



## Estado actual de la Física y Química desde el punto de vista científico

Por José Luis NARCISO CAMPILLO (\*)

El panorama actual de la FÍSICA hay que contemplarlo teniendo en cuenta que los campos convencionales de la misma: Mecánica, Termodinámica, Óptica y Electricidad se encuentran fuera de uso (independientemente de que se mantengan desde el punto de vista didáctico-formativo en la enseñanza).

La aparición de nuevas teorías y el solapamiento entre los distintos campos de la Física es una prueba de que no se puede mantener la clasificación tradicional.

La *matematización* de la Química por la Mecánica Ondulatoria—Química Cuántica— ha permitido el dar una clasificación de las Ciencias mediante un organigrama tetraédrico (Fig. 1), cuyos vértices constituyen las Ciencias Biológicas, *Ciencias Físicas*, Ciencias Lógico-Matemáticas y Ciencias Físico-Sociales. A lo largo de cada arista se sitúan las ciencias «frontera» que surgen de las interacciones entre las disciplinas que forman los dos vértices que unen la arista (Fig. 2).

La FÍSICA CONTEMPORANEA ha alcanzado un nivel de especialización muy alto en algunas de sus ramas.

Los temas que acaparan la actualidad, entre otros, en este momento son: LASERS - FÍSICA NUCLEAR Y PARTICULAS FUNDAMENTALES - FÍSICA DEL ESTADO SÓLIDO - FUENTES DE ENERGÍA DEL FUTURO - TRANSPORTE DE ENERGÍA - TERMODINAMICA DE LOS PROCESOS IRREVERSIBLES - FÍSICA DEL PLASMA.

### LASER

*Es un dispositivo capaz de generar un haz de luz coherente en el tiempo y en el espacio.*

Constituye una importante aplicación derivada de la interpretación mecánico-ondulatoria de los espectros atómicos, aunque hemos de reconocer que la teoría estaba contenida en los trabajos publicados por Einstein en 1905.

Establecida en 1951 la posibilidad de acción *maser* para las frecuencias correspondientes a microondas, se intentó alcanzar el nivel de la luz.

Los primeros trabajos datan de 1958, y se deben a Townes, catedrático de la Universidad de

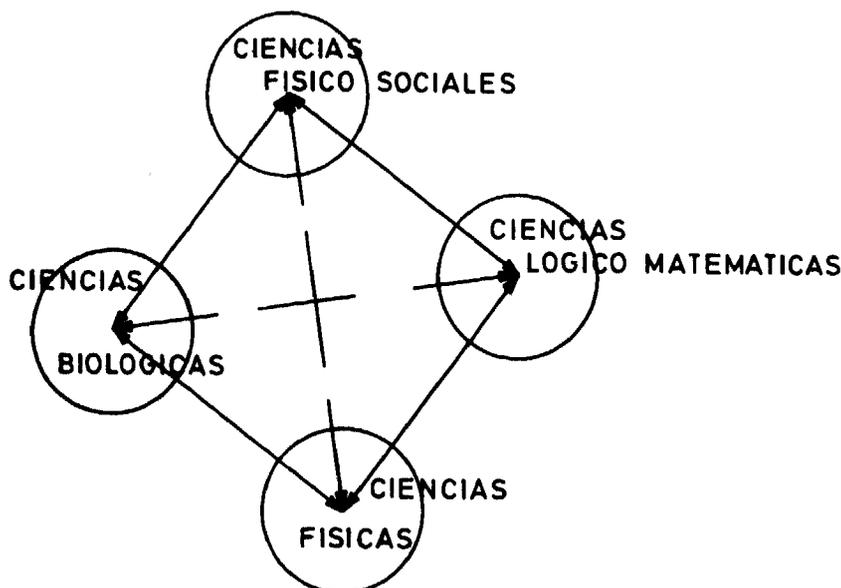


Fig. 1.—Este organigrama puede detallarse para cada una de las caras; la que nos interesa a nosotros corresponde a la Fig. 2.

(\*) Doctor en Ciencias Químicas. Inspector Numerario de Enseñanza Media.

Columbia y creador del maser, siendo Schawlow quien en 1959 sugirió la construcción de un maser de luz, o sea, una laser, empleando material activo sólido y proponiendo el rubí.

*Queda claramente sentado que por laser designamos a aquellos osciladores atómicos o moleculares que operan en la zona del espectro infrarrojo, visible o ultravioleta, mientras que la palabra maser se reserva para aquellos otros que operan en la región de las microondas y de las ondas milimétricas.*

Desde que en 1960 se construyó el primer laser en los laboratorios de la Hughes Aircraft Company en Malibu (California), su importancia ha ido en aumento y

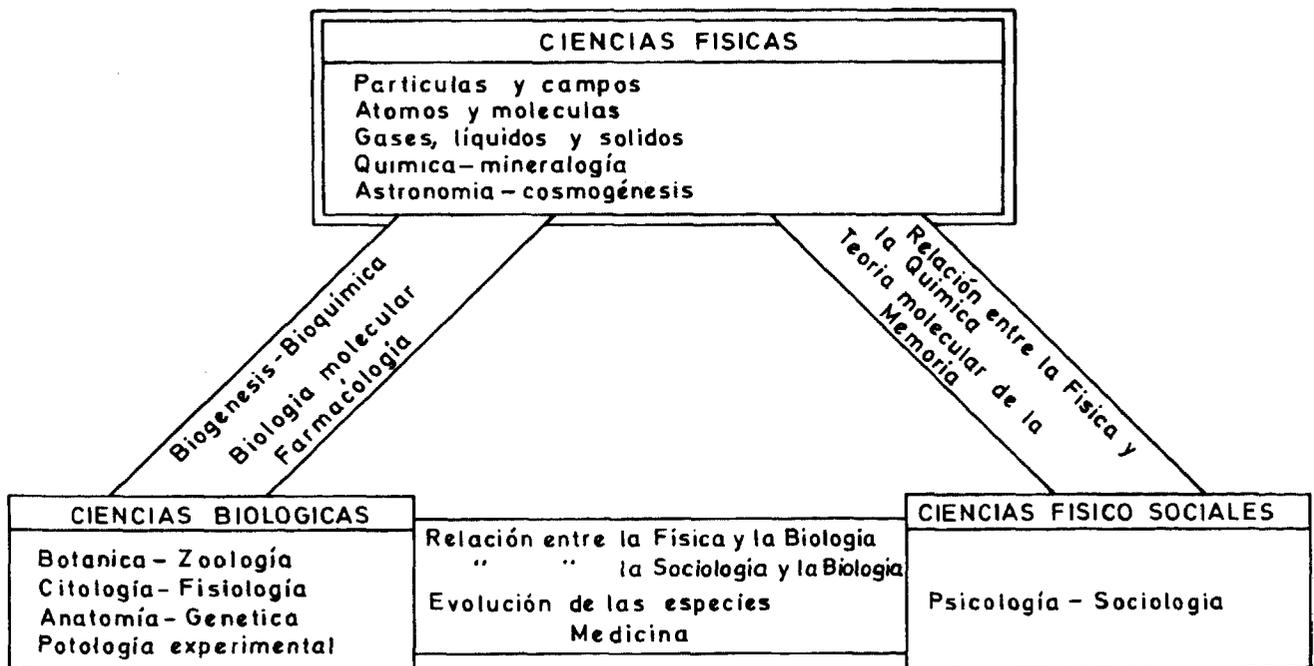
las comunicaciones hemos de hacer notar que el laser presenta la ventaja de que su frecuencia es  $\sim 10^6$  veces mayor que la de una onda portadora de T.V., y por tanto, puede transmitir mucha más información. Bastaría un haz de laser para portar todos los canales de información existentes entre las costas E. y O. de los E.U.A. El inconveniente que presenta el haz laser para este fin está en la imposibilidad de transmitirlo sobre grandes distancias en la atmósfera a causa de la absorción provocada por la niebla y la lluvia. Para obviar esta dificultad se han realizado experiencias consistentes en la transmisión de haces de laser por el interior de conductos plateados. La dificultad

*ginal en una reconstrucción tridimensional.*

d) En espectroscopia; e) medida de longitudes (con precisión de  $10^{-10}$  en Tierra-Luna); f) velocimetría (permite apreciar velocidades  $\sim 0,1$  mm/s; g) girometría.

Una aplicación muy interesante del laser es su introducción en el campo de la enseñanza para el estudio de la difracción, interferencias, etc.

Especial mención merecen los lasers paramétricos —relacionados con la óptica no lineal— y los lasers químicos (laser obtenido a partir de una reacción química) que están contribuyendo a un mejor conocimiento de la dinámica de las Reacciones Químicas.



constituye uno de los campos de investigación actuales.

*Aplicaciones.* Como consecuencia de su coherencia en el tiempo y en el espacio, *su dispersión angular es muy pequeña y cabe la posibilidad de concentrar cantidades de energía muy elevadas.*

*Entre las aplicaciones energéticas destacan:* a) transmisión de energía a distancia; b) fusión y soldadura; c) fabricación y troquelado; d) vaporización; e) cirugía y microcirugía; f) física de los plasmas; g) fotoquímica.

Dentro de las aplicaciones al transporte de la información destacan:

- a) Alineación (en la que se basa el empleo de los misiles tierra-tierra.
- b) Telecomunicación.

Con respecto a su aplicación en

estriba —y en esto se trabaja intensamente— en el logro de algún mecanismo para modular y demodular el haz de laser.

c) Holografía que es en esencia un método de obtener un registro fotográfico de un objeto tridimensional, de forma que al iluminar y contemplar convenientemente la fotografía —llamada holograma. el objeto original se observa en tres dimensiones.

*Desde el punto de vista físico, el holograma consiste en franjas de interferencia, y visto a la luz ordinaria no guarda parecido alguno con el objeto original. Pero si lo iluminamos desde atrás con luz laser —de la misma longitud de onda que se utilizó en la exposición— veremos la escena ori-*

## FISICA NUCLEAR Y PARTICULAS FUNDAMENTALES

### 1. Estructura del núcleo atómico

Recordemos que las propiedades básicas de un núcleo atómico son: carga, masa, tamaño, spin nuclear y momento magnético, y que, hoy por hoy, resulta imposible el dar una teoría exacta de una estructura tan complicada como es el núcleo.

La idea del modelo nuclear de capas viene sugerida de inmediato por la existencia de números mágicos, es decir, de ciertos núcleos que son especialmente estables y que cabría describirlos como inertes. Este modelo, según el cual los

núcleos deben poseer una *estructura en capas energéticas* es capaz de describir, entre otras cosas, las *paridades de las capas nucleares*.

Uno de sus aciertos es el describir el comportamiento general de los momentos magnéticos nucleares en núcleos de número másico-impar, aunque al llegar a los momentos cuadrupolares eléctricos del núcleo aparecen grandes discrepancias.

En 1956 Bohr y Mottelson describieron el *modelo unificado*, según el cual los nucleones se mueven casi independientemente unos de otros, pero se mueven en un campo de energía potencial que está en continuo cambio, aunque lento. Este lento movimiento colectivo de todo el núcleo causa los estados energéticos de rotación y vibración.

Entre ambos modelos se explica un gran número de propiedades nucleares, pero ¿se aproximan o no a una verdadera descripción del núcleo?

Ultimamente ha habido un gran avance en el tratamiento matemático de ese formidable problema que representa la naturaleza intrínseca del núcleo: la de estar compuesto por muchos cuerpos. En relación con el tamaño nuclear y la energía de ligadura se han obtenido ya algunos resultados, y parece que en el transcurso de los próximos años esos cálculos experimentarán un gran avance, dándonos no poca información acerca del estado efectivo del núcleo atómico.

## 2. Física nuclear de altas energías

a) *Técnicas experimentales*. La materialización de la energía permite crear nuevas partículas elementales. La ecuación de Einstein  $E=mc^2$  funciona desfavorablemente en esta faceta, ya que para producir cantidades modestísimas de nueva materia hace falta un suministro ingente de energía.

El proceso para crear materia consiste en tomar una partícula nuclear, comunicarle una gran energía cinética ( $E_c$ ) mediante un acelerador y hacer que choque con una segunda partícula nuclear. En el momento del impacto, parte de la  $E_c$  puede convertirse en masa, de suerte que de la colisión podrán emerger tres, cuatro o más partículas.

El estudio de las radiaciones cósmicas, por una parte, y la puesta a punto de poderosos aceleradores han llevado a los físicos al des-

cubrimiento de un gran número de nuevas partículas elementales.

a-1) Los actuales *sincrotrones* son capaces de producir protones de casi 500 GeV (1 GeV equivale a  $1,602 \times 10^{-10}$  J).

Al incidir un protón sobre un núcleo estacionario, la partícula incidente posee, además de  $E_c$ , un determinado momento que, por la ley de conservación del mismo ha de transferirse al conjunto total de partículas. Ahora bien, si las partículas que salen de la colisión poseen momento han de poseer también cierta energía cinética. De ahí que no quepa invertir toda la  $E_c$  del protón incidente en la producción de nuevas partículas; y aquí la naturaleza nos asesta un duro golpe, pues sucede que cuanto mayor es la energía del protón, tanto menor es el porcentaje de energía realmente utilizable.

Para soslayar esta dificultad se toman dos haces de protones de momentos iguales y se les hace chocar de frente. El momento total del sistema es nulo, y toda la energía de los protones será energía *centro de masas* (energía realmente disponible para la producción de nuevas partículas).

a-2) *Neutrinos de alta energía*. Los neutrinos de *baja energía* que provienen del sol bombardean

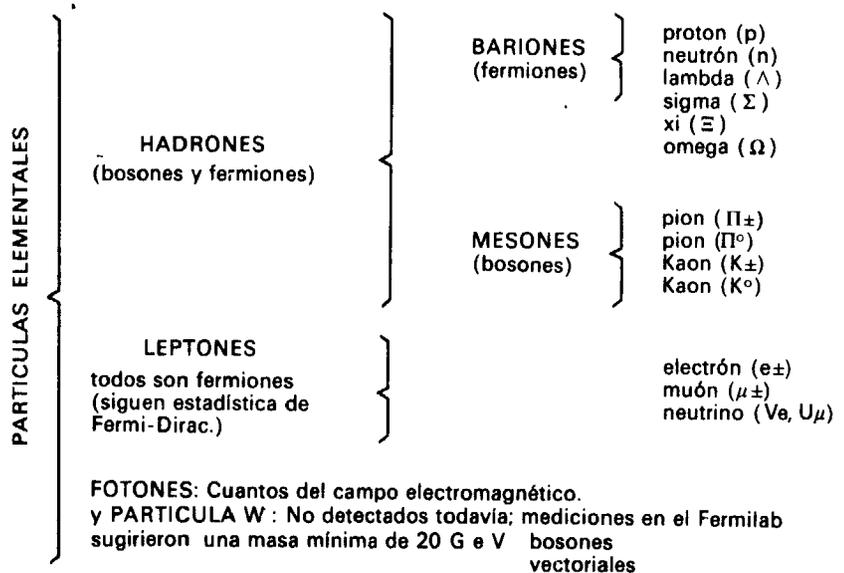
que los neutrinos de baja energía, aunque la sección eficaz de interacción continua siendo  $\sim 10^{-38}$  cm<sup>2</sup>. Con todo, las rarísimas interacciones de estas partículas se dan de hecho y pueden observarse y estudiarse con detalle en el laboratorio.

Las experiencias relativas a estas interacciones han abierto un nuevo y amplísimo campo de la Física que aparece como de lo más fascinante y desafiante de la *Ciencia moderna*.

Todos los haces de neutrinos de alta energía se producen a base de dirigir el mayor número posible de partículas energéticas hacia el aparato de detección. Estos haces vienen generados indirectamente a partir de protones acelerados en el sincrotrón de protones. Actualmente hay en funcionamiento 5 aceleradores de partículas capaces de explorar la región másica de las partículas. Y (hadrones), entre ellos, el de FERMILAB (U.S.A.) y el de SERPUKHOV (U.R.S.S.), y en construcción otros cinco, que entrarán en funcionamiento en la próxima década.

### b) Partículas fundamentales

Las partículas elementales conocidas se clasifican en las categorías básicas siguientes, según la magnitud de su masa y de acuerdo



la superficie terrestre a un ritmo de  $10^{14}$  neutrinos por m<sup>2</sup> y por segundo. Si interaccionasen con nuestro entorno con la misma facilidad que los fotones, convertirían la tierra en inhabitable.

Los neutrinos de *alta energía* de varios cientos de GeV interaccionan con los protones y neutrones un millón de veces más fácilmente

con un sistema muy elaborado de números cuánticos asignados sobre la base de mediciones experimentales.

Con el funcionamiento de nuevas máquinas y técnicas de detección adecuada ha comenzado una búsqueda febril de nuevas familias de partículas elementales, fruto de la cual fue el descubrimiento en

1974 simultáneamente en Brookhaven y en Stanford de las partículas llamadas J o psi. Otra partícula, por lo menos, con propiedades no registradas se ha detectado en el Fermilab. Esta última partícula tiene una masa y una vida media que la coloca en una región del espectro de partículas elementales prácticamente inexplorada. No es una partícula más a añadir a las muchas familias ya conocidas. Su importancia estriba en que demuestra la aparición de una familia totalmente nueva. La nueva familia implica, a su vez, que hay alguna propiedad de la materia no observada hasta ahora, que distingue las partículas pertenecientes a esa nueva familia de las otras conocidas. La naturaleza de la nueva propiedad sigue siendo oscura y hay más confusión que certeza en la interpretación de los experimentos en el Fermilab. Por todo ello, la física de partículas atraviesa por uno de los momentos más apasionantes de su historia reciente.

El afán descubridor de nuevos estados mesónicos y otras partículas vendrá facilitado por aceleradores nuevos y otras máquinas. En el Fermilab se está modificando el principal sincrotrón de protones con la incorporación de imanes superconductores que doblarán su energía. Con nuevas máquinas de esta índole se podrán explorar regiones de masa mayor, y, con métodos indirectos para la detección de partículas, se podrán determinar las relaciones y las propiedades de las nuevas familias. A pesar de la asombrosa proliferación de partículas y de números cuánticos hay esperanzas de que el modelo de la naturaleza resultante de esta investigación sea sencillo y atractivo.

## LOS QUARKS

A lo largo de los últimos 10 años se ha ido comprobando que muchas partículas que durante largo tiempo se pensó que eran elementales, y entre las que se encontraban el protón y el neutrón, no lo son en absoluto. Por el contrario, se manifiestan como estructuras compuestas formadas por otras entidades más fundamentales llamadas quarks, de forma análoga a como un átomo se compone de núcleo y electrones.

Si los quarks son partículas reales, parece razonable que los podamos detectar; sin embargo, y aunque los físicos han realizado toda clase de experiencias para hallar-

los, hasta la fecha no han encontrado quarks libres, bien porque no se haya buscado en el lugar correcto —lo que parece improbable— o porque no existan, cosa que de momento no admiten los físicos por tener una enorme fuerza teórica.

Para explicar que los quarks existen, y que, por alguna razón nunca aparecen aislados, los físicos, han dado una explicación acerca del confinamiento de los mismos en el interior de las partículas que ellos integran (dentro del nucleón).

Las propiedades de los quarks vienen explicadas asignándoles números cuánticos que pueden tomar únicamente ciertos valores discretos. Aunque en el modelo quark original habían 3 clases de quarks, *u* (de up=arriba), *d* (down=abajo), *s* (strange=extrañeza), hay pruebas de una cuarta especie de quarks, denotados por *c* (charm=encanto). Por cada quark existe un antiquark, con números cuánticos opuestos.

Un número cuántico adicional de los quarks es el llamado color, que puede tomar tres valores. En contraste con el color, las denominaciones originales de los quarks *u*, *d*, *s* y *c* se designan, a veces, por sabores (tanto el color como el sabor son expresiones convencionales; no tienen nada que ver con el significado normal). Un quark de un cierto sabor se supone que puede existir en los tres estados de color.

Los quarks se combinan para formar una clase de partículas observadas, llamadas hadrones. Son posibles dos clases distintas de combinaciones de quarks. En una de ellas se ligan 3 quarks para formar un barión (como el protón) o 3 antiquarks para formar un antibarión (como el antineutrón). En la otra se ligan un quark y un antiquark para formar un mesón (como el pión).

El gran éxito de la teoría quark es que todas las combinaciones permitidas dan origen a hadrones conocidos y ninguna otra combinación lo hace. El problema del confinamiento de los quarks es por qué existen únicamente estas combinaciones y por qué no se han observado quarks aislados.

## FISICA DEL ESTADO SOLIDO

Estudia todos los aspectos de la materia en su forma sólida: la estructura cristalina de la ma-

teria y la explicación de las propiedades físicas de los materiales; las propiedades eléctricas de los conductores, los superconductores y los semiconductores; las propiedades magnéticas de las sustancias paramagnéticas, diamagnéticas y ferromagnéticas.

a) Superconductividad. En un principio se creyó que la resistencia nula, a  $t \sim \leq 20$  K, diamagnetismo perfecto y la existencia de una corriente y un campo magnético críticos, eran características de todos los superconductores, hasta que Abriksov señaló la existencia de una clase diferente de conductores, los superconductores con impurezas. Las imperfecciones y defectos posibilitan la conducción de corrientes elevadas, por lo que estos superconductores imperfectos se utilizan en la fabricación de arrollamientos de solenoides capaces de producir campos magnéticos muy intensos. Existen actualmente gran número de físicos dedicados a tratar de descubrir el comportamiento de estos nuevos superconductores con el fin de llegar a saber cómo producir mejores aleaciones y materiales, cuyas propiedades podamos predecir.

El estudio de la superfluidez del  $^4\text{He}$  se reconoce desde hace varios decenios, pero su isótopo ligero  $^3\text{He}$  no había dado indicaciones de comportamiento extraño hasta que en 1972 se descubrieron tres nuevas fases en este isótopo a temperaturas sumamente bajas. Tales fases combinan muchas de las interesantes peculiaridades del  $^4\text{He}$  superfluido, de los superconductores y de los cristales líquidos.

Son de hacer notar las diferencias principales entre el  $^3\text{He}$  superfluido y los superconductores metálicos. En primer lugar, los electrones de los superconductores tienen carga mientras los átomos de helio son neutros; de aquí que la superconductividad en el primer caso corresponda a la superfluidez en el segundo. En segundo lugar los electrones de los metales se mueven contra el fondo de la red iónica; en el helio líquido no hay fondo.

Actualmente se investigan las posibles aplicaciones a que pueden aplicarse las nuevas fases.

b) En busca de nuevas aleaciones. El estudio de las imperfecciones cristalinas está en fase primitiva. El concepto de dislocación explica la fragilidad de los cristales reales y constituye la clave del mecanismo del crecimiento cristalino. La observación directa de las dislocaciones por medio de la

microscopía electrónica ha demostrado la enorme complejidad de aquellos fenómenos.

Afortunadamente existe un enorme interés financiero que respalda tales estudios, *de modo que el próximo decenio puede ser muy bien la época de la «ciencia de materiales», durante la cual el diseño de mezclas fibrosas, de aleaciones y cerámicas puede transformar las ingenierías mecánica y metalúrgica.*

c) *Semiconductores.* En la actualidad, los «malos conductores» reciben el nombre de *semiconductores*, cuyas propiedades han sido estudiadas cuidadosamente, siendo uno de los grandes éxitos de la mecánica ondulatoria el haberlos explicado y previsto. Entre ellos destacamos el *Si*, *Ge* y varios óxidos y sulfuros.

Cuando se pone en contacto un semiconductor, como el óxido de cobre, con un metal, como el *Cu*, se acumulan cargas en la superficie de contacto que perturban el paso de la electricidad. Estas *capas barrera* disminuyen cuando se aplica una tensión en un sentido, pero aumentan cuando la tensión tiene sentido contrario. Por tanto, dicho dispositivo puede usarse como *rectificador* para producir una corriente de un solo sentido a partir de una corriente alterna.

Hasta la fecha, la aplicación más importante de los semiconductores es el *transistor* que en sus diversas formas puede *rectificar* (cambiar la corriente alterna en continua), *amplificar* (producir en un circuito grandes variaciones de intensidad de corriente en respuesta a variaciones pequeñas en un circuito diferente), *puede gobernar* un circuito en respuesta a otro y puede *producir oscilaciones*. Aunque todas esas funciones fueron logradas anteriormente con válvulas de vacío, hemos de *destacar a favor de los transistores*: su *fiabilidad, mayor rendimiento, funcionamiento inmediato, dimensión reducida y mejor resistencia al choque*. Estas propiedades abrieron camino a la *microminiaturización*; en efecto, el desarrollo de las calculadoras electrónicas y, sobre todo las investigaciones espaciales —en donde hay imperativos de peso dentro de la enorme complejidad de sus circuitos—, orientaron la investigación aplicada hacia la reducción de tamaño de los componentes electrónicos, dando lugar a la aparición de los *circuitos integrados*. *El concepto de circuito integrado responde a la idea de utilizar el material semiconductor*

*no sólo para los diodos y transistores, sino para formar los otros elementos necesarios en los circuitos electrónicos*, resistencias, condensadores y también autoinducciones. Esto plantea nuevos problemas técnicos de fabricación y el estudio de puntos de vista nuevos en la teoría de circuitos. Actualmente, *en lugar de buscar un ahorro de componentes activos*, como era usual hace algunos años, porque representaban la mayor repercusión en el coste final, *se simulan elementos pasivos mediante transistores*, con lo que se consigue una gran reducción de tamaño: «Se puede comprimir un computador del tamaño de un camello para que, valga la expresión, pueda pasar por el ojo de una aguja».

Estamos, en definitiva, en la era de la física del estado sólido y no sabemos cuando acabará. Como «caballos de batalla» hemos de destacar en este momento:

1. La búsqueda de un material que siga siendo superconductor a la temperatura ambiente.

2. La teoría del *ferromagnetismo* en metales no ha avanzado en los últimos años, todavía se está buscando un procedimiento para descubrir los electrones *d* en hierro, tanto libres como localizados.

3. Las propiedades termodinámicas de las *fases de las aleaciones exceden del alcance de las teorías actuales*.

4. Hay propiedades «simples» de los cristales casi perfectos que no han sido calculadas nunca a partir de sus principios básicos: punto de fusión del *Hg*, conductividad térmica del *NaCl*, etc. «Hay recetas para el cálculo de muchas de estas propiedades, pero falta el cocinero que sepa manejar todos los ingredientes».

## FUENTES DE ENERGIA DEL FUTURO

Como consecuencia de la subida del precio del petróleo se han intensificado las investigaciones tendientes a buscar una solución para mitigar la crisis económica que nos afecta. Es preciso el buscar nuevas fuentes de energía. En España, por Real Decreto del 3 de marzo de 1977, se crea la Comisaría de la Energía y Recursos Naturales con toda la problemática del plan energético a nivel nacional.

Dentro de las fuentes de energía en proceso de investigación destacamos la energía nuclear y la energía solar. Se estima que para el año 2000 los E.U.A. tendrán

450 plantas nucleares (actualmente tienen 55) y entre 200 y 400 plantas que convertirán la energía solar en electricidad.

La E.R.D.A. (Energy Research and Development Administration) prevé que dentro de 25 años los Estados Unidos estarán virtualmente en vías de una total electrificación del país, con 10 a 15 millones de hogares calentados por energía solar y 15 millones de automóviles eléctricos.

En la inauguración del I Congreso de Ingenieros Industriales, celebrado en Valencia, el 2 de marzo de 1977, se habló sobre el futuro de la energía: «*La energía nuclear en sus diversas formas y la solar, constituyen las cauces prácticamente inagotables y al lado de ellos los ciclos y fenómenos naturales en que intervienen nos ofrecen una gama muy variada de opciones para concebir y explotar nuevas tecnologías.*»

1. *Energía nuclear.* Dentro de este campo se investiga en dos sectores: a) en mejorar el rendimiento de los reactores nucleares que se utilizan actualmente para generar electricidad (Centros nucleares) o para la propulsión de naves utilizando, en ambos casos, la energía obtenida en el proceso de fisión nuclear controlada.

b) Se investiga acerca de la *fusión termonuclear controlada*.

Las investigaciones sobre los plasmas (gas magnetizado llevado a alta temperatura) se han intensificado dado que el plasma constituye el elemento idóneo para realizar la fusión controlada de los núcleos atómicos. Tales investigaciones han permitido ya el realizar las comprobaciones: 1) *la fusión nuclear no producirá residuo radiactivo* (al contrario de lo que ocurre con la fisión nuclear), y 2) *las reservas de materia prima, hidrógeno, son casi ilimitadas.*

Dedicado a estos estudios se han constituido en Europa el J.E.T. (Joint European Torus), establecimiento experimental común de los países de la Comunidad Europea con la participación de España y que está destinado a promover las investigaciones sobre la fusión termonuclear controlada, que podría dar resultados dentro de 20 años. *Al cabo de este tiempo Europa espera producir energía a partir del agua.*

2. *Energía solar.* Una evaluación de las reservas energéticas nos indica que la energía solar —si disponemos de medios de aprovechamiento— es de 800-10<sup>18</sup> kcal al año.

Esta energía es un tema de investigación dentro de la ingeniería: científicamente todo es muy conocido.

Actualmente, las principales líneas de investigación sobre la energía solar son las siguientes:

## A Radiación solar

A-1. Coeficientes de transmisión atmosféricos. Estudios de absorción y difusión por los componentes de la atmósfera.

A-2. Determinación de la radiación a nivel de suelo. Técnicas para la medida de radiación solar total, directa y difusa. Radiación de onda larga (terrestre nocturna). Balance de radiación.

A-3. Radiación incidente en planos de diversa inclinación. Ángulos óptimos (aplicación en arquitectura y en el empleo de captadores solares).

## B Aprovechamiento energético

B-1. Conversión fotovoltaica - Estudio de materiales. Muy poca eficiencia en la actualidad (rentable en técnicas espaciales).

B-2. Altas temperaturas - concentradores parabólicos de grandes dimensiones (hornos solares).

B-3. Bajas temperaturas (hasta 100° C). Captadores planos (paneles). Uso rentable en:

B-3-1. Calentamiento de aire y de agua (climatización de edificios, piscinas, invernaderos, etc.).

B-3-2. Destilación de agua (bajo rendimiento).

B-4. Almacenamiento de energía - Uno de los problemas más interesantes, aún sin resolver totalmente.

3. Se encuentra también en estudio todo lo referente a estudio sobre la energía de las mareas, las olas o los gradientes de temperatura oceánicos.

4. Igualmente acerca de las energías geotérmica y eólica. La energía geotérmica (cuyos progresos requieren el desarrollo de la tecnología de los ciclos térmicos a baja temperatura) podría representar el 1-2 por 100 del consumo total energético futuro.

## Fuentes de energía en astronáutica

1. *Propulsión nuclear*; una nave interplanetaria equipada con motores-cohete nucleares será hasta

10 veces menos pesada que la propulsada químicamente.

2. *Motor electromagnético o de plasma*.

3. *Motor iónico*, utilizado por vez primera el 4-II-1970 en el satélite artificial Sert II.

4. *Propulsión fotónica*. El estudio se lleva a cabo pensando en la posibilidad de utilizar como combustible, a partes iguales, partículas y antipartículas, dando que partícula + antipartícula → energía + fotones.

El problema estriba fundamentalmente en la aniquilación controlada de la materia y antimateria.

*Acumuladores de energía del futuro*. Existen numerosos sistemas electroquímicos que aún deben ser explorados. Dada la gran importancia que para el mundo actual tiene el problema energético, el estudio y desarrollo de tales sistemas debería ser estimulado convenientemente por nuestro gobierno, coparticipando en la investigación las industrias eléctricas y la industria privada.

Los esfuerzos realizados en este sentido por los países tecnológicos más avanzados se dirigen hacia las baterías económicamente competitivas basadas en los sistemas Na-S; Zn-cl y Li-FeS<sub>2</sub>.

La *batería de sodio-azufre* se considera una de las más prometedoras del futuro con un rendimiento en fase experimental de 250 Wh/kg. (frente a 17 la batería plomo-ácido). Trabaja a temperaturas entre 300-400° C.; está exenta de mantenimiento y puede almacenarse indefinidamente hasta su empleo.

Se espera estén a punto para dentro de 10 años (Fig. 3).

La *batería de cinc-cloro* está siendo estudiada por las compañías Gould y Energy Development Associates (del grupo de Hookel-Chemical). Trabaja con electrolito acuoso y a presión y temperatura ambiente. Su peso, en fase experimental es de 317 kg. y una potencia media de 12,5 kw. Actualmente se estudian intensamente diversos tipos de membranas selectivas que eviten la reacción directa entre el cloro y el cinc.

La *batería litio-azufre* se espera esté a punto en 1985, trabaja a 400° y su energía específica es de 150 Wh/kg.

## Transmisión de energía por corriente continua de alta tensión

Existe un gran interés por el progreso futuro de la técnica de la transmisión de energía por medio de la corriente eléctrica continua.

Cuando se maneja cualquier libro de texto se habla de las ventajas de la corriente alterna para el transporte de energía. Actualmente ya se considera económica la c.c. para la transmisión de energía. Esto se debe a las dificultades crecientes de usar c.a. en grandes sistemas de redes interconectadas y a la gran evolución experimentada por los equipos rectificadores e inversores de alta tensión, basados en la válvula de arco de mercurio controlada por rejilla.

«Desde el punto de vista de funcionamiento, el enlace por c.c. se

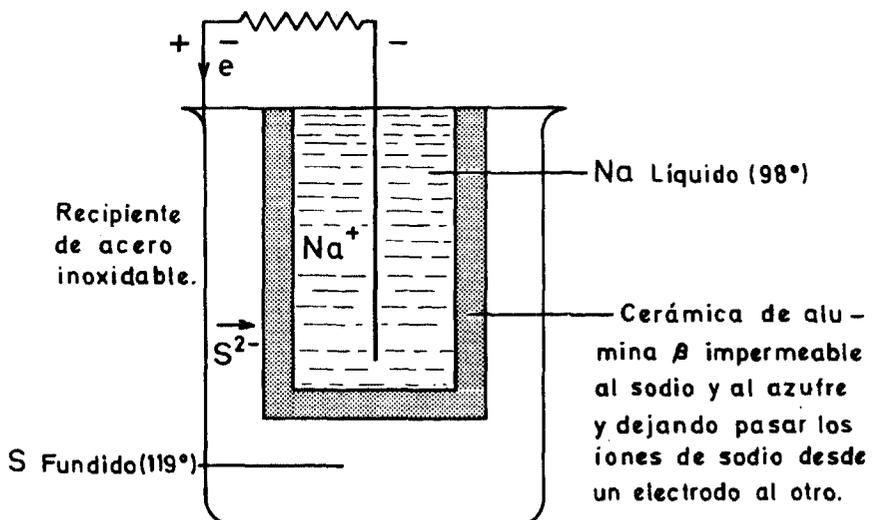


Fig. 3.—Célula sodio-azufre: los reactantes son líquidos y el electrolito (alúmina) sólido.

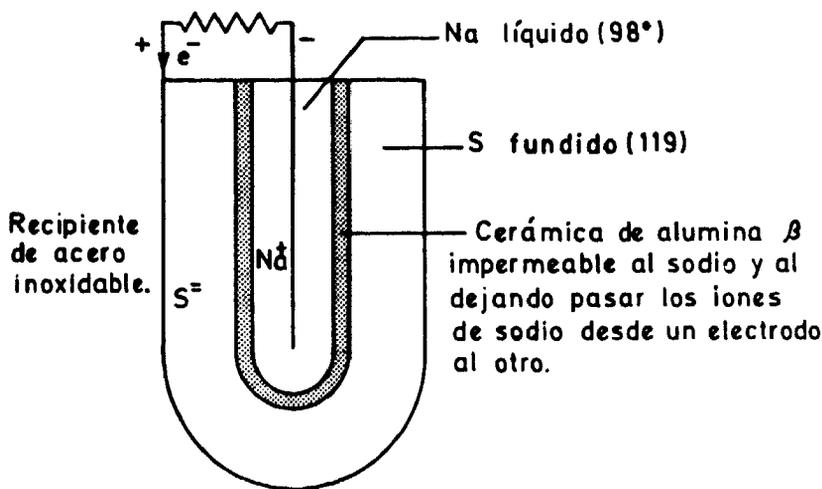


Fig. 4.—Célula Na-S: reactantes líquidos y electrolito sólido (alúmina).

ha mostrado superior a un enlace por c.a., puesto que el primero permitiría efectuar intercambios estables de energía entre los sistemas de transmisión de dos países, independientemente de diferencias en la frecuencia», y por otro lado, con dos cables en lugar de los cuatro propuestos para c.a., el esquema en c.c. se mostró como más seguro. Las pérdidas a plena carga idénticas.

Como ejemplo de realización destaca el enlace *Volgograd-Donbass* que transmite una potencia de 750 MW a una tensión de 400 kw y 600 km de tendido *aéreo*.

Actualmente hay varios proyectos en estudio para transporte a 700 kV. y uno por parte de la U.R.S.S. desde Siberia a los Urales a 1.400 kV.

En la península de Kola, no lejos de Murmansk, existe una central *maremotriz* que permite el transporte por c.c. a zonas populosas alejadas 1.600 km.

**Termodinámica de los procesos irreversibles.** La termodinámica clásica se desarrolla en dos fases: *Termodinámica física* (asociada a los nombres de Mayer-Joule Carnot-Thomson) y la *Termodinámica química* que permite que varíe la materia químicamente (iniciada por Gibbs). A través de la Termodinámica clásica se establece la existencia de magnitudes tales como la *energía* afectados de un principio de conservación mientras que la *entropía* tiende a aumentar.

La Termodinámica de los procesos irreversibles tiene como fin el explicar de forma cuantitativa cómo se produce el aumento de entropía. Es decir, ha de poder establecer dónde se produce entropía y cuánta se ha de producir

en determinadas circunstancias. Actualmente los procesos irreversibles son estudiados por la *Termodinámica del no equilibrio* que difiere fundamentalmente de la Termodinámica estática. La *Termodinámica del no equilibrio* basa su estudio en la ecuación *balance de entropía*.

$$dS = d_i S + d_e S$$

en donde el término  $d_i S$  corresponde a los cambios internos del sistema y  $d_e S$  a los intercambios energéticos con el exterior. Su estudio continúa determinando la expresión analítica del término  $d_i S$ , llamada producción de entropía, en función de las variables del proceso, y lograr para todos los procesos expresiones del tipo

$$d_i S = J_i X_i$$

siendo  $J_i$  y  $X_i$  los flujos y fuerzas termodinámicas generalizadas del proceso, que cumplen la condición para situaciones no muy alejadas del equilibrio termodinámico de estar relacionadas linealmente

$$J_i = L_{ij} X_j$$

siendo  $L_{ij}$  los coeficientes fenomenológicos para los cuales la Termodinámica del no-equilibrio deduce varias relaciones de interés.

## EL PLASMA

Si existiese una bolsa de valores científicos, uno de los títulos más cotizados en la actualidad sería, sin duda alguna, el *plasma*, al que encontramos metido en las más diversas actividades científicas: la

física, astronomía y astronáutica están obligadas a contar con él y a reservarle un lugar predilecto en sus investigaciones.

En la actualidad se considera al plasma como sinónimo de gas más o menos ionizado, aunque dejando sentado que: a) mientras un gas tiende a expandirse al máximo por todo el espacio disponible, *el plasma, a la inversa, tiende a comprimirse*, pudiendo reunirse en forma de bola, plasmoides y b) *contrariamente al gas el plasma no es uniforme*, presentando en cada punto temperatura y reacciones diferentes.

¿Es un estado raro, anormal? Veámoslo: los satélites han demostrado que entre 1000-3000 km. la atmósfera está totalmente ionizada. Esta *envoltura plasmificada* corresponde a los cinturones de Van Allen. La *Tierra se encuentra como aprisionada por una argolla plasmificada*, que representa a la vez una *protección y un obstáculo*. El sol constituye, por otra parte, la masa plásmica más importante de nuestros alrededores y se han detectado la existencia de plasmas ultradensos, totalmente ionizados con densidades de 100 t/cm<sup>3</sup>.

La observación del Universo prueba que el plasma es un estado corriente de la materia y *que no constituye el 4.º estado de la materia*, como algunos investigadores le han llamado. *Es el primer estado de la materia*, tanto por su importancia en el mundo como por su anterioridad; los estados sólido-líquido y gaseoso son, respecto a él, estados secundarios.

A la vista de esta realidad natural el hombre ha creado ese plasma: estamos en la hora de los plasmas artificiales.

Los sopletes de plasma «convencionales» producen temperaturas que oscilan entre 8.000 y 50.000° C.

## FISICA DEL PLASMA

1) La gran ambición de los físicos, y en ello se está trabajando actualmente, es la utilización del plasma para transformar directamente el calor en electricidad con un rendimiento apreciable.

El generador magnetohidrodinámico consiste en un dispositivo con el que se hace circular a gran velocidad el plasma ionizado en un campo magnético muy potente, dando origen a una importante corriente eléctrica. En estos momentos se trabaja para mejorar el rendimiento de este dispositivo.

2) Los chorros de plasma han

permitido resolver los problemas de reentrada en la atmósfera de las naves espaciales.

3) Con el dispositivo ZETA se ha creado *tejido estelar*. El espectro luminoso ha permitido conocer la temperatura conseguida  $5 \cdot 10^6$  °C. Ese plasma se guarda en «botellas magnéticas».

## QUIMICA DEL PLASMA

Química a altas temperaturas, totalmente diferente de la Química ordinaria.

Para utilizar de forma eficiente la energía de un plasma, los productos reaccionantes se han de enfriar muy rápidamente, es decir, los *equilibrios químicos* establecidos a esas altísimas temperaturas han de *congelarse*. Se ha utilizado para la fabricación:

1) De sustancias cuya existencia podría ser considerada como imposible, como el HAr, o el boro-carburo de hafnio.

2) Reducción de óxidos metálicos  $AlO_3$ ,  $MgO$ , etc.

3) Reducción de compuestos refractarios como la extracción del Mn de la rodonita  $MnSiO_3$ . Actualmente se aplica esta técnica para beneficiar el U, Be, Li.

4) Preparación de grandes monocristales de Ge y Si.

5) En fotoquímica tiene un efecto *promotor* sobre reacciones específicas sin necesidad de utilizar *catalizador*.

6) Los chorros de plasma están permitiendo la obtención de aleaciones muy puras, impensables hasta ahora.

7) Se ha hecho posible el corte de los metales refractarios con rendimientos asombrosos.

El problema es fascinante, poderoso, que parece surgir de las tinieblas desafiando a la mente humana.

## QUIMICA INORGANICA MODERNA

El campo de la Química Inorgánica está bien establecido; comprende el estado natural y la preparación artificial de los elementos, sus propiedades y reacciones, y las de sus compuestos, junto con una correlación racional e interpretación teórica de los fenómenos.

Aunque es la disciplina más antigua en Química, la Química Inorgánica continúa despertando un interés creciente como materia de la investigación pura y aplicada, y encuentra múltiples aplicaciones en

la industria. Es la base de un vasto panorama en productos químicos finos y pesados, en cerámica, en la producción de materiales de vidrio y de construcción, y en la metalurgia de extracción. Apenas si hay un elemento que no esté siendo investigado desde algún punto de vista en la actualidad (igualmente sigue la búsqueda de nuevos elementos, fundamentalmente por la escuela rusa de Flerov y la norteamericana de Seaborg. (Ambas escuelas reclaman el descubrimiento del elemento núm. 106, aunque no se han puesto de acuerdo en la denominación.) Así en la preparación de catalizadores ha contribuido y está contribuyendo a facilitar la producción y explotación de energía atómica. Los químicos inorgánicos han continuado llamando la atención mucho, en este amplio campo que espera exploración.

Unos pocos de los temas que siguen de vigente actualidad son: *interpretación corriente del enlace químico y estructura con la evidencia físico-química moderna, la no estequiometría, los compuestos con deficiencia electrónica, los compuestos complejos, los organometálicos, los materiales con propiedades excepcionales* (tales como gran dureza, altos puntos de fusión, resistencia a la corrosión (en U.S.A. las pérdidas por corrosión en los oleoductos subterráneos superaron hace 3 años los 100 millones de dólares), *compuestos de los gases nobles* (es de destacar el descubrimiento en 1976 del *difluoruro de criptón*,  $KrF_2$ , sólido blanco que es un agente fluorante muy energético). La mayor parte de los compuestos del C con elementos no metálicos caen fuera de la Química Inorgánica, pero los *compuestos organometálicos constituyen uno de sus más importantes temas* corrientes. *En mayo de 1976 se publicó la obtención de los fluoroperóxidos asimétricos*, obtenidos por fotólisis de una mezcla de *peróxidos simétricos*. La investigación de estos compuestos es de viva actualidad, pues son agentes oxidantes de alta energía utilizada en la propulsión de cohetes. Se está igualmente investigando su aplicación como *catalizadores de polimerización* y en fumigantes.

Los avances en los últimos treinta años han hecho que la Química Inorgánica haya pasado de ser una masa de hechos arbitrariamente elegidos a adquirir una relación por el S.P. Aunque la Química Inorgánica moderna permanece en una medida descriptiva y gráfica, las ilustraciones han crecido en preci-

sión y las descripciones se han hecho más cuantitativas.

*La teoría cuántica ha suministrado una imagen del átomo que permite un ataque a la valencia y estructura molecular, aunque dando una base más segura para la ordenación periódica de los elementos que las propiedades físicas y químicas seleccionadas.*

La descripción de átomos y moléculas usada —uno o más núcleos positivos rodeados por una nube de electrones que, para muchos fines, es equivalente a una carga negativa «esparcida» —*presenta en forma gráfica los resultados de treinta años de mecánica cuántica*—. Todas las pruebas disponibles indican que esta imagen general es improbable que sufra modificación sustancial. *La química teórica acepta la ecuación de Schrödinger y está extensamente interesada en encontrar los caminos matemáticos más directos hacia una explicación unificada de las propiedades físico-químicas de las moléculas*. Esta descripción ha sido adoptada y usada en la interpretación de la teoría de la valencia, incluyendo los enlaces metal-ligando, y en la discusión general de la estructura.

*Las formas y las distribuciones especiales de los orbitales, átomos y moléculas suministra una base fundamental simple sobre la que mucho de la Química Inorgánica puede racionalizarse. Tal estudio requiere un conocimiento elemental de la simetría de modo que la forma de cualquier objeto tal como la molécula pueda medirse cuantitativamente y describirse sin ambigüedad*. De aquí que en los textos de Química Inorgánica modernos aparezcan algún capítulo o parte de él dedicado a *dar una noción de simetría y la teoría de grupos*, orientadas a facilitar los conocimientos previos necesarios para el buen entendimiento de las estructuras de complejos y sólidos inorgánicos.

Un índice de los grandes progresos experimentales en los últimos años en Química Inorgánica lo tenemos en las publicaciones que contienen revisiones o puestas al día de los diversos temas que abarca la Química Inorgánica, escritas generalmente por expertos en sus respectivos campos. Mencionemos dos muy recientes:

*Comprehensive Inorganic Chemistry*, editor A. F. Trotman-Dickenson, 5 volúmenes, Pergamon Press, Oxford, 1973.

*Inorganic Chemistry: Series One and Two* (M.T.P. International Review of Science) editor consultor

H. J. Emeléus, 10 volúmenes en cada una, Butherworths, London, 1973 y 1975.

Otras:

*Advances in Inorganic Chemistry and Radiochemistry*, publicada anualmente desde 1959.

*Progress in Inorganic Chemistry*, también publicada anualmente desde 1959

Artículos más especializados de gran interés para los investigadores aparecen en:

*Avances in Organometallic Chemistry*, publicada anualmente desde 1963.

*Coordination Chemistry Reviews desde 1966.*

## ANALISIS

Factor importante en la actualidad es la calidad de los productos, lo que ha exigido la introducción de métodos analíticos más rápidos y exactos. Los *métodos instrumentales de análisis* utilizados hoy, tanto en la industria como en investigación son:

1.º **COLORIMETRIA**, utilizado en *laboratorios clínicos* para las determinaciones de sangre y análisis de orina; en la *industria de la alimentación* para la determinación de vitaminas, materias colorantes, etcétera; *laboratorios metalúrgicos* para la determinación de trazas de metales en las materias primas. Como la mayor parte de los métodos colorimétricos son de tipo fotométrico el ojo humano ha sido reemplazado por una célula fotoeléctrica.

2.º **ESPECTROFOTOMETRIA**.

a) *En el ultravioleta* y visible se aplica en la confirmación de estructuras y para seguir el curso de las reacciones químicas.

b) *En el infrarrojo* se aplica en Química Orgánica para la caracterización, identificación y pureza de un compuesto. Se pone de manifiesto el enlace por puente de hidrógeno.

3.º **FLUOROMETRIA**, en la determinación de sustancias dotadas de fluorescencia natural o de sustancias a las que puede conferírseles tal propiedad mediante reacciones adecuadas.

4.º **DIFRACCION**.

a) *De rayos X*, que permite la determinación de las dimensiones de la celda, unidad fundamental. En realidad descubren solamente la *estructura media de la unidad repetitiva del cristal*. La exposición visual con el **MET** (microscopio electrónico de transmisión) nos

permite *obtener imágenes que proporcionan información directa acerca de las imperfecciones en cristales individuales*.

Un competidor del anterior, el **METE** (explorador) puesto a punto por el profesor de la Universidad de Chicago, Dr. Crewe, ha conseguido imágenes excelentes de átomos individuales de Hg, W y otros de masas atómicas moderadas o elevadas. Se utiliza para *revelar con detalle la estructura atómica en química estructural y en metalurgia fundamental*.

b) *De neutrones*, permite descubrir en una estructura sólida la posición de los átomos ligeros, particularmente de hidrógeno y enlaces de hidrógeno en los hidruros, hielo y compuestos orgánicos.

Se emplea en el estudio de *aleaciones* que requieran una diferenciación entre átomos de números atómicos próximos y en el estudio de *materiales magnéticos*, dado que los átomos que poseen momentos magnéticos tienen capacidad para producir una difracción adicional de neutrones.

5.º **CROMATOGRAFIA DE GASES**, método útil para la separación y determinación cuantitativa de los gases y de los líquidos y sólidos volátiles. Se usa en la determinación de velocidades de reacción y de datos termodinámicos.

6.º La llegada de la *energía atómica* dio gran impulso a la Química analítica. Entre los métodos de *radiación nuclear* destaca el *análisis por activación* que consiste en bombardear la muestra con *neutrones térmicos*, para dar lugar a núcleos radiactivos, cuya actividad se determina con un contador.

7.º **MÉTODOS TERMICOS**, entre ellos destaca el análisis *termogravimétrico* que permite el estudio del sistema peso-temperatura de un sólido o precipitados y deducción de toda una gama de datos concluyentes sobre sus características. Otros métodos térmicos son: *análisis térmico diferencial*, *análisis termodilatométrico*, *valoraciones termométricas*.

8.º **ANALISIS DE TRAZAS**.

9.º **ANALISIS DE SUPERFICIES MATERIALES POR SONDA DE ELECTRONES: ESPECTROSCOPIA AUGER Y MICROSCOPIA DE BARRIDO**, se utiliza en las *industrias metalúrgicas* (corrosión), *químicas* (catalisis de superficie) y *electrónica* (determinación de impurezas en interfaces de dispositivos que afectan sus propiedades electrónicas).

10.º **OTRAS TECNICAS**. Turbidimetría y nefelometría, polari-

metría, resonancia magnética nuclear, potenciometría, conductimetría, culombimetría, cronopotenciometría, polarografía, valoraciones amperométricas, etc.

## LA QUIMICA ORGANICA

La Química Orgánica se desenvuelve actualmente en torno a cuatro campos de Investigación:

1. Investigación de productos naturales.

2. Investigación de mecanismos de reacciones orgánicas, con el estudio de los intermedios: carboniones, iones carbonio, carbenos, radicales libres..., que se originan en toda reacción química orgánica.

3. Métodos físicos aplicados a la determinación de estructuras moleculares y que son:

a) *Espectroscopia Ultravioleta* (completada con la Dispersión Óptica Rotatoria y el Dicroísmo Circular).

b) *Espectroscopia Infrarroja* (que se complementa con la espectroscopia Raman).

c) *Resonancia magnético nuclear*.

d) *Resonancia de Spin Electrónico*.

e) *Resonancia de Rotación Molecular. Espectroscopia de microondas*.

f) *Rayos X*.

4. *Síntesis orgánicas*.

a) De aplicación industrial.

b) A nivel de investigación de laboratorio.

Hay que anotar que en mayo de 1976 Mckillop y Edward Taylor describieron dos nuevas técnicas experimentales para la utilización del TTN (nitrato de Talio (III)- $(\text{ONO}_2)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) en la oxidación de muchos tipos de sustratos orgánicos y está contribuyendo al descubrimiento y desarrollo de muchas transformaciones sintéticas nuevas.

Igualmente a lo largo de 1976 se ha investigado con el ácido peroxotrifluoroacético que ha abierto el camino para la simplificación de muchas síntesis orgánicas. Igualmente sucede con otros *peróxidos fluorados*.

En definitiva, la Química orgánica actual trata de *aislar* una serie de sustancias que se encuentran en las plantas y vegetales, estudiar su estructura química y la *síntesis* si las aplicaciones resultan positivas.

Actualmente se trabaja sobre:

a) Determinación de estructuras de alcaloides.

b) Determinación de estructuras de terpenos.

c) Determinación de estructuras de glucósidos.

d) Determinación de estructuras de lactones sesquiterpénicos. Sobre estas últimas sustancias, productos inhibidores de tumores cancerígenos, se trabaja actualmente en distintos Centros de Investigación a nivel mundial.

e) Estudio de la aplicación fisiológica de las sustancias anteriores.

9. BADDELEY-SHARPE: «Química moderna». Ed. Alianza Universidad, 1974.
10. COTTON - WILKINSON: «Advanced inorganic chemistry». *Interscience Publishers*, 1975.
11. JOLLY: «Basic inorganic chemistry». Ed. Mc Graw-Hill, 1976.
12. BONNER Y CASTRO: «Química orgánica básica». Ed. Alhambra.
13. «Química e industria». Publicada

por la A.N.O.U.E. (Asociación Nacional de Químicos Españoles), años 1975-76-77.

14. «Journal of chemical education». Años 1975-76-77.
15. «Monographs for teachers». Ed. Royal Institute of Chemistry - London.
16. SKOOK-WEST: «Fundamentos de química analítica». Ed. Reverté.
17. GASTON CHARLOT: «Química analítica general».

## EL FUTURO DEL COSMOS

Hay dos cuestiones que son cruciales en lo referente al Cosmos, a saber: a) su origen y b) el término de dicho universo.

La primera de ellas queda para la Filosofía; *el científico solo puede investigar sobre el principio del Cosmos* (una nebulosa, un protoátomo inicial, una pareja de neutrones, etc.), pero nunca podrá decir nada sobre el origen de esa materia primigenia. La segunda cuestión es la que queda para el científico: *Que en todo proceso físico se produce entropía, es cierto. Que los procesos de la Naturaleza son irreversibles, también lo es. Entonces, ¿el Universo llegará a su muerte térmica? ¿Es probable, que sucedan otros fenómenos energéticos que casualmente destruyan la segunda ley termodinámica?* Son muchos también los científicos que investigan en estas cuestiones. Hipótesis que no podremos comprobar, pero cuya investigación hace encontrar a la ciencia nuevos hallazgos, abrir nuevos campos, explicar muchos interrogantes.

## BIBLIOGRAFIA

1. FRISCH, ROSE, ZIMAN: «Panorama de la física contemporánea». Alianza Editorial, 1975.
2. R. DAUDEL: «La chimie quantique». Colección: «Que sais je?», 1973.
3. LONING: «Plasma physics». *Sussex U. Press*. London, 1976.
4. CORY: «Convertidores y sistemas de corriente continua de alta tensión». Ed. Urmo.
5. I. PRIGOGINE (Premio Nobel de Química en 1977): «Termodinámica de procesos irreversibles».
6. «Investigación y ciencia». *Prensa Científica*. Distintos núms. de 1977 «Ibérica. Actualidad Científica». Núms. comprendidos entre enero-75 y diciembre-77.
8. «Endeavour». Núms. comprendidos entre enero-75 y diciembre-77. Ed. por Pergamon Press.

# Apuntes para una metodología de prácticas de laboratorio

Por Enrique GUILLEN SALELLES (\*)

*Es evidente que el área experiencial ocupa cada día más los programas educativos tanto a nivel de E.G.B. como en B.U.P. y sobre todo su implantación se ha hecho necesaria en las disciplinas específicas de Física, Química y Ciencias Naturales; de ahí que el planteamiento de unas prácticas de laboratorio ha pasado ya de un hecho esporádico a un hecho cotidiano, en las programaciones a corto y largo plazo de estas asignaturas.*

*En este punto, la adecuación del profesorado a nuevos métodos didácticos y la mayor participación del alumnado, obliga a nuevas tomas de postura a la hora de implantar una metodología de trabajo.*

*Seguidamente damos una pauta, como punto de partida para la elaboración de un programa experiencial de prácticas.*

*Consideraremos cuatro fases como arranque a una sistematización del trabajo: I) Preparación, II) Realización, III) Puesta en común y IV) Evaluación. Pasemos a analizar cada una de ellas.*

### I) PREPARACION

*Como fase previa, es la más delicada y costosa de elaborar.*

### 1) Elección del momento de realización

*Dos son las posibilidades que se brindan: «a priori» del trabajo teórico del tema, si el método elegido para la unidad de que se trate es el deductivo, o «a posteriori» si el método elegido es el inductivo.*

*A lo largo del desarrollo de un programa habrán unidades, cuya didáctica aconseje la elección de un método u otro; si bien, procurando una formación lo más integral posible del alumnado, la conveniencia del empleo de ambos métodos es necesaria.*

### 2) Elección del sistema de realización

*Por puestos escolares (grupos de tres alumnos) sincrónicos, o pequeño-gran grupo (experiencia de cátedra: grupos de veinte alumnos) en el supuesto de la existencia de aula-laboratorio.*

*Entre los factores de mayor peso decisivo caben destacar:*

(\*) Licenciado en Ciencias y Profesor del Colegio «San Juan Bosco» de Valencia.