

## FISICA DE AYER Y DE HOY

“La conclusión final es que conocemos muy poco, y aun así es asombroso que conozcamos tanto, y aun mucho más asombroso que tan poco conocimiento nos dé tanto poder.”

BERTRAND RUSSELL

Aunque no tengamos en nuestros días la ilusión que alentaron las generaciones del 700 y del 800, que en su hora se regocijaron en la ingenua creencia de haber vivido el siglo de oro de la ciencia, es indudable que en ningún otro momento los hombres de todas las escalas sociales y grados de cultura sintieron una mayor atracción por las cosas de la ciencia como en la actualidad.

¿A qué atribuir tan desusada actitud, que contrasta con la general indiferencia con que se miraba en épocas anteriores la labor de los sabios investigadores? ¿Guarda relación este interés con alguna modalidad propia de la ciencia contemporánea, como sería el carácter espectacular de algunos de sus resultados, o acaso el ciudadano común, con certera intuición, ha terminado por comprender que la ciencia toma cada vez mayor ingerencia en la vida de cada hombre y de la comunidad?

Por lo demás, en los tiempos actuales la sensibilidad popular ha percibido que algo de excepcional está pasando detrás de los austeros muros del templo del saber. Se tiene la sensación de que el pulso de la actividad intelectual acelera,

como si los sabios marcharan muy de prisa y vivieran un momento de febril excitación.

No pocos saben que hay edades, o estadios, más o menos bien definidos en la historia de la ciencia, pero advierten no sin sorpresa que éstos tienen cada vez menos duración. Saben que grandes pensadores de la antigüedad, como Aristóteles y Demócrito, tuvieron la fortuna de que sus doctrinas les sobrevivieran por casi dos milenios, mientras que una estructura como la Mecánica Clásica, lógica e inmovible en apariencia, no alcanzó a sobrevivir a sus progenitores Galileo y Newton ni tan siquiera tres siglos. En la hora actual las árduas e ingeniosas especulaciones físico-matemáticas, concebidas por cerebros privilegiados, apenas tienen un mañana, porque caen pronto abatidas por otras que, aunque más audaces y menos intuitivas, responden más adecuadamente a la descripción matemática de un sector de la naturaleza.

Jamás se pasó antes por parecida situación: ni bien se proclama que la Humanidad ha transpuesto el umbral de una nueva era científica —la de la Electrónica— cuando esa misma generación escucha pronto que se acaba de penetrar en la edad nuclear; y no se han apagado aún estas voces cuando se le anuncia que la era de la conquista del espacio sideral ha comenzado, al propio tiempo que ya está cobrando forma definida un nuevo prodigio de la ciencia: la Cibernética.

Estos son algunos de los rasgos de estos tiempos de civilización supercientífica. Trascendentales descubrimientos se suceden con ritmo cinematográfico, en tanto que la inteligencia invade dominios cada vez más recónditos e insospechados de la siempre inextricable e ininteligible naturaleza.

Ante tan sensacionales triunfos no puede sorprender que la ciencia se presente en el sentir popular con la apariencia de un poder omnímodo y con los atributos de una rigurosa exactitud. ¿Se justifica sin embargo esta apreciación? ¿La ciencia es en verdad omnipotente y camina con firme y seguro paso hacia una meta que está segura de alcanzar?

Quienes no viven de cerca el mundo íntimo de la ciencia

se encuentran un poco a la manera de los espectadores que admiran un grandioso espectáculo donde armonizan movimientos, sonidos, luces y colores. Las escenas se suceden siguiendo los lineamientos de un ingenioso y por momentos inquietante argumento y la imaginación se eleva sin querer hacia un mundo irreal en el que todo parece ser ordenamiento estético y perfección.

La escena no es sin embargo la misma vista desde adentro, pero la verdadera realidad no trasciende a los espectadores de la sala, ante quienes sólo se exhiben los resultados de los esfuerzos concertados de los creadores artísticos.

La evolución del pensamiento científico al través de las edades no siguió el mismo curso en las diferentes ramas del saber; mientras la Filosofía, la Matemática y la Astronomía de posición florecían en las antiguas civilizaciones orientales, lo que hoy llamamos Física no se constituye con el carácter de una verdadera disciplina científica sino a principios del siglo XVII.

Es cierto que de tanto en tanto surgen grandes figuras como las de Aristóteles, que nos legó un tratado de Física, de un Arquímedes que sentó algunos de los principios fundamentales de la Estática y de la Hidromecánica y, ya más recientemente, aquella rara conjunción de artista y de científico que fue el genio múltiple y precursor de Leonardo; pero puede decirse que fueron investigadores aislados, que no dejaron tras de sí una escuela continuadora de sus pensamientos creadores; fueron como semillas arrojadas en un medio insuficientemente evolucionado como para que pudieran germinar.

Diversas causas demoraron el despertar de la Física. Así como la eneguedora luz del sol nos impide ver la realidad de las estrellas, de igual modo el resplandor que rodeó al genio del estagirita deslumbró por siglos a los pensadores y su autoridad, casi sagrada, sojuzgó el entendimiento ocultando

los senderos que habrían de desembocar en la era científica de nuestro tiempo.

Pero asoman ya los primeros albores que anuncian la llegada del siglo XVII y occidente está como saturado de invisibles fuerzas creadoras. La *Philosophiae Naturalis* se despeza, somnolienta aún, para salir al fin de su prolongado letargo y de pronto el mundo se conmueve; es que la gran eclosión se ha producido y dos impetuosas corrientes revolucionarias avanzan incontenibles y arrolladoras. Del lado filosófico sobresalen las figuras de Bacon y Descartes y del de la Física, Galileo y Gilbert, que introducen formalmente y de un modo sistemático el método experimental y las relaciones cuantitativas en las investigaciones físicas, apareciendo desde entonces, clara y fecunda, la concepción de la ley natural como relación funcional, sin la cual no sería concebible nuestra actual fisico-matemática.

“Provando e riprovando” proclama Galileo, y este nuevo credo de la ciencia se expande como veloz saeta por todo el ámbito científico.

Qué cerca y al propio tiempo qué lejos nos sentimos de los años que corren entre los umbrales de los siglos XVII y XX. Próximos en el tiempo, pero tan distante de nuestra actual representación intelectual del Cosmos. Del esquema de un universo medieval, ordenado e impregnado de un poético sentido de finalidad se pasa de pronto a una ciencia definida por algunos como el *sentido común organizado*.

Durante este lapso la naciente ciencia se desarrolla con gran brillo y esplendor. Newton prosigue la obra iniciada por Galileo y Huyghens, asentando sobre bases matemáticas los principios de la Mecánica Clásica. Su ley de la gravitación universal, que permitió incluir a las leyes empíricas de Kepler en las ecuaciones generales de la dinámica, hubiera bastado para cubrirlo de gloria imperecedera:

Aquí descansa  
 Sir Isaac Newton, Caballero  
 que con fuerza mental casi divina,  
 demostró el primero  
 con su resplandeciente matemática,  
 los movimientos y trayectorias planetarias  
 los senderos de los cometas y el flujo y reflujo de los océanos.  
 . . . . .  
 . . . . .  
 Dad las gracias mortales  
 al que ha existido así, y tan grandemente  
 Como ornamento de la raza humana.

Así reza, en parte, un epitafio sobre su tumba.

“No está dado a mortal alguno aproximarse más a los dioses”... dice el astrónomo Halley en el prefacio de los *Principia*...; “Por lejos que llegue el telescopio no alcanza los límites sometidos a las leyes de Newton”..., proclama el gran Poincaré.

La innata modestia de Newton le permitió anticipar en vida su protesta a estos elogios póstumos... “Si pude ver más lejos es porque gigantes me elevaron sobre sus espaldas”... “No se lo que el mundo pensará de mis obras, pero me parece haber sido como un niño jugando en la orilla del mar, encontrando aquí un guijarro mejor pulido, allá una conchilla más agradablemente nacarada, mientras el océano infinito de la verdad me ofrecía su inmensidad inexplorada”...

Tanta alabanza y admiración no alcanza solamente la figura del ilustre genio, porque ellas se proyectan a la esencia de su propia obra, o, por mejor decir, al espíritu nuevo que anima a la nueva ciencia, que inicia Copérnico, y cuyas inmensas posibilidades se comienzan a vislumbrar.

La invención del cálculo infinitesimal pone en manos de Newton y sus continuadores un nuevo y poderoso instrumento matemático, cuya aplicación al tratamiento de los problemas físicos se cree justificar en el “axioma” de la continuidad en los procesos de la naturaleza.

A partir de entonces ningún principio nuevo se incorpo-

ra a la mecánica clásica, pero una pléyade de insignes matemáticos, entre los que se destacan Euler, Bernouilli, Laplace, Lagrange y D'Alembert se dedican a la tarea de codificar los principios descubiertos por Galileo y Newton, lográndose nuevas formas y generalizaciones, con la aplicación del análisis matemático. Surgen de este modo la Mecánica Analítica de Lagrange, un "poema científico", al decir de Hamilton, y la Mecánica Celeste, de Laplace, grandiosa obra que legisla la dinámica del sistema solar y da una alentadora respuesta al inquietante problema de su estabilidad, comprometida por las desviaciones orbitales que las interacciones entre las masas planetarias determinan.

En una Europa agitada por convulsiones políticas y las invasiones napoleónicas, alumbra la llama del saber, y la ciencia, ya encauzada en el nuevo rumbo se acrecienta y ahonda sus raíces en suelo fértil.

La Electricidad, es cierto, había quedado rezagada, pero, a fines del siglo XVIII se comprueba que tampoco "ese fluído misterioso" escapa a la ley matemática y este descubrimiento, juntamente con el de la corriente eléctrica, tiene una influencia incalculable en el desarrollo precipitado de la Electrología, señalando el punto de partida de una nueva etapa del progreso técnico y científico. Es como si se hubiesen abierto las compuertas de una presa gigantesca, porque una avalancha de sucesos irrumpe incontenible y los sabios casi ni tiempo tienen para ordenar y sistematizar los resultados de sus trabajos. Para la segunda mitad del siglo pasado la Energética tiene enunciados con toda claridad sus dos principios fundamentales, mediante los cuales las teorías de la Mecánica, del Calor y de la Electricidad cobran nuevas y más amplias formas positivas.

Aparece el telégrafo como primera aplicación importante de esta última ciencia, el que no tarda en ser seguido de un aluvión de otras invenciones, que en conjunto modifican nues-

tra forma de vida y por las cuales el mundo civilizado cobró una nueva fisonomía.

Los últimos años del siglo pasado muestran a la física en una situación por demás singular. El enorme adelanto en todas sus secciones la mostraba a la manera de un majestuoso edificio de sobrias y elegantes líneas arquitectónicas, cuya estructura se asentaba sobre tres imponentes y esbeltas columnas: la Mecánica Racional, la Termodinámica y la Electrodinámica, la que por arte y magia de la síntesis maxwelliana incluye a la óptica. Un sentimiento de satisfacción y de orgullo apenas disimulado embargaba el ánimo de los físicos de la época; y no era para menos por cierto, porque, en apariencia al menos, todo era allí demostraciones rigurosamente lógicas, apoyadas en el significado de entidades y en principios “definitivamente adquiridos”. La Mecánica Racional, por ej. basada en principios “confirmados” a posteriori por la experiencia, por el rigorismo de sus demostraciones parece por momentos una mera prolongación de la Geometría.

Aunque ahora nos cueste creerlo, dominaba la general sensación de que esa obra cumbre del intelecto estaba virtualmente lograda, con sus principales problemas resueltos. En adelante, decíase, la labor de los estudiosos quedará reducida a la tarea de complementar y perfeccionar una que otra de sus partes. “Por el año 1895 —declara el eminente físico H. A. Lorentz— la Física era para mí una ciencia casi perfecta; por eso su estudio no ofrecía mayor interés”.

¿Cómo sospechar que en esos mismos momentos el edificio de la Física se encontraba peligrosamente minado, en sus propios cimientos, y su estabilidad comprometida y cómo adivinar que tras de tan apacible estado de confianza y satisfacción se ocultaba la inminencia de la más intensa y renovadora conmoción científica de todos los tiempos?

El inusitado desarrollo de la Física a partir de principios del siglo pasado puede compararse al impetuoso avance de un ejército invasor; las veloces vanguardias motorizadas irrumpen a sangre y fuego, dejando tras de sí algunos bolsones ais-

lados de fuerzas enemigas, cuya permanencia no se cree pueda comprometer la seguridad de las posiciones conquistadas, porque se reducirán por sí mismas o por acción de la retaguardia. Del mismo modo, la ininterrumpida sucesión de descubrimientos en el campo de la Física dejó atrás a núcleos de dificultades y problemas no resueltos, cuyas soluciones fueron después logradas por los "físicos de la retaguardia". No obstante, uno de aquellos núcleos de resistencia desafió el poderoso embate: fue inútil arrojar contra él las ultrapotentes y sutiles fuerzas de la inteligencia y las ingeniosas astucias con que contaba el arsenal de la Física de entonces, porque el *enigma de la distribución espectral del cuerpo negro* permaneció irreductible e inmovible. De nada valieron los intentos de Wien y de Raileigh-Jeans; sus ecuaciones sólo cubrían uno u otro de los extremos de la curva experimental, en campana, de Lummer y Pringsheim, y así fue como, en medio del desaliento y de la ansiedad de todos no tardó en escucharse la temida y lapidaria sentencia: la Física clásica se declara impotente para develar el misterio de la radiación del cuerpo negro.

Momentos de perplejidad y desaliento siguieron a esta confesión; ella evidenciaba que algo que se había dado por cierto no se cumplía en la realidad. Mas, ¿qué era ese algo?

Al iniciarse el presente siglo Max Planck, ex discípulo y sucesor del ilustre Kirechhoff en la cátedra de Física de la Universidad de Berlín, presenta inesperadamente una extraña *teoría de los cuantos*, la que conduce a la exacta e integral solución del enigma de la radiación negra. En un primer momento ni el propio Planck admitió plenamente la realidad física de los cuantos, propuestos mas bien a manera de un mero recurso de cálculo, porque su existencia implica, ni más ni menos, que imponer una discontinuidad a la energía, en abierta oposición con uno de los dogmas cardinales de la ciencia clásica, y en particular con la electrodinámica de Maxwell, recientemente confirmada experimentalmente por Hertz.

De este modo, la amplia brecha que los recientes descu-

brimientos en los campos de la teoría química atómica, la electrolisis y las descargas eléctricas en los gases enrarecidos habían abierto en el corazón mismo del milenario aforismo "Natura non facit saltus", en el que se asentaba la esencia de las doctrinas físicas, se ahondaba peligrosamente, con alarmantes repercusiones, desde que al "cuantizarse" los elementos primordiales que integran nuestra percepción del universo físico, transfiguraban de pronto su esencia y su propia individualidad.

Difícil sería describir el revuelo causado por tan irrevolvente teoría. Es como si se hubiesen adivinado las tremendas derivaciones que esta "herejía científica" ocultaba en la aparente insignificancia de la ultra diminuta constante universal de Planck, cuyo poder no tardó en manifestarse. Jamás ente tan pequeño provocó revolución conceptual de tanta trascendencia. Al igual a lo que habría de repetirse poco más tarde con la Relatividad, las ondas sísmicas de esta conmoción alcanzaron el campo propio de la Filosofía, desde que afectan al principio de causalidad, cuando se lo aplica al mundo microfísico en su estricta formulación tradicional.

Nos parece que los historiadores del futuro señalarán esta época como el trascendental momento en que la humanidad sale de su infancia intelectual.

A partir de entonces el mundo de la ciencia vive un vértigo de dramáticos sucesos. Momentos de duda, desaliento, maravilla e incredulidad alternan continuamente, a medida que las espesas nieblas de un mundo desconocido van dejando entrever las formas, todavía vagas e imprecisas, de esta nueva percepción intelectual del universo. Fantasmagórica cosmovisión, que, por su misma naturaleza, no trasciende al hombre de la calle. Pero de tanto en tanto surge una luz del templo de la ciencia y los hombres de todos los pueblos participan de esas mismas ansiedades, maravillas y esperanzas, cuando sabe de bombas nucleares que arrasan indefensas ciudades, de satélites artificiales que cruzan con vertiginosa velocidad las altas

regiones de los cielos o que el hombre se apresta a abandonar a su tierra para volar al través del espacio astral.

Las implicaciones de la teoría de los cuantos de energía — llamada después de los cuantos de acción — aparecieron desde un principio tan revolucionarios que, caso poco frecuente en la historia, el mismo Planck se unió a los físicos que intentaban lo indecible para atenuar, cuando menos, su importancia y salvar el “espíritu de la física clásica”. Mas vanos fueron los esfuerzos para erradicar al intruso cuanto, cuya existencia, por el contrario, se afirmaba más y más.

No obstante, las penurias de la Física clásica no habían hecho más que empezar; en el año 1905 Einstein da a conocer su célebre teoría de la relatividad restringida, que surge en parte como una consecuencia de los resultados aparentemente contradictorios de las experiencias de Fizeau, Bradley y de Michelson y Morley, que comprometían peligrosamente la existencia del eter cósmico, y de la famosa *contracción* de las longitudes en la dirección de la velocidad y *dilatación* del tiempo en los medios que se mueven en el seno de un eter estacionario, propuestas por Fitzgerald y Lorentz en un intento para explicar el resultado negativo del experimento de Michelson.

En esta teoría se dan expresiones para las leyes naturales que permanecen invariables en sistemas en movimientos uniformes relativos, es decir, se afirma que las leyes de la naturaleza son invariantes sólo con referencia a sistemas inerciales. Como se ve, la hipótesis einsteniana extiende a los fenómenos electrodinámicos —y por consiguiente también a los ópticos— el antiguo principio de relatividad que Galileo había instituido para los fenómenos de la mecánica.

En 1914 Einstein consigue generalizar su teoría de relatividad al caso de movimientos acelerados, estableciendo para ello una equivalencia entre un campo gravatorio y un movimiento acelerado convenientemente elegido del sistema de referencia.

Aunque menos revolucionarias que los cuantos, estas tan audaces cuanto fecundas concepciones fueron otras tantas vi-

gorosas acometidas contra los ya tambaleantes y maltrechos principios de la Física, porque analizadas que fueron sus consecuencias, pronto se echó de ver que no eran admisibles, a menos de renunciar a nuestros tan arraigados conceptos de tiempo, espacio, masa y simultaneidad, en los que se apoya precisamente la Física clásica. Ni la misma ley de gravitación de Newton, que, con exactitud casi perfecta había regulado la marcha de los planetas, pudo escapar a este derrumbe. Más afortunados fueron los principios de conservación de la materia, de la energía y de la cantidad de movimiento, —aunque reunidos ahora en una ley única—, y el sistema de ecuaciones de las ondas, de Maxwell.

Sobre estas ruinas, y tratando de salvar lo más posible de entre los escombros, se emprendió la ardua y harto difícil tarea de la reconstrucción. Tres líneas de ataque, en apariencia independientes, señalaban el camino, apuntando a la naturaleza de la materia, de la luz y de la electricidad.

¡Qué cambio! A la otrora euforia de los sabios de fin de siglo, sucedía a sólo dos decenios de distancia el preocupado gesto de sus inmediatos sucesores; y no era para menos: la nueva física se presenta, en parte al menos, como una renuncia al intento de racionalizar a la naturaleza, desde que pierde sentido en ella invocar un nexo entre los vínculos ontológico y lógico, y es también un abandono del tiempo y del espacio de nuestras sensaciones, esto es, del tiempo y del espacio considerados como “formas separadas de la intuición dadas a priori”, que nos dijera Kant, porque en la concepción relativista estos entes se confunden en un psicológicamente inaprehensible continuo tetradimensional, representado por el “*mundo*” de Minkowski.

Cuando, por otra parte, se pasa a describir el movimiento de partículas sub atómicas aisladas, se desvanecen el espacio y el tiempo como entidades preexistentes, pero van surgiendo a la existencia al tiempo que el sistema comprende un inmenso número de ellas. Asimismo, el principio de casualidad sólo cobra

significado bajo la vigencia de una ley de probabilidades inherente a grandes multitudes de partículas.

No es posible exponer en esta incompleta síntesis las vicisitudes por que ha pasado, y está pasando aún, la Física, durante el transcurso del último medio siglo. No lo consiente el espacio disponible, más, si tal hiciéramos, quedaría en el ánimo de cada uno las confusas imágenes de un relato inverosímil; algo así como la afiebrada visión de un espectáculo imposible, con fabulosos y legendarios actores que se mueven, agitan, transfiguran, salen de la existencia, entran a la existencia, eliminan matemáticamente su individualidad... todo ello en un escenario de dimensiones espacio-temporales que no son los familiares espacio y tiempo de nuestras percepciones sensoriales. Asistiríamos a una extraña danza de evanescentes e insustanciales fotones, de electrones, positrones, protones, neutrones, neutrinos, mesones... y las pulsaciones de las ondas asociadas, en un marco conceptual impregnado de fuerzas, energías, líneas espectrales, estructuras finas, frecuencias, fuerzas de intercambio, ondas de materia, números cuánticos, matrices, órbitas, espacios de configuración, barreras de potencial, efecto túnel, principios de causalidad, de conservación de materia-energía, de equivalencia, de exclusión, de incertidumbre, de correspondencia, indeterminismo... y legislando estadísticamente todo este en apariencia caótico y dislocado mundo microfísico, la omnipotente y omnipresente constante universal de Planck.

¿Cuáles son los resultados de tan azarosos trabajos y de tan altas especulaciones de la ciencia? El átomo ha sabido guardar bien sus secretos, y sólo mediante violentas compulsiones ha develado algunos de sus misterios. Si hasta parece un abuso que para dislocar núcleos atómicos cuyos diámetros sólo son una cien milésima parte del del átomo, que mide a su vez una cien millonésima de centímetro, se emplazan contra él gigantescas maquinarias aceleradoras de partículas, como ciclotrones, bevatrones, sincrotrones, cosmotrones, rheotrones..., que pesan centenares y aún millares de toneladas y arrojan contra el invisible y archi-diminuto núcleo proyectiles de energía que

pueden superar los mil millones de electron-voltios, con velocidades de hasta 280.000 Km/s.

Los primeros físicos atómicos creyeron que podían averiguar la real configuración del átomo y se entretuvieron en diseñar ingeniosos modelos cuyo "funcionamiento" debía responder a sus propiedades. Así, la imagen del átomo de hidrógeno, que es el más simple, consistiría, según Bohr y Sommerfeld en un núcleo protónico, en el que se concentra la casi totalidad de la masa atómica y exhibe una carga elemental positiva y de una electrón "planetario" que gira en su derredor describiendo una roseta. Para sostener el equilibrio dinámico el electrón debe dar no menos de mil billones de vueltas por segundo. El espacio exterior al núcleo presenta diferentes niveles de energía, que explican diversas propiedades ópticas, eléctricas y químicas del átomo.

La Mecánica Ondulatoria permite representar al electrón como un campo electromagnético pulsante que gira en torno del núcleo y, según Schrödinger el átomo entero puede considerarse sumergido en una "nube de probabilidad matemática", donde los estados estacionarios quedan determinados por un campo de ondas estacionarias de una cierta función  $\psi$  de la "mágica" ecuación de las ondas de Schrödinger. En los demás átomos, que contienen normalmente más de un electrón, el panorama es harto más complejo, debido a las interferencias mutuas, necesiándose echar mano de espacios multidimensionales matemáticos o *espacios físicos*, para "contener" las ondas de probabilidad de los electrones. En el caso del uranio, por ej. ese multiespacio ideal requiere 276 dimensiones para su determinación.

La complejidad estructural de los núcleos aumenta, por supuesto, con la masa atómica, sospechándose que los nucleones se distribuyen en ellos en capas dotadas de ciertas propiedades de saturación. En verdad, la dinámica y la energética implicada en la estructura intra atómica es un esotérico enredo de nuevas, difíciles y evasivas concepciones que apenas se comienzan a vislumbrar, aunque no a comprender

del todo. Ahí están, por ej. esas misteriosas fuerzas inherentes al principio de exclusión, asociadas a las extrañas fuerzas de intercambio, cuyas rítmicas pulsaciones serían responsables del oscilante cambio en la individualidad de la partícula, en tanto que otro tipo de intercambio puede afectar a una única partícula, que, de este modo, puede presentarse como oscilando rítmicamente entre dos posiciones. Todo esto es extraño en demasía, porque significa, ni más ni menos, que en el mundo sub atómico todo pasa como si dos partículas, A y B, sólo son A y B en ciertos instantes, que se repiten periódicamente, mientras que en los instantes intermedios A y B pueden ser B y A o una confusa e ininteligible penetración de A y B. Es necesario admitirlo así, por imperio de los hechos observados y esta es otra de las brillantes contribuciones de las nuevas mecánicas a la dilucidación de problemas que la física clásica no alcanza.

Muchos y profundos son los secretos que se ocultan en los núcleos atómicos, pero las mecánicas cuánticas y ondulatoria han demostrado ser poderosos instrumentos para abordarlos.

El núcleo es un complejísimo mundo, en el que las partículas sub nucleares están dotadas de una fluctuante individualidad, que depende de su carga eléctrica y de su estado energético, la que trasciende al exterior bajo forma de electrones y positrones, que pueden ser mirados como las repercusiones exteriores de aquellos procesos nucleares.

Para satisfacer el balance de la energía y el de los "spin" inherentes a estas transformaciones fue necesario postular la existencia de una incorpórea y neutral partícula, bautizada con el nombre de *neutrino*; y no se piense que con esto quedaron aclarados los procesos nucleares conocidos, ni mucho menos, y por ello es que no termina la "invención" y posterior hallazgo de partículas como los *mesones*, previstos teóricamente por H. Yukawa en 1935 y observados realmente por primera vez por Anderson y Niddermayer en el siguiente año. Estas partículas no preexisten en la naturaleza estable, sino

que "surgen" de colisiones entre núcleos o fragmentos nucleares cuando la energía sobrepasa el centenar de millón de electrón-voltios; por eso es que no se la observa en la radioactividad natural pero sí en las brutales colisiones entre rayos cósmicos primarios y núcleos de oxígeno y nitrógeno de la alta atmósfera. Hasta ahora han sido reconocidos más de una decena de mesones, con masas centenares y hasta de más de un millar de veces la del electrón, y con cargas eléctricas positivas, negativas o nulas. Su vida es muy fugaz; así por ejemplo en menos de una millonésima de segundo un pi-meson desaparece, engendrando un mu-meson, el que a su vez se desintegra engendrando un positrón y un neutrino.

En el campo nuclear los mesones oscilan entre dos nucleones, confiriéndoles alternadamente la individualidad P-N y N-P.

En 1955 Segre descubre con el bevatrón una nueva partícula pesada: el antiprotón.

Puede que alguien se pregunte si vale la pena tanto derroche de ingenio y tanto despliegue de la más avanzada y costosa técnica experimental para escrutar los más recónditos reductos del átomo. La respuesta es que el Universo entero está construído con estas ultra microscópicas partículas y por consiguiente sólo conociéndolas se puede intentar una interpretación de la naturaleza física del Cosmos. De otro lado ¿cómo no preocupar el conocimiento de las poderosas fuerzas que mantienen la estabilidad de los núcleos si son ellas las que impiden que el universo entero se disgregue en una gigantesca explosión? Ellas implican además la escondida existencia de una tremenda energía, igual a la que les fue conferida a los núcleos en el momento de su formación y que se manifiesta en los balances de las reacciones nucleares bajo la forma de un defecto de masa. De ahí que, conforme con la ecuación einsteniana de la equivalencia, al fisionarse los núcleos debe liberarse energía. Así por ejemplo poniendo en libertad la energía de unión correspondiente a un gramo de helio se obtienen 190.000 kw-h.

El estado actual de las ciencias cosmológicas, a las que tanto aporta la física teórica y experimental y de las que apenas hemos insinuado uno que otro de sus aspectos, señalan bien a las claras el adelanto extraordinario de las mismas, a la vez que el abismo conceptual que nos separa de las generaciones que nos han precedido.

En una remota lejanía vemos nacer a la ciencia surgida a la existencia como prolongación de actividades inherentes a la defensa y a la subsistencia del hombre. Más que como verdadera ciencia se presenta en un principio como confusos y desorganizados tanteos en busca del conocimiento, el que aparece posiblemente como resultado de impulsos emocionales y de la intuición. Durante siglos el esquema para la representación del mundo de las sensaciones fue predominantemente antropomórfico y aún continúa siendo así para vastos sectores que no han tomado contacto con la cultura.

Mucho después que los filósofos de la antigua civilización helénica inician la era de la aplicación del método racional en la investigación viene una segunda etapa en la cual la Física se estructura con normas y con métodos que provienen de la lógica, pero más adelante se aprende a considerar a los hechos debidamente comprobados como puntos de partida y a someter los resultados al control de la experiencia. En la base de las investigaciones se encuentran las nociones de espacio, tiempo y masa absolutos y los principios de legalidad y causalidad. La Mecánica, que se inspira sugestivamente en la Geometría, sirve a su vez de modelo a las demás ciencias físicas. Durante este período se va acentuando la fe en el éxito final de la ciencia, mientras las teorías se orientan en un definido sentido mecanicista y determinista.

Las físicas experimental, teórica y matemática adjudican a la ciencia del siglo pasado una imponente estructura, pero en verdad que el esquema conceptual no había cambiado esencialmente, como lo prueba el empeño que los sabios ponían para comprender —aunque ahora en términos mecanicistas— los procesos de la naturaleza.

Las nuevas teorías ondulatoria, de los cuantos y de la relatividad, aunque no siempre del todo en buen acuerdo, inician y sellan el carácter del presente período. Un prodigioso adelanto se observa, tanto en la ciencia pura como en las realizaciones, pero ahora la Física, como saliendo de su infancia, adopta la única posición compatible con sus posibilidades actuales.

Se reconoce la necesidad de diferenciar entre los mundos de los sentidos, el de la ciencia, el real y el espiritual. Es verdad que el problema epistemológico viene siendo debatido desde antiguo, y tuvo un principio de solución al adoptarse el criterio de la ciencia positiva, formalmente instaurado por Galileo, pero es recién en este siglo nuestro, al comprenderse claramente que “las teorías no se descubren, sino que se inventan”, y al asomar las primeras nubes tormentosas que Heisenberg y sus discípulos aventaron sobre el determinismo, que muchos físicos, aunque no siempre de buen grado, cambiaron de actitud. Siendo así —se ha lamentado alguien alguna vez— las teorías de la física cobran el carácter de una creación artificiosa del espíritu del hombre. Debemos admitirlo así, pero reconociendo al propio tiempo que no se trata de una creación libre y arbitraria, como podría serlo el argumento de una novela. Sus fundamentos experimentales debidamente establecidos y el rigor lógico de los razonamientos cuyas deducciones se someten a posteriori al veredicto del juez de última instancia que es la experiencia, confieren a las teorías que salen airosas de tan rigurosas pruebas los atributos de un esquema conceptual apto para representar el hecho científico a que las mismas se refieren, y cuya verdadera realidad se nos oculta.

La teoría del conocimiento nos enseña que, cuando adoptamos el criterio fenomenológico, en todo acto cognoscitivo el conocimiento se presenta como una ininvertible relación entre el sujeto y el objeto, de la que resulta una aprehensión del objeto por el sujeto, quien, de alguna manera captura las propiedades inherentes a aquel, surgiendo de este modo

en el sujeto una "imagen" del objeto. Mas, ¿hasta qué punto están frente a frente la conciencia y el objeto?

Cuando por ej. —haciendo referencia a la percepción visual— juzgamos las cualidades de un objeto, el físico entiendo que, en alguna parte, existen átomos en estado de excitación, donde el movimiento de los electrones, "cayendo" a capas de diferentes niveles de energía, trasciende a lo exterior bajo la forma de una compleja radiación de naturaleza electromagnética. Al incidir sobre la superficie del cuerpo, tiene lugar un proceso de absorción selectiva, con penetración y difusión de la energía, con el resultado de que dicha radiación queda más o menos modificada según sean su naturaleza, las cualidades del cuerpo y el estado de su superficie.

Esta radiación, de tal manera transformada y después de sufrir eventualmente otras alteraciones en los distintos medios en que se propaga, actúa con acción fisicoquímica sobre los elementos sensibles de la retina, que se traduce en un estímulo luminoso.

Por consiguiente, la conciencia no enfrenta directamente al objeto, sino a un algo —que en el acto de la percepción llamamos luz— cuya estructura ha sido modificada por éste. Como si dijéramos, un mensajero ha palpado a lo ciego el objeto llevándose un calco del mismo, del cual se informa la conciencia cognoscente. Pero un calco cuya finura y fidelidad de detalles dependen de la interacción, más o menos intensa y compleja, entre la radiación y el objeto, es decir, de la naturaleza física de ambos.

En el proceso interviene, por consiguiente, un elemento intermediario y extraño al objeto percibido y aquél —no el objeto— es quien actúa sobre el sistema de la percepción visual. Bastaría cambiar de fuente para que se altere, a veces notablemente, el aspecto de la cosa vista y aún para que se torne invisible.

No creemos del caso considerar otras causas físicas y psicológicas, como los hábitos mentales, las fallas de la intuición y las ilusiones de los sentidos, entre otras, que pueden influir

en sorprendente medida en la falacia de nuestras percepciones. “La intuición no es, como quería Kant —dice Juan Hahn— un medio de conocimiento puro y apriorístico. Engéndrase con la fuerza de la costumbre. Costumbre que, a su vez, tiene por madre a la pereza mental”.

Por otra parte, y en lo que al valor de nuestras percepciones se refiere, basta no más citar que vemos al “derecho”, siendo que la imagen óptica se forma invertida sobre la retina; el Sol y la Luna se observan bajo un mayor diámetro aparente cuando se encuentran próximos al horizonte (no se trata en este caso de un fenómeno de refracción atmosférica); vemos los cuerpos con aspecto compacto —como si la materia llenase plenamente el volumen que ocupa cuando la realidad consiste en un enjambre de infinitesimales, movimientos y difusas manchas sobre el oscuro fondo de un espacio casi totalmente vacío...

Como la verdad del conocimiento radica en la concordancia de la imagen con el objeto y todo el conocimiento que podemos obtener de la naturaleza proviene de las sobredichas excitaciones sensoriales y del resultado de nuestras elaboraciones intelectuales, queda claro que el mundo real no es lo mismo que el de nuestras percepciones, que es sólo una de las tantas imágenes subjetivas del auténtico mundo exterior y que nada cierto podemos saber fuera de lo que sucede en nuestra conciencia.

Y qué hay de la imagen del mundo proporcionada por la ciencia? En esto radica precisamente el vuelco impuesto por los resultados de la física contemporánea. La lección cuántico-ondulatoria-relativista ha vuelto a los físicos mucho más cautelosos.

Las diversas escuelas epistemológicas surgidas en el transcurso del tiempo para aclarar los procesos relacionados con el conocimiento no han podido superar todas las dificultades y contradicciones a que se han visto enfrentadas. Desde la antigua filosofía dogmática hasta el reciente pragmatismo, filósofos y pensadores de todos los tiempos se han debatido con

derroche de ingenio en defensa de las escuelas de su preferencia, sin haberse logrado aún soluciones concordantes y definitivas acerca de cuestiones tan trascendentales como las que tocan a los orígenes, esencia, posibilidad y verdad del conocimiento humano.

Los resultados de la Física de nuestros días han conducido a no pocos sabios eminentes a adoptar una posición filosófica que comparte un positivismo al estilo comtiano, en cuanto considera a los hechos accesibles a la experimentación directa y a los resultados de las mediciones como los únicos elementos susceptibles de planteos físico-matemáticos, eludiendo cualquier especulación metafísica, pero sin imponer limitaciones al poder indagador de la razón, excepción hecha de las que conciernen a las interpretaciones filosófico-metafísicas.

Así es como no pocos sabios, aún sintiendo nostalgia metafísica, no intentan explicar la esencia última de las cosas, resignados a prescindir de todo aquello que no se pueda observar o medir. Los modelos y representaciones que imaginan sólo tienen para ellos el significado de meros recursos para orientar el pensamiento, facilitando la consecución de la finalidad primordial, que es la de establecer las leyes de los procesos de la naturaleza y poder prever.

Esta posición ha sido claramente expuesta por diferentes hombres de ciencia. Así hacia fines del siglo pasado el sagaz historiador y crítico de la Mecánica, Ernest Mach nos dice... "la finalidad de la ciencia consiste en clasificar sistemáticamente las percepciones y utilizarlas para prever las percepciones del devenir", y Albert Einstein:... "el hecho de que en la ciencia tengamos que conformarnos con una imagen incompleta del universo físico, no se debe a la naturaleza del universo, sino más bien a nosotros mismos".

Con esta actitud, que en nada menoscaba las asombrosas potencias del genio creador del hombre, la Física se ha aligerado de una pesada carga, tornándose más autónoma.

A medida que la inteligencia ahonda en dominios más

y más profundos del conocimiento, vemos abandonar conceptos e imágenes surgidas de las percepciones sensibles y de la intuición —comprensibles para todo hombre culto— al tiempo que invaden el campo descriptivo y conceptual nuevas y complejas abstracciones: . . . rotores, tensores, cuadrivectores, ondas de probabilidad, función de Hamilton, tensor de curvatura, operador de evolución. . . cuya representación físico-matemática sólo son accesibles al hombre de ciencia especializado.

Para sus propósitos la Física se vale de conceptos y símbolos aptos para representar las características más salientes que se advierten en los hechos observados, de suerte que la descripción de los mismos se encuentra esquematizada, esto es, trastocada en una imagen ficticia, donde los elementos reales se han desvanecido, quedando en su lugar magnitudes, parámetros, coeficientes operadores. . . adecuadamente vinculados y cuyas variaciones responden a los cambios de los elementos reales que ellos simbolizan.

Los resultados de estas especulaciones alcanzan en nuestros días un alto grado de abstracción y se traducen en sistematizaciones matemáticas que se aceptan como la única expresión de la realidad y cuyas heurísticas sugerencias descubren, no pocas veces, nuevos e insospechados horizontes a la ciencia.

Esta nos permite, así, vislumbrar la armonía del universo, que, al decir de Poincaré, es la única realidad objetiva y la única realidad que podemos esperar alcanzar.

Una realidad descarnada y abstracta, sin duda, pero que lleva en sí misma la virtud de su inmanente validez.

No deja de ser sugestivo que, en esta misma época, se contemple una análoga renovación en el mundo del arte y de la poesía, donde se logran expresiones de la realidad con recursos de elementos surreales, aun cuando no se alcancen allí los extremos a que se ha llegado en la cosmovisión intelectual por la ciencia.

Las conclusiones no son del todo gratas al espíritu, siem-

pre sediento de imágenes que calmen su anhelante ansiedad de comprender; más la sentencia parece ser irrevocable: al través de los tiempos se ensancharán sin medida los conocimientos y las realizaciones serán estupendas, pero quizás nos estará vedado conocer el substractum del mundo real y las primordiales esencias de los seres que lo integran. La Física contemporánea, cada día más abstracta, está como impregnada de esta profecía, que la muestra a la manera de una imponente estructura que se apoya sobre inconsistentes y brumosos cimientos.

Y no se diga que tan inescrutable destino mueve el ánimo a un escepticismo desalentador, porque limita, pero no traba, el sutil vuelo de la inteligencia hacia las superiores regiones de las sublimes verdades.

MARIO SCHIVAZAPPA