aunque se trate del «sencillo» sistema formado por tres partículas que interaccionan entre sí: sólo se han podido establecer soluciones, aproximadas, cuando una de las partículas tiene masa muy superior al resto (SUNDMAN en 1912, después de superar graves dificultades, logró resolver el problema por el método de las perturbaciones; pero no existe una solución, simultánea, para todo el sistema)<sup>1</sup>.

Sin embargo, de todo lo que antecede, resulta que al no existir sistemas inercialmente aislados (*tercera Ley Fundamental*) y que la entropía mecánica máxima corresponde a la energía K, de traslación uniforme (*segunda Ley Fundamental*), es posible que el centro de masa CM, de un sistema compuesto de un número finito de partículas, *no sea inercial* aunque esté energéticamente aislado.

Al plantear la solución mecánica de un sistema de 1, 2, 3, 4 ... partículas, se parte de la base de que el CM, es *inercial* y esto sólo es rigurosamente exacto cuando se trata de 1, 2, ó infinitos cuerpos, pero no para 3, 4, ... número finito. No tiene nada de extraño que, con ese planteamiento, haya sido imposible dar solución simultánea al problema «sencillo» de los tres cuerpos; que no se tenga, ni aproximada, para 4, 5, ó más; y que, sorprendentemente, se tenga para infinito número de partículas análogas (átomos y moléculas), que son objeto de estudio de la ciencia Termodinámica.

7. Se comprende mejor la necesidad de introducir el «molestísimo y extrañísimo»<sup>2</sup> Segundo Principio de la Termodinámica. Considerado desde el punto de vista puramente cosmológico, dicho principio no sería más que

1. Bruno FINZI, *Meccanica Razionale*, vol. II, pág. 89.

2. J. MERLEAU-PONTY, *Cosmología del siglo XX*, Madrid, Ed. Gre-dos, 1971, pág. 84.

un caso particular de la *segunda Ley Fundamental* de la Mecánica, que se propone en el presente estudio, en el caso de infinitas partículas. Además, es preciso tener en cuenta el tiempo de relajación  $\tau$ , del sistema: consecuencia de que «acción y reacción», no son exactamente equivalentes aunque la velocidad  $c$ , de transmisión de las mismas, sea tan elevada que se puede despreciar  $\tau$  en los procesos corrientes, pero no cuando se trata de un número de partículas quasi-infinito ( $n.$ º de AVOGADRO), en los procesos termodinámicos; o bien en las interacciones nucleares que estudia la Mecánica Cuántica.

8. En un proceso termodinámico adiabático resulta  $d'Q = 0$ ; sin embargo esto no significa  $dS = 0$ ; es preciso añadir la condición de que sea quasi-estático. Por ejemplo, si comprimimos bruscamente un gas,  $S$  aumenta aunque  $d'Q = 0$ . Lo mismo sucede en la expansión de un gas en el vacío, en que  $d'w = 0$   $d'Q = 0$  y sin embargo se incrementa la entropía del sistema.

En la expansión brusca en el vacío, el potencial elástico del sistema (que tiene un valor medio que se mantiene constante si existe equilibrio) *disminuye*, en consecuencia aumenta la energía cinética  $K$ , por ser en el presente caso:

$$U + K = C^{te}$$

Existen otros potenciales: eléctrico, gravitatorio, etc., que pueden *aumentar* con la expansión y entonces la entropía podría disminuir, pero esto no sucede: si así fuera a ocurrir, no tendría lugar la expansión. Si, de hecho, existe expansión es que la energía potencial total  $U$ , del sistema, disminuye con la misma. Vemos así la perfecta correspondencia entre la *segunda Ley Fundamental* y el principio de energía mínima.

Si se verifica una compresión brusca, aumenta —por simple choque —la energía cinética  $K$ , de las moléculas, y también puede variar el potencial  $U$ ; en todo caso existe un incremento positivo de la entropía  $S$ .

¿Qué ocurrirá cuando se alcance el mínimo potencial

U, o bien la máxima entropía S? Como se vió anteriormente, si se trata de un máximo estable, es decir  $S = C^{\text{te}}$  (y no un máximo relativo), cesa la evolución del sistema; de lo contrario se invierte el proceso hasta que S sea mínima; tenemos una situación oscilante.

9. Tratemos de describir, brevemente, el ciclo reversible de CARNOT:

A partir de 1, el sistema se expansiona isotérmicamente, es decir  $K = C^{\text{te}}$ , y de forma reversible: el trabajo  $\Delta_{12} w$ , que produce es a expensas de K y U (por intermedio de K), al disminuir K será preciso suministrar energía de la «fuente de reserva» a temperatura  $T_1$ ; sea  $\Delta_{12} Q$  esta energía, necesaria para que K se mantenga constante entre 1 y 2. Se tiene

$$\Delta_{12} Q = \Delta_{12} K + \Delta_{12} U - \Delta_{12} w = \Delta_{12} U - \Delta_{12} w$$

pues,  $\Delta_{12} K = 0$  al permanecer constante la energía cinética; la variación de entropía es:

$$S_2 - S_1 = \frac{\Delta_{12} Q}{T_1} = \frac{\Delta_{12} Q}{\bar{v}_1} \quad (13)$$

En 2 se inicia la expansión adiabática. El trabajo que se produce  $\Delta_{23} w$ , es:

$$\Delta_{23} w = \Delta_{23} K + \Delta_{23} U$$

disminuye K y también U (por intermedio de K) y, por tanto, disminuye la temperatura del sistema, pero, puesto que está aislado, S no puede disminuir: *a lo sumo permanecerá constante* o aumentará (si disminuyera no se produciría la expansión, necesariamente espontánea, por estar aislado el sistema).

Al llegar al punto 3, comienza la compresión isotérmica ( $K = C^{\text{te}}$ ): es preciso remover energía cinética (y variar U) para mantener K constante; resulta:

$$\Delta_{34} Q = \Delta_{34} U - \Delta_{34} w$$

el sistema libera energía  $\Delta_{34}Q$ , a «la fuente de reserva» a temperatura  $T_2$  y absorbe trabajo  $\Delta_{34}w$ , hasta que la variación entrópica sea:

$$S_4 - S_3 = S_1 - S_2 = \frac{\Delta_{34}Q}{T_2} = \frac{\Delta_{34}Q}{\bar{v}_2} \quad (14)$$

A partir del punto 4, pasamos al estado inicial 1, mediante compresión adiabática. El sistema absorbe trabajo:

$$\Delta_{41}w = \Delta_{41}K + \Delta_{41}U$$

aumenta  $K$  y también  $U$  (a través de  $K$ ); la temperatura aumenta hasta  $T_1$  y  $S$ , a lo sumo permanece constante o aumenta.

En la máquina de CARNOT, la entropía en un ciclo completo permanece constante si se supone que no varía en los intervalos adiabáticos; mejor sería hablar de expansión o compresión *isentrópicas*, en cuyo caso la variación de entropía es rigurosamente nula: no se olvide que un proceso adiabático no es, necesariamente, isentrópico.

Si  $S$  permanece constante en la expansión y compresión adiabáticos, resulta que  $K$  puede variar a entropía constante: *crecer* o *decrecer*. La posibilidad de que  $S$  sea constante en dichos intervalos, es la única compatible con la definición dada para la entropía  $S$ : continua y *monótona creciente* con  $K$ , es decir, puede permanecer constante como caso particular de crecimiento cero.

El rendimiento del ciclo de CARNOT, teniendo en cuenta las (13) y (14), viene expresado por:

$$\eta = \frac{\Delta_{12}Q - \Delta_{34}Q}{\Delta_{12}Q} = \frac{(S_2 - S_1) \bar{v}_1 - (S_2 - S_1) \bar{v}_2}{(S_2 - S_1) \bar{v}_1} =$$

$$\eta = 1 - \frac{\bar{v}_2}{\bar{v}_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (15)$$

El resultado (15) expresa que la formulación dada para el concepto *mecánico de temperatura* es correcta.

V. CONCLUSIONES Y APLICACIONES FÍSICAS.

1. El proceso expositivo lógico nos lleva a conclusiones y aplicaciones a partir de los principios y de las leyes teóricas establecidas; sin embargo, la creatividad, la búsqueda, la síntesis, siguen el camino inverso en no pocas ocasiones. En el presente trabajo así ha sucedido, de forma que este capítulo corresponde, por lo menos en parte, a un conjunto de hechos experimentales que conduxeron al análisis teórico de los principios y leyes que los rigen.

Las Leyes de Conservación dinámicas dan cuenta de la mayoría de los procesos corrientes, por lo menos con suficiente aproximación, y otros factores tales como el rozamiento, la viscosidad, los regímenes turbulentos, etc., enmascaran el problema en los casos en que debieran tomarse en consideración los efectos que se desprenden de las especulaciones teóricas expuestas en los capítulos anteriores. Esta sería, en nuestra opinión, la causa principal de que no se hubiera descubierto y formulado, a su debido tiempo, la *segunda Ley Fundamental* y que la *tercera Ley* —el Principio de MACH— fuera considerada por los físicos como pura conjetura: una «solución sin problema», se podría añadir.

La Metafísica Aristotélico-tomista, reclamaba una mejor consideración y aprecio a los aspectos cualitativos del Cosmos —de la Dinámica en particular— que sólo la afirmación de la accesibilidad y objetivabilidad de la *esencia* de las cosas, en las mismas cosas, podría suministrar. Las metafísicas trascendentales —que preferiría denominar pseudo-metafísicas— nos apartan del Mundo y, en consecuencia, sólo nos ayudan a profundizar en conocimientos derivados de las leyes y cualidades que ya conocemos pero —en sentido estricto— pueden «perderse soluciones» si no tomamos en consideración alguna cualidad de la *cosa en sí*, que no tiene por qué darnos necesariamente un modelo de la realidad basado en apriorismos inmanentistas.

2. En un trabajo anterior ya citado, se exponen varios casos elementales basados en la afirmación de la *tercera Ley* o Principio de MACH y cuya comprensión conlleva la formulación del concepto de *entropía mecánica*, por aquel entonces desconocido aún. La principal consecuencia dinámica es la posibilidad de burlar las leyes de conservación de la *cantidad de movimiento* y del *momento angular*. Se describe allí un oscilador elástico, simétrico respecto a un eje, formado por *tres masas* vinculadas elásticamente, que es capaz de transformar energía del potencial elástico en energía cinética de rotación y *degradar* ésta en cinética de traslación de *todo* el sistema. Esto sugirió la posibilidad de que en la Naturaleza existieran seres vivos cuya movilidad estuviera basada en osciladores mecánicos análogos al descrito. La respuesta más clara está, en nuestra opinión, en el vuelo de ciertos insectos, sobre todo los más pequeños, cuyo aleteo alcanza frecuencias muy elevadas, con un número de REYNOLDS bajísimo, que prohíbe la sustentación basada en las condiciones aerodinámicas conocidas hasta la fecha. En el apartado que sigue se citan algunos ejemplos y afirmaciones al respecto, entresacados de los trabajos más recientes.

3. En el diminuto insecto *Haplothrips verbasci*<sup>1</sup>, se observa que sus dos pares de «alas» no son más que barras batientes de sección aproximadamente elíptica, provistas de finísimos y muy flexibles cilios, que no pueden servir de superficie de sustentación sino que su finalidad es más bien evitar la resistencia del aire —al facilitar el régimen laminar— en la rapidísima oscilación de las barras que, de lo contrario, perderían eficiencia por la formación de una estela de torbellinos. En el apartado dedicado a «discusión e indicaciones» de uno de dichos

1. Cfr. *Swimming and flying in Nature*, Ed. Plenum Press-N.Y., London, vol. 2, págs. 803 y ss, 1975, correspondiente al trabajo: *On the mechanics of flight of small insects*, por ARNOLD M. KUETHE, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan.

trabajos se afirma<sup>2</sup>: «El desconocimiento de los detalles acerca del mecanismo de vuelo, a tan bajo número de REYNOLDS, indica la necesidad de extensas observaciones durante el vuelo para determinar el movimiento de las alas-barra y de los cilios y asimismo la necesidad de profundizar en los estudios de los detalles por medio del microscopio electrónico, y también de mediciones encaminadas a precisar las propiedades físicas del conjunto de cilios...». Otro estudio<sup>3</sup> termina con las siguientes palabras: «por lo tanto, se debe concluir que se posee poca y fidedigna información acerca de las fuerzas aerodinámicas generadas en el batir de alas y que el problema se debe poner de nuevo en estudio». Y en uno de los últimos números de *Scientific American*, en un artículo dedicado a la sustentación —fuera de lo corriente— de determinados insectos, se afirma<sup>4</sup>: «El aspecto más importante, (la sustentación de) esos insectos y otros voladores que yo he discutido, depende en buena parte de efectos aerodinámicos no estacionarios, hasta el presente desconocidos, que para ellos son beneficiosos y no un estorbo, como lo serían en los aeroplanos fabricados por el hombre».

Es evidente, pues, el desconocimiento acerca del vuelo y sustentación de muchos insectos. Si no existe error en todo lo expuesto y en las pruebas experimentales realizadas, la explicación resulta perfectamente clara y sencilla con la aplicación de la teoría aquí presentada: volarían aún en la ausencia de atmósfera o, por lo menos, buena parte de su sustentación y maniobra se debe a fuerzas de origen inercial; el aire actúa fundamentalmente para posibilitar la función respiratoria.

2. *Ibidem*, pág. 812 del mismo autor.

3. *Ibidem*, pág. 810. Del trabajo: *Aerodynamic forces and their calculation in insect flight*, por W. ZARNACK, Universität des Saalandes, West Germany.

4. Torkel WEIS-FOGH, *Unusual Mechanisms for the generation of lift in flying animals*, "Scientific American", Nov. 1975.

BIBLIOGRAFIA

- AQUINO, TOMÁS DE, *Suma contra los gentiles*, Madrid, Ed. B.A.C. 1968.
- ARISTÓTELES, *Física*, Ed. Aguilar, Madrid, 1973.
- BONDI, H., *Cosmología*, Barcelona, Ed. Labor, 1970.
- BROGLIE, LOUIS DE, *Ondes et mouvements*, Paris, Ed. Gauthier-Villars, 1928.
- CALEN, H. B., *Thermodynamics*. New York. Ed. John Willey and Sons Inc., 1966.
- DOU, ALBERTO, *Fundamentos de la matemática*. Barcelona. Ed. Labor, 1970.
- FINZI, BRUNO, *Meccanica Razionale*, Bolonia, Ed. Nicola Zanichelli, 1962.
- HEISENBERG, WERNER, *La física del núcleo atómico*, Madrid, Ed. Revista de Occidente, 1954.
- *Más allá de la física*, Madrid, Ed. B.A.C., 1974.
- HOENEN, PIETRO, *Filosofía della Natura Inorganica*, Brescia, Ed. La Scuola, 1949.
- JUVET, GUSTAVE, *La structure des nouvelles théories physiques*, Paris, Ed. Alcan, 1933.
- MERLEAU-PONTY, JACQUES, *Cosmología del siglo XX*. Madrid, Ed. Gredos, 1971.
- MILLIKAN, ROBERTO A., *Electrones, Protones, Fotones, Neutrones y Rayos cósmicos*, Buenos Aires, Ed. Espasa-Calpe, 1952.
- OSTWALD, W., *Les grands hommes*, Paris, Ed. Flammarion, 1912.
- POINCARÉ, H., *Science et Méthode*. Paris, Ed. Flammarion, 1927.
- RIUS-CAMPS, JUAN, *La afirmación del Principio de Mach y sus consecuencias dinámicas*, Pamplona, E.T.S.A., 1975.
- SAUMELLS, ROBERTO, *Fundamentos de la matemática y de la física*. Madrid, Ed. Rialp, 1965.
- SCHURMANN, PAUL F., *Luz y Calor*, Madrid, Ed. Espasa-Calpe, 1946.
- SPIEGEL, MURRAY R., *Theoretical Mechanics*, New York, Schaum Publishing Co., 1967.
- WEIZSÄCKER, C. F. VON, *La imagen física del mundo*, Madrid, Ed. B.A.C., 1974.
- *La importancia de la ciencia*, Barcelona, Ed. Labor, 1968.
- WELLS, DARE A., *Dinámica de Lagrange*, Nueva York, México, Mc. Graw-Hill, 1972.