

I

## Problemas de Química Biológica

Resumen de las Conferencias dadas por el

Dr. D. Luis Bermejo Vida

Catedrático de Química general en la Universidad de Valencia  
durante la primavera de 1921 \*

### I.—NOCIONES SOBRE LA CIRCULACIÓN DE LA MATERIA Y DE LA ENERGÍA A TRAVÉS DE LOS SERES VIVOS

*Elementos componentes de la materia viva*

**E**L análisis químico demuestra que la materia viva se compone de algunos cuerpos simples, entre los que, como más importantes, se citan el *carbono*, el *hidrógeno*, el *oxígeno*, el *nitrógeno*, el *azufre* y el *fósforo* y ya en otro orden, el *cloro*, el *potasio*, el *sodio*, el *calcio*, el *magnesio*, el *hierro* y alguno más. La observación fisiológica enseña—tratándose de las plantas verdes—que la materia viva toma del medio mineral dichos elementos bajo formas sencillas, combinaciones que en el mundo mineral existen y luego asocia a otras para dar su debida colocación a cada uno de aquéllos. Sobre dichas combinaciones, la materia viviente opera a la vez fenómenos de *reducción* y de *síntesis*, resultando entre otros principios inmediatos las materias proteicas, las grasas y los hidratos de carbono.

*Fenómenos de reducción y de síntesis*

---

\* Fueron veinte las Conferencias dadas por el Dr. Bermejo y de ellas se hace en estas páginas un sumarisimo resumen, agrupándolas por materias. Se dieron en la Facultad de Ciencias de Valencia. Este cursillo es el primero de una serie que desarrollará el Dr. Bermejo en años sucesivos.

## ESTUDIOS DE QUÍMICA BIOLÓGICA

Entre los cuerpos orgánicos así formados y los materiales que han servido para su síntesis, existe la misma relación de magnitud que entre un edificio y los sillares que lo constituyen. Así lo demuestran las sustancias proteicas que, como la globina separada de la oxihemoglobina cristalizada del caballo, contienen hasta 2.200 átomos de sus elementos de composición, mientras que las especies de origen, tomadas del medio ambiente, tan sólo poseen 3 o 4 átomos.

Al lado de los fenómenos de reducción y de síntesis, la materia viva realiza otros inversos, de *oxidación* y *descomposición*, por los que los materiales complejos formados en virtud de la primera escala, son oxidados, reducidos a magnitud molecular menor, hasta que cada uno de los elementos constitutivos vuelve a adoptar la forma que tenía al ser aprovechado por los seres vivos, cerrando así el ciclo recorrido por las sustancias que la materia viva toma del mundo mineral.

Los hechos descritos, no desmenuzados por la brevedad de estas notas resumen, condujeron a extender a los fenómenos vitales *el principio de la conservación de la materia*, ya conocido en la *Química in vitro*. Los seres vivos—se dijo—no crean ni destruyen materia, sólo la transforman. Las transformaciones químicas que verifican, están regidas por el gran principio de Lavoisier. La misma extensión se consiguió del *principio de la conservación de la energía*. La síntesis de las materias proteicas, grasas e hidratos de carbono es una reacción endotérmica, y la energía necesaria se toma de la radiación solar, quedando allí acumulada para ulteriores servicios. Inversamente, la descomposición de aquellos materiales es exotérmica, y conforme experimentan una simplificación, la energía queda en libertad, constituyendo una verdadera fuente de actividad vital. Desde el punto de vista físico-químico, toda manifestación de vida presenta este doble aspecto: el sér vivo dispone de un almacén de energía; la consume en los actos vitales que va verificando conforme los cambios de las especies completas la ponen en libertad y hasta la transforman en distintas maneras de

*Fenómenos de oxidación y descomposición*

*Principio de la conservación de la materia*

*Principio de la conservación de la energía*

*La actividad funcional y el consumo de energía*

ser de la energía, características en cada caso de la especie viva de que se trata. Actividad funcional y consumo de energía son, por consiguiente, dos fenómenos inseparables. Y si en el estudio del ciclo recorrido por las sustancias que la materia viva toma del mundo mineral hemos visto comprobado el principio de la conservación de la materia, la misma conclusión se impone al terminar el examen de las transformaciones de la energía. La conservación de la vida de los seres no tiene lugar a expensas de energía alguna que les sea propia; la que almacenan la toman del medio exterior, y al quedar libre, la emplean en su actividad vital, sin que en caso alguno se observe otra cosa que simples transformaciones equivalentes.

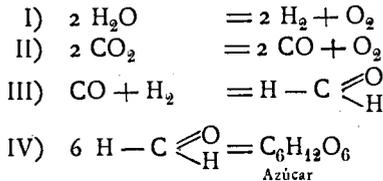
*El privilegio de las plantas*

La facultad de producir materias orgánicas complejas a expensas de las minerales, no reside en todos los organismos: es privilegio de las plantas que poseen clorofila, las cuales encuentran en las radiaciones solares la energía necesaria para efectuar este proceso sintético. Vulgar es la observación de que los herbívoros se nutren de plantas y los carnívoros de herbívoros; resultando, en definitiva, que el reino animal encuentra en el vegetal los materiales orgánicos con que constituye sus tejidos y con ellos la energía necesaria para la vida.

*Comprobación experimental*

Si sumergimos en agua cargada de  $\text{CO}_2$  hojas verdes y las exponemos a la acción de la luz solar, vemos aparecer en su superficie, y desprenderse luego, numerosas burbujas de un gas: el oxígeno, procedente de un fenómeno de reducción, operado por el trabajo clorofiliano, en virtud del cual el agua se desdobra en oxígeno e hidrógeno, al mismo tiempo que el  $\text{CO}_2$  lo hace en  $\text{CO} + \text{O}$ ; el hidrógeno reacciona después con el óxido de carbono para formar aldehído fórmico y éste se polimeriza originando hidratos de carbono (azúcares). Estas reacciones han sido realizadas *in vitro* por Berthelot y Gaudechon y por Stoklasa y Zdobnicky, según las ecuaciones siguientes:

## ESTUDIOS DE QUÍMICA BIOLÓGICA



Por deshidratación y condensación de estos azúcares se forma almidón y éste da lugar a las grasas.

Resulta, pues, que la clorofila actúa como un conmutador de energía, transformando la de las radiaciones solares en energía química.

El reino animal construye sus tejidos destruyendo las materias orgánicas complejas elaboradas por las plantas verdes y aprovechando de este modo para sus actos vitales la energía almacenada en el reino vegetal por la acción clorofílica.

*Fuentes de la energía en el reino animal*

Así, cada gramo de azúcar elaborado por los vegetales, partiendo del agua y el anhídrido carbónico, cuesta una cantidad de energía representada por 4 calorías. Inversamente, cuando los animales destruyen el azúcar, llevándolo a los estados iniciales, agua y anhídrido carbónico, por cada gramo de azúcar descompuesto quedan 4 calorías a disposición del organismo animal, las mismas que el proceso inverso acumuló en el vegetal a expensas de las radiaciones solares.

Todos los descubrimientos de la física y la química biológicas conducen a la afirmación de que los organismos no tienen más fuente de energía que la citada, y que la energía gastada por el organismo (calor, trabajo mecánico...), es equivalente a la cantidad de calor producido por las transformaciones químicas.

Lavoisier y Laplace fueron los que plantearon el problema de las transformaciones energéticas en los animales, al realizar sus memorables experiencias sobre la respiración, que condujeron a la idea, fundamental en fisiología, de que todas las formas de actividad fisiológica corresponden a un gasto de fuerza.

*Experiencias de Lavoisier y Laplace*

Para realizar sus experiencias, Lavoisier y Laplace introdujeron un conejo de Indias en un calorímetro de hielo y

vieron la cantidad de hielo fundido por la estancia del animal en un tiempo dado; por otra parte, determinaron la cantidad de anhídrido carbónico exhalada por el conejo en igual tiempo. Como previamente habían medido la cantidad de hielo que hace fundir la unidad de peso de carbono al transformarse en anhídrido carbónico, realizaron los cálculos y vieron que: «La cantidad de calor perdida por el animal en un tiempo dado, era sensiblemente igual a la que el ácido carbónico, eliminado por el pulmón en igual tiempo, debió producir en el momento de formarse».

De esta y otras experiencias dedujo Lavoisier que «la digestión aporta al organismo los materiales, cuya destrucción produce el calor».

*Experiencias de  
Dulong y Despretz*

Dulong y Despretz, realizaron experiencias siguiendo las orientaciones marcadas por Lavoisier, experiencias que, técnicamente, eran, como más modernas, mejores que las de este sabio, pero en ellas subsistían dos errores fundamentales: 1.º El considerar como operaciones de combustión a cuantas reacciones se invierten en llegar desde los alimentos a los productos de excreción; y 2.º, el calcular el calor producido en estas combustiones como si el oxígeno actuase sobre el carbono y el hidrógeno libres, cuando en realidad dichas combustiones se operan sobre complejos orgánicos como los proteicos, las grasas, los hidratos de carbono.

*Trabajos de  
Berthelot*

El fundamento de las teorías modernas sobre el calor animal se debe a los trabajos de Berthelot. Este ilustre sabio demostró que, junto a las oxidaciones, se realizan en el organismo otras reacciones de hidratación, de desdoblamiento, de reducción, de síntesis,... unas exotérmicas y otras endotérmicas, que todas influyen en la producción del calor animal; pero que no obstante el enorme número y la diversidad de estas reacciones, es posible determinar la cantidad total de calor que ponen a disposición del organismo; basta para ello conocer los estados inicial y final de los materiales que intervienen en el proceso bioquímico, independientemente del número y naturaleza de los estados intermedios.

Modernamente, Atwater en América, ha reproducido las experiencias de Lavoisier, pero operando sobre el hombre en reposo, colocado en una cámara calorimétrica especial que permite recoger todo el calor irradiado por el organismo. He aquí los resultados:

*Investigaciones de Atwater*

Duración de la observación	Diferencia entre el calor de combustión de los alimentos y el de las excreciones en 24 horas	Calor recogido por el calorímetro en 24 horas
1 día. . . . .	2.304 cal. . . . .	2.279 cal.
9 días. . . . .	2.118 » . . . . .	2.136 »
33 » . . . . .	2.288 » . . . . .	2.278 »

La concordancia es notable. La experiencia ha realizado la ecuación

$$Q = q$$

siendo  $Q$  el calor calculado según la ración destruida, y  $q$  el calor efectivamente recogido por el calorímetro.

Por lo expuesto, parece que los reinos animal y vegetal se hallan en oposición manifiesta: Químicamente considerado, el vegetal aparece como un aparato de reducción y de síntesis, y el animal como aparato de oxidación y de descomposición. Dinámicamente la planta transforma la energía cinética (radiaciones solares) en energía potencial (energía química de los productos sintetizados); en cambio, el animal actualiza la energía almacenada por los vegetales. Esto es lo que constituye la *teoría dualista de la vida*.

*Teoría dualista de la vida*

Bernard se alzó contra la teoría dualista haciendo ver que en todo organismo, animal o vegetal, la vida es completa, caracterizada por un doble fenómeno de asimilación y desasimilación, de creación y destrucción, doble corriente sin la cual no se concibe la vida. El vegetal no crea los materiales para que el animal los destruya, como si cada uno poseyera una a modo de semi-existencia; su independencia fisiológica es completa, aunque las apariencias exteriores de los hechos haga pensar otra cosa.

*Impugnaciones de Claude Bernard*

2.—MATERIAS PROTEICAS

Las materias proteicas constituyen esencialmente el protoplasma de los seres vivos. Por consiguiente, todos los fenómenos de la vida se realizan sobre materiales proteicos; de lo cual se desprende, que el estudio de sus propiedades y constitución es problema fundamental de la fisiología.

*Cuales son las materias proteicas*

En un principio se consideraron como materias proteicas todas aquellas substancias que ofrecían analogías evidentes con la albúmina de huevo; por ejemplo: las diversas albúminas, las globulinas, las álcali-albúminas, las acidalbúminas, etc. Más tarde, la noción química de albuminoide se fué ampliando hasta comprender cuerpos, como la queratina de las uñas, la esponjina de la esponja y la fribóina de la seda, que por su aspecto exterior están muy lejos de asemejarse a la albúmina de huevo.

No es posible definir exactamente la familia de las materias proteicas, por no estar bien determinada la constitución química de estos cuerpos. Pero ello no obsta para reunir las en una familia natural, observando los caracteres ofrecidos por:

- 1.º La composición centesimal y las reacciones coloreadas.
- 2.º La naturaleza de los productos de descomposición.
- 3.º El peso molecular, muy elevado, y la complejidad de su estructura; y
- 4.º La naturaleza coloidal de su disolución acuosa.

*Composición centesimal*

La *composición centesimal* oscila entre límites estrechos; son los siguientes:

Carbono.. . . .	50	55	por 100
Hidrógeno. . . . .	6'6	7'3	» »
Nitrógeno. . . . .	15	19	» »
Oxígeno.. . . .	19	24	» »
Azufre. . . . .	0'3	2'4	» »

## ESTUDIOS DE QUÍMICA BIOLÓGICA

La proporción de nitrógeno, elemento el más fácil de dosificar, es por término medio de 16 por 100. Así, pues, podrá substituirse la determinación cuantitativa de una materia proteica por la del nitrógeno que contiene, ya que cada gramo de nitrógeno encontrado indica  $\frac{100}{16} = 6,25$  grs. de materia albuminoidea.

Las *reacciones de coloración* se explican por la acción de los reactivos sobre los diversos grupos atómicos enlazados para formar la molécula proteica. Recordemos las principales:

*Reacciones de coloración*

La *reacción xantoproteica* obtenida al calentar la materia albuminoidea, sólida o en solución, con ácido nítrico. La solución y los grumos de albúmina, que persisten o se forman, se colorean de amarillo que pasa a amarillo anaranjado por adición de amoníaco. Esta reacción se debe a la nitración de los núcleos aromáticos (tirosina, etc.), y del núcleo del indol.

*Reacción xantoproteica*

El *reactivo de Millon* precipita en blanco las soluciones de materias albuminoideas; el precipitado se colorea lentamente de rojo ladrillo, con rapidez si interviene el calor. Las materias albuminoideas sólidas toman la misma coloración. Esta reacción se refiere al grupo fenol de la tirosina.

*Reactivo de Millon*

La *reacción del biuret* se obtiene tratando la solución de la materia albuminoidea por un gran exceso de lejía concentrada de potasa o sosa, y añadiendo después una pequeña cantidad de solución muy diluida de sulfato de cobre. El líquido toma color azul violado o rosado. La reacción se produce igual con la substancia en estado sólido. Se la refiere a complejos en los que se admite la existencia del grupo:

*Reacción de biuret*



Los *productos de descomposición* de las materias albuminoideas son tan numerosos como complicada su constitución química.

*Productos de descomposición*

Actualmente los químicos dirigen sus esfuerzos al estu-

dio de la estructura de los fragmentos resultantes de la metódica demolición del edificio molecular proteico, para remontarse luego al estudio del edificio mismo.

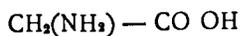
Los mejores resultados obtenidos en esta desmembración son los basados en los agentes de desdoblamiento por hidrólisis; tales son el hidrato bórico (Schützenberger), los ácidos clorhídrico concentrado y sulfúrico diluido en 2 vol. de agua (Drechsel, Kossel, Fischer...), el ácido fluorhídrico (Hugounenq), las diastasas proteolíticas (pepsina, tripsina) y las bacterias de la putrefacción.

Los cuerpos químicamente bien definidos que ha facilitado la hidrólisis de las materias proteicas por medio de los ácidos, pertenecen a la serie grasa unos, a la aromática otros y a series hetero-cíclicas los demás. Todos poseen poder rotatorio (excepto la glicocola) y son amino-ácidos (salvo la glucosamina que es azúcar aminado), representando un 80 por 100 del peso del albuminoide descompuesto.

La serie grasa en la molécula proteica

En la molécula proteica se halla representada la *serie grasa* por los cuerpos siguientes:

a) ACIDO-AMINAS MONOBÁSICOS O GRUPO DE LA LEUCINA:  
*Glicocola*, glicina o ácido amino-acético.



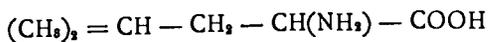
*Alanina* o ácido  $\alpha$ -amino-propiónico (dextrogiro).



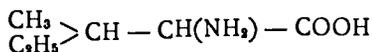
*Valina* o ácido  $\alpha$ -amino-isovaleriánico (dextrogiro en solución clorhídrica).



*Leucina* o ácido  $\alpha$ -amino-isobutilacético (levogiro).

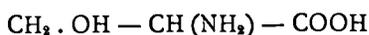


*Isoleucina* o ácido  $\alpha$ -amino- $\beta$ -metil- $\beta$ -etilpropiónico (dextrogiro).



## ESTUDIOS DE QUÍMICA BIOLÓGICA

*Serina*, oxialanina o ácido  $\alpha$ -amino- $\beta$ -oxipropiónico (levogiro).

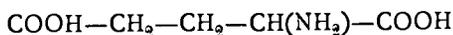


b) AMINO-ÁCIDOS BIBÁSICOS:

*Acido aspártico* o ácido  $\alpha$ -amino-succínico (levogiro)

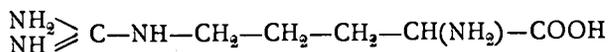


y *ácido glutámico* o ácido  $\alpha$ -amino-glutárico (dextrogiro)



c) Por los ÁCIDO-DIAMINAS MONOBÁSICOS:

*Arginina* o ácido guanidina-diamino-valeriánico (dextrogiro en solución clorhídrica)

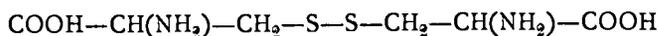


*lisina* o ácido  $\alpha$ - $\epsilon$ -diamino-caproico (dextrogiro en solución clorhídrica)

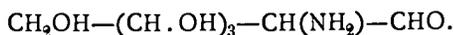


y el *ácido-diamino-trióxidodecanico*  $\text{C}_{12}\text{H}_{26}\text{N}_2\text{O}_5$  que es el ácido más rico en carbono de los extraídos de las materias albuminoideas.

d) La *cistina* (levogira en solución clorhídrica), CUERPO DE NÚCLEO SULFURADO.



e) Y el cuerpo de NÚCLEO HIDROCARBONADO, *glucosamina* (azúcar-amina dextrogiro)



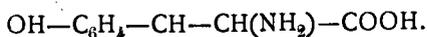
La *serie aromática* se halla representada por la *fenilalanina* o ácido  $\alpha$ -amino- $\beta$ -fenilpropiónico (levogiro)



y por la

*La serie  
aromática*

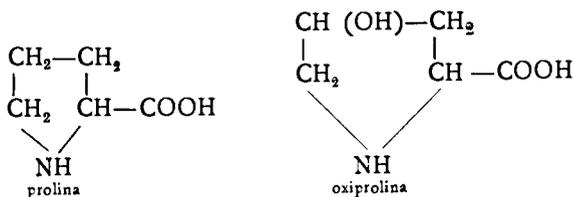
*tirosina* o ácido  $\alpha$ -amino- $\beta$ -p-oxifenilpropiónico, o p-oxifenilalanina (levogiro en solución clorhídrica)



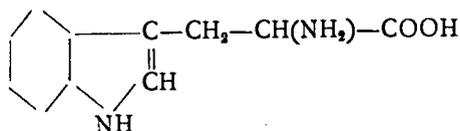
*Los núcleos heterocíclicos*

Los *núcleos heterocíclicos* se hallan representados en las materias albuminoideas por las siguientes especies químicas:

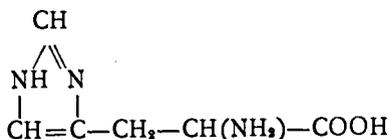
a) Del NÚCLEO DEL PIRROL, por la *prolina* o ácido  $\alpha$ -pirrolidina carbónica (levogira), y por la *oxiprolina* o ácido  $\gamma$ -oxi- $\alpha$ -pirrolidina carbónica



b) Del NÚCLEO DEL INDOL O BENZOPIRROL, por el *triptofano*, ácido  $\beta$ -indol- $\alpha$ -aminopropiónico, o  $\beta$ -indol alanina (levogiro)



c) Del NÚCLEO DEL IMIDAZOL, por la *bistidina*, ácido  $\beta$ -imidazol- $\alpha$ -aminopropiónico o  $\beta$ -imidazol-alanina (levogiro)



Como vemos, el agrupamiento atómico de la alanina se encuentra en seis fragmentos de los diferentes cuerpos que constituyen las materias albuminoideas: en la alanina, la fenilalanina, la serina, la tirosina, el triptofano y la histidina.

Es también digno de observarse que en todos estos áci-

dos-aminas el radical  $\text{NH}_2$  se encuentra *siempre* inmediato al carboxilo, constituyendo constantemente el fragmento  $-\text{CH}(\text{NH}_2) - \text{COOH}$ .

Finalmente, señalemos el hecho curioso de que, si bien desde el punto de vista cualitativo las diversas materias albuminoideas dan lugar, poco más o menos, a los mismos fragmentos, las diferencias cuantitativas son con frecuencia muy considerables. Así: la glicocola que falta en la caseína y en la sero-albúmina, constituye casi la cuarta parte de la molécula de la elastina, etc.

Tales resultados ofrecen extraordinario interés en *Fisiología*, ya que la parte esencial que constituye los tejidos es la materia proteica, y ella es también la que forma la principal proporción en nuestra alimentación. Y esto es tanto más interesante por cuanto el rompimiento de la molécula proteica en el laboratorio de la vida se realiza por los mismos puntos de sutura y originando los mismos fragmentos que bajo la acción de los reactivos *in vitro*.

*Interés de estos estudios para la Fisiología*

El peso molecular de las materias proteicas es muy elevado, oscilando entre 6.000 y 16.000; así el correspondiente a la ovalbúmina es 5.739 y el de la globina de la hemoglobina del caballo es 16.218. Esta conclusión se halla de acuerdo con los hechos siguientes:

1.º Que dichas sustancias adquieren al disolverse el estado coloidal, y

2.º Que entran en la categoría de los *antígenos*.

Podremos, pues, comparar, con Hofmeister, la enorme construcción atómica de las albúminas a un mosaico formado por numerosas piedras de diversas formas y colores distintos, representadas, las unas sólo una vez y las otras repetidas veces, hasta veinte quizás. Claro está que las piedras integrantes del mosaico proteico serán los fragmentos que anteriormente vimos desglosarse del edificio albuminoideo por medio del análisis.

Ahora bien; si en lugar de emplear agentes relativamente energéticos, como son los ácidos, para conseguir el fraccionamiento de las sustancias proteicas, estudiamos los resulta-

dos de la escisión provocada por agentes de acción más lenta o más moderada, como las diastasas, ¿no es lógico pensar que en vez de los fragmentos obtenidos (ácido-aminas), resultasen otros mayores, que por lo mismo vendrían a esclarecer el problema de la arquitectura proteica?... Veámoslo:

*Digestión de los  
proteicos por la  
tripsina*

La digestión de los proteicos por la tripsina, condicionada convenientemente, conduce a los ácido-aminas o productos *abiuréticos* (que no presentan la reacción del biuret) y a otros fragmentos mayores, que son las *albumosas* y las *peptonas*, llamados productos *biuréticos* por dar la mencionada reacción.

*Albumosas y  
Peptonas*

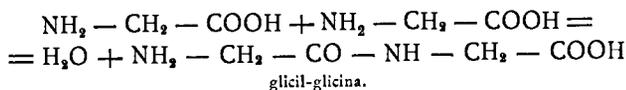
Por consiguiente, las albumosas y las peptonas son, sin duda alguna, fragmentos de la molécula primitiva. Pero, desgraciadamente, el estudio químico de estos cuerpos no ha producido resultados satisfactorios, y, por otra parte, la noción de albumosas como la de peptonas parecen abocadas a perder toda significación química precisa.

Fracasados los diversos procedimientos analíticos, se pensó en la síntesis como medio el más lógico de desentrañar el intrincado problema de la constitución de la materia proteica.

*Trabajos de  
Fischer*

Fischer ha logrado sintetizar compuestos de este género llamándoles *dipéptidos*, *tripéptidos*,... y *polipéptidos* en general, según resulten de la unión de 2, 3,... *n* moléculas de ácido-aminas.

El más sencillo de estos cuerpos es el dipéptico resultante de la unión, con deshidratación, de 2 moléculas de glicocola, llamado *glicolil-glicocola* o *glicil-glicina*.



De análoga manera Fischer ha preparado polipéptidos con casi todos los amino-ácidos contenidos en los proteicos; por ejemplo: la *glicil-alanina*, la *glicil-leucina*, la *leucil-alanina*, la *leucil-tirosina*, el *ácido leucil-glutámico*, la *leucil-glicil-fenil-*

*alanina*, etc. Así ha llegado hasta la obtención de un octodecapéptido: la *leucil-triglicil-leucil-triglicil-leucil-octoglicil-glicina*, reuniendo 15 moléculas de glicina y 3 de leucina.

El estudio de los polipéptidos sintéticos ha conducido a los dos resultados siguientes:

1.º Algunos de los términos más sencillos se han identificado con polipéptidos naturales producidos en la hidrólisis de los proteicos por los ácidos; *Resultados*

2.º Los polipéptidos sintéticos más complicados ofrecen sorprendentes analogías con las peptonas y aun con las albumosas.

El concepto químico de albumosas y de peptonas está en vías de desaparecer para ser reemplazado por una clasificación racional de los polipéptidos digestivos fundada en el número, naturaleza y modo de asociación de los aminoácidos constituyentes.

Cuando llegemos a los polipéptidos de 20 aminoácidos, dice Fischer, habremos alcanzado el nivel de las albúminas mismas.

No se crea, sin embargo, que cuando se construyan polipéptidos suficientemente complicados y en los que se haya dado entrada a todos los aminoácidos que se citaron anteriormente, quedará realizada con seguridad la síntesis de las albúminas naturales. Como puede preverse, las diferencias entre los diversos proteicos son numerosas. Pueden diferir:

1.º Por la naturaleza y cantidad de cada uno de los aminoácidos que los componen;

2.º Por el sentido del poder rotatorio; y

3.º Por el orden de asociación de los aminoácidos.

Hay que esperar, pues, que el estudio de los polipéptidos artificiales y naturales (siempre complejísimos) explique la causa de las diferencias que presentan en sus propiedades los numerosos proteicos del organismo.

3.—CLASIFICACIÓN DE LAS MATERIAS PROTEICAS

Una clasificación científica de las materias proteicas, teniendo en cuenta sus analogías químicas, no es posible hoy.

Clasificación provisional de las materias proteicas

Como provisional damos la siguiente, que creemos se adapta bien al estado actual de nuestros conocimientos: (1)

- |                                |   |  |
|--------------------------------|---|--|
| MATERIAS PROTEICAS O PROTEINAS | 1.º—Protaminas.                           |  |
|                                | 2.º—Histonas.                             |  |
|                                | 3.º—Albúminas.                            |  |
|                                | 4.º—Globulinas.                           |  |
|                                | 5.º—Fosfoproteínas.                       |  |
|                                | 6.º—Albumoides o escleroproteínas.        |  |
|                                | 7.º—Proteidos o proteínas conjugadas. . . | a)—Nucleoproteidos.<br>b)—Glucoproteidos.<br>c)—Cromoproteidos.  |
|                                | 8.º—Derivados de las proteínas. . . . .   | a)—Materias proteicas coaguladas.<br>b)—Alcalialbúminas y acidalbúminas.<br>c)—Albumosas, peptonas y polipéptidos. |

*Protaminas*

Las *protaminas* sólo han sido extraídas, hasta la fecha, de la esperma de diversos peces, en donde se hallan combinadas con el ácido nucleico. Las mejor conocidas son la *salmína* del salmón, la *clupeína* del arenque, la *esturina* del esturión, y la *escombrina* de la caballa. Son solubles en el agua con reacción alcalina, y presentan algunas de las reacciones generales de las materias proteicas. No tienen azufre y contienen hasta un 30 por 100 de nitrógeno (mucho más que las albúminas y las globulinas, por ejemplo), y por hidrólisis dan bases exónicas en gran proporción.

*Histonas*

Las *histonas* son la transición entre las protaminas y las

(1) En esto como en el desarrollo de nuestro cursillo, hemos seguido las inspiraciones que nos presta la obra de Lambling.

## ESTUDIOS DE QUÍMICA BIOLÓGICA

albúminas. Su principal carácter analítico es el ser precipitables por el amoniaco. Los contornos de esta familia no están bien delimitados; acaso sea la histona un precursor de las protaminas, ya que aparece en el esperma de diversos peces. La histona primeramente conocida se extrajo de los glóbulos rojos nucleados del pato; la mejor estudiada es la histona de los leucocitos del timus.

Las *albúminas* (ovalbúmina, sero-albúmina) son solubles *Albúminas* en el agua y en las soluciones diluidas de las sales alcalinas y alcalinotérreas, y estas soluciones pueden diluirse y dializarse sin que se produzca precipitado alguno de materia proteica.

Las *globulinas* (ovoglobulina, sero-globulina, fibrina, miosina), al contrario que las anteriores, son insolubles en agua, solubles en las dichas soluciones diluidas, y estas disoluciones son parcialmente precipitables por dilución o diálisis. *Globulinas*

Las *fosfoproteínas* (caseína, caseógeno, vitelinas) son con frecuencia llamadas paranucleoproteidos, denominación doblemente impropia, pues estos cuerpos no tienen nada de común con los núcleos celulares, y no son proteidos, sino que son albúminas fosforadas. *Fosfoproteínas*

Los *albumoides* o *escleroproteínas* constituyen un grupo muy heterogéneo, en el cual se hallan colocados los proteicos de origen esquelético: la *keratina* del cuerno, la *elastina*, el *colágeno* de los huesos, la *espongina* de la esponja, la *fibroína* de la seda, etc. *Albumoides*

Los *proteidos* o *proteínas conjugadas* los estudiamos con algún detalle a continuación. Y los principales derivados de las proteínas (albumosas, peptonas, polipéptidos...) ya han ocupado anteriormente nuestra atención. *Proteidos*

### 4.—PROTEIDOS

Con los nombres de materias proteicas, proteínas, proteicos, materias albuminoideas, o más simplemente albú-

mina o proteína, designamos indistintamente el conjunto de sustancias proteicas contenidas en un tejido.

*División de los  
proteidos*

De entre las categorías anteriormente establecidas, es en particular interesante la de los *proteidos* o *proteínas conjugadas*. Estos cuerpos comprenden los *cromoproteidos*, *glucoproteidos* y *nucleoproteidos*; están formados por la unión de una proteína con otro complejo no albuminoso, que puede ser de naturaleza variable y se llama *grupo prostético*.

*Cromoproteidos*

1.º El tipo de los *cromoproteidos* es la oxihemoglobina de los glóbulos rojos de la sangre, que los ácidos, los álcalis o el calor desdoblan en una materia proteica, la *globina*, y en un pigmento ferruginoso, la *hematina*.

*Glucoproteidos*

2.º Los *glucoproteidos* están formados, análogamente, por una proteína y un complejo hidrocarbonado; pero aquí el desdoblamiento en proteína y grupo prostético es más difícil de obtener que en el caso de los cromoproteidos y en el de los nucleoproteidos, y la separación completa del complejo hidrocarbonado sólo se consigue tras una ebullición prolongada con los ácidos, y ello a costa de la demolición total o parcial de la molécula.

*Nucleoproteidos*

3.º Los *nucleoproteidos* resultan de la asociación de una proteína con un complejo fosforado, la *nucleína*, descomponible a su vez en una proteína y un ácido fosforado, el *ácido nucleico*, que debe ser el verdadero grupo prostético de los nucleoproteidos.

Del componente proteico de estos cuerpos casi nada se sabe; la parte nucleica, en cambio, se halla bien estudiada y ofrece gran interés. Por ello haremos un estudio particular de los

## 5.—NUCLEOPROTEIDOS

Estos cuerpos se encuentran en todos los núcleos celulares constituyendo su masa principal. Así, en la cabeza de los espermatozoides del arenque, representan el 95 por 100 del peso total de la sustancia seca desengrasada, y en los

## ESTUDIOS DE QUÍMICA BIOLÓGICA

linfocitos el 77 por 100 (Lambling). Los glóbulos rojos nucleados de la sangre de pato tienen análoga composición, y así mismo los demás núcleos celulares.

El ácido nucleico, grupo prostético de los nucleoproteidos, está en ellos unido a proteínas de categorías diversas:

1.º A *protaminas* en las cabezas de los espermatozoides de diversas especies de peces (salmón, esturión, arenque).

2.º A *histonas* en la esperma del bacalao.

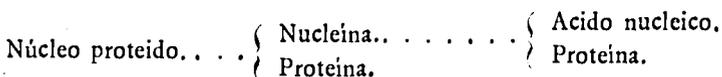
3.º A *proteínas verdaderas* en la esperma y en los núcleos celulares de los animales superiores.

Los nucleoproteidos son insolubles en el agua, solubles en los álcalis diluidos, a los que neutralizan perfectamente, pues son cuerpos de función ácida. En casi todos se ha encontrado pequeñísimas porciones de un cuerpo orgánico, rico en hierro, llamado *cariógeno*, por Miescher, y todavía mal estudiado. Por el calor se coagulan, como los proteicos, y por la pepsina clorhídrica se desdoblán en una proteína peptonizada y en un cuerpo insoluble, al que Miescher llama *nucleína*, y que contiene hasta un 5 por 100 de fósforo, mientras el nucleoproteido primitivo sólo contiene de 0'5 a 1'6 por 100 aproximadamente.

*Propiedades de los nucleoproteidos*

Las *nucleínas* presentan un carácter ácido más acentuado que los nucleoproteidos, resisten en general la acción del jugo gástrico, pero se desdoblán por los álcalis y por la tripsina en una materia albuminoideá y un ácido nucleico que contiene todo el fósforo del proteido primitivo. He aquí el esquema de este desdoblamiento:

*Nucleínas*



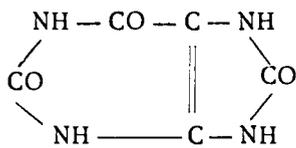
Los *ácidos nucleicos*, que son el fragmento específico de los nucleoproteidos y el más característico constituyente químico de los núcleos celulares, son cuerpos a la vez fosforados y nitrogenados, insolubles en agua, pero solubles en los álcalis diluidos a los que neutralizan perfectamente; son, pues, verdaderos ácidos; precipitan a los proteicos dando

*Ácidos nucleicos*

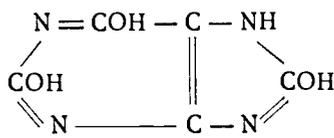


## ESTUDIOS DE QUÍMICA BIOLÓGICA

El *ácido úrico* es una trioxipurina, pudiendo adoptar dos formas:

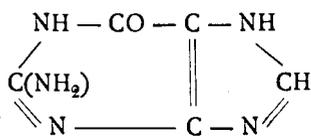


Ac. úrico (forma lactámica).

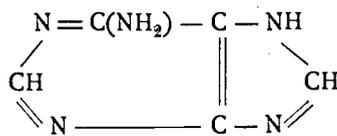


Ac. úrico (forma lactámica).

En fin, la *guanina* y la *adenina* son respectivamente una aminoxipurina y una aminopurina:

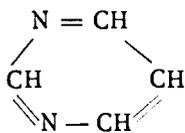


Guanina.

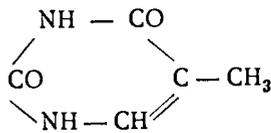


Adenina.

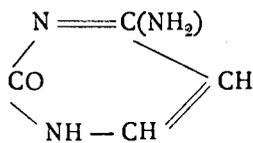
2.º) Las *bases pirimidicas* son la *timina*, la *citósina* y el *uracilo*, pero sólo las dos primeras preexisten en la molécula. La primera es una metildioxipirimidina, la segunda una aminoxipirimidina y el uracilo una dioxipirimidina:



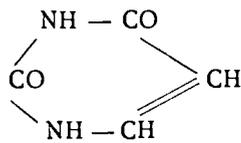
Pirimidina.



Timina.



Citósina.



Uracilo.

Es interesante observar que la purina y sus derivados contienen el núcleo pirimidico engarzado a una cadena cerrada. Por consiguiente, los cuerpos pirimidicos podrian ser en el organismo una fuente de bases púricas y de ácido úrico.

3.º) La parte hidrocarbonada no está bien conocida, si bien parece hallarse constituida por glucosas. *Parte hidrocarbonada*

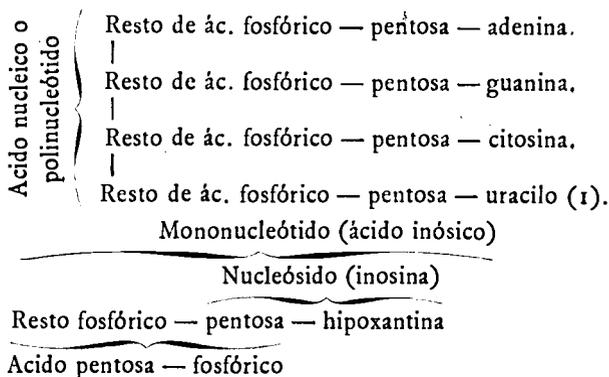
*Estudios sobre la hidrolisis progresiva de los ácidos nucleicos*

4.º) El ácido fosfórico es probable que se encuentre en estos ácidos en forma condensada.

Stendel, Jacobs y otros autores, han estudiado la hidrolisis progresiva de los ácidos nucleicos para deducir el modo de asociación de los fragmentos que los constituyen y que, según Levenz, son cuatro moléculas de ácido fosfórico unidas entre sí y formando combinaciones etéreas con un resto hidrocarbonado (exosa o pentosa) que a su vez está unido con una base púrica cual si fuera un glucósido.

Cada uno de estos cuatro grupos fosforados recibe el nombre de *nucleótido* (mononucleótido); por lo cual resulta que los ácidos nucleicos vienen a ser *polinucleótidos* (tetra-nucleótidos) que por hidrolisis se fragmentan en mononucleótidos. Estos a su vez pueden perder el eslabón fosfórico resultando un glucósido, al que designan con el nombre de *nucleósido*, o puede ser la base la que se separe y el cuerpo resultante es un éter fosfórico ácido del cuerpo azucarado. Finalmente, la hidrolisis desdobra el nucleósido en sus dos componentes, pentosa y base púrica.

Todo lo expuesto puede representarse así:



*Importancia de los nucleoproteidos*

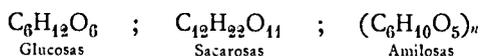
Los nucleoproteidos tienen una gran importancia en biología por ser los edificios más complejos que puede sintetizar el laboratorio del sér vivo, así como también por constituir el núcleo, órgano indispensable para la vida celular y por ende para la vida toda de la naturaleza.

(1) Lambling. *Precis de biochimie.*

# ESTUDIOS DE QUÍMICA BIOLÓGICA

## 6.—HIDRATOS DE CARBONO

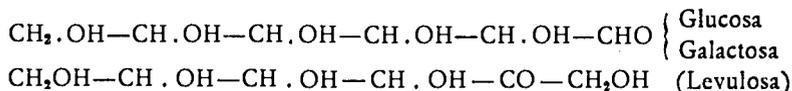
Desde antiguo se vienen designando con el nombre de *Definición* hidratos de carbono aquellas sustancias a las que puede asignarse la fórmula general  $C_n(H_2O)_m$ ; en este grupo tradicional se comprenden tres clases de compuestos particularmente interesantes, las *glucosas* y las *sacarosas*, llamadas también azúcares, y las *amilosas* o materias amiláceas, cuyas fórmulas son:



Modernamente estos compuestos se han clasificado en *Clasificación* *monosacáridos* o *monosas* (no desdoblables en moléculas más sencillas) y *polisacáridos* o *poliosas* (que por hidratación originan monosas). Las glucosas son, según esto, monosacáridos; las sacarosas, disacáridos (por dar dos monosas), y las amilosas, polisacáridos (por dar mayor número de monosacáridos).

De entre todos estos compuestos, sólo nos ocuparemos de aquellos que se encuentran en los tejidos animales y de los que, aun siendo de origen vegetal, tienen para el hombre algún valor alimenticio.

Los monosacáridos más interesantes para nuestro estudio son las glucosas o *exosas*  $C_6H_{12}O_6$ , cuerpos que poseen la *Glucosas. Su importancia* función aldehído o cetona y cinco veces la alcohólica:

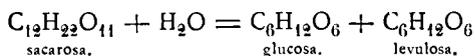


Estas tres exosas, glucosa ordinaria (azúcar de uva), galactosa y levulosa (fructosa o azúcar de frutos), son los monosacáridos más importantes en fisiología por ser los que con frecuencia se encuentran en los alimentos y se originan en los procesos bioquímicos de la digestión como consecuencia del desdoblamiento de los polisacáridos. En resumen, la forma  $C_6H_{12}O_6$ , es la que toman la casi totalidad de

los hidratos de carbono para ser absorbidos por los organismos animales.

Un derivado de la glucosa, el ácido *glicurónico*:  
 $\text{CO} \cdot \text{OH} - (\text{CH} \cdot \text{OH})_4 - \text{CHO}$  se encuentra también en el organismo humano, y en determinados estados patológicos se ha señalado en la orina del hombre la presencia de la *arabinosa*, monosacárido del grupo de las pentosas  $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5$ .

*Disacáridos* Los *disacáridos* se consideran como resultado de la soldadura de dos exosas, iguales o no, con eliminación de una molécula de agua; pues, en efecto, por hidratación originan dos moléculas de glucosa. Así hallamos que la *sacarosa* o azúcar de caña, se desdobra por hidrolisis en glucosa y en levulosa; la *lactosa* o azúcar de leche origina glucosa y galactosa, y la *maltosa* da lugar a dos glucosas:



La sacarosa y la lactosa se hallan con abundancia en nuestros alimentos, mientras que el tercer disacárido citado, la maltosa, sólo excepcionalmente se encuentra en ellos; en cambio se produce en grandes cantidades en la digestión de las materias amiláceas. Finalmente, los jugos digestivos provocan el desdoblamiento de los tres disacáridos mencionados para ofrecerlos a la nutrición de las células bajo la forma de exosas.

*Polisacáridos* Los *polisacáridos* resultan de la condensación de  $n$  moléculas de exosas con separación de  $n - 1$  moléculas de agua, teniendo  $n$  un valor muy elevado (desconocido hasta la fecha). Entre estos cuerpos tenemos las distintas variedades de *dextrinas*, los *almidones* o *féculas* y las *celulosas*. El grado de condensación crece de las dextrinas a las féculas y de éstas a las celulosas.

Los citados polisacáridos abundan mucho en los tejidos vegetales y constituyen la base de la alimentación del hombre (harina-fécula) y de los animales herbívoros (celulosa).

En los tejidos animales sólo se hallan representados los *polisacáridos* por el *glucógeno*, especie de dextrina animal que se halla en el hígado y en el tejido muscular, y que hidra-

## ESTUDIOS DE QUÍMICA BIOLÓGICA

tándose paulatinamente va pasando a través de las paredes organizadas para ir a sostener, bajo la forma de glucosas, las combustiones celulares, según lo exigen los actos biológicos. Como sucede con todos los productos de orden elevado elaborados por los seres vivos, parecen existir tantos glucógenos diferentes como especies animales le contienen.

Pasemos a estudiar los productos de simplificación progresiva de los hidratos de carbono *in vitro*, con objeto de prever los resultados de su desintegración en el organismo, como consecuencia fatal del metabolismo correlativo de la vida.

*Productos de simplificación*

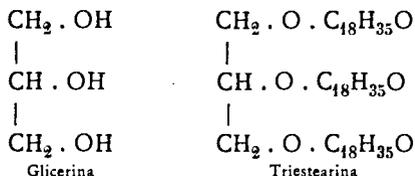
Por la acción de los álcalis la glucosa (ya dijimos que la forma  $C_6H_{12}O_6$  era el punto inicial del papel alimenticio de todos los hidratos de carbono) se transforma en *ácido láctico*, produciéndose también *alcohol* y *ácido carbónico*. Los mismos productos de degradación del azúcar ocasionan los organismos inferiores (fermentos, levaduras) y aparecen en la vida de los organismos superiores, pues el ácido láctico se encuentra en el músculo fatigado y el alcohol es un producto de la vida residual del músculo.

### 7.—GRASAS

La constitución de las grasas está perfectamente establecida gracias a las investigaciones de Chevreul y a los trabajos sintéticos realizados por Berthelot.

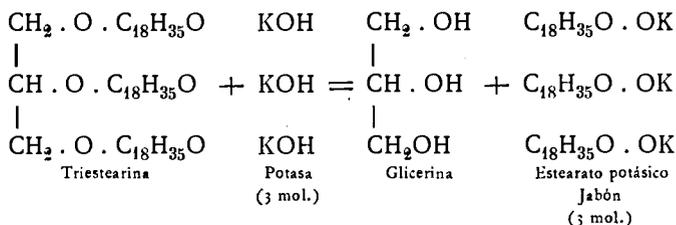
*Constitución de las grasas*

Estos cuerpos son esteres de la glicerina (triglicéridos) que resultan de reemplazar los átomos de hidrógeno oxhidrílico del propanotriol por radicales ácidos. Así:



Por su condición de esteres, los agentes hidrolísicos (álcalis, ácidos diluidos, agua en vapor y ciertas diastasas)

rompen la molécula, quedando la glicerina en libertad y formándose un jabón. Esta operación se llama *saponificación*:



*Grasas animales  
y vegetales*

Los ácidos orgánicos que unidos a la glicerina constituyen las grasas animales y las vegetales comestibles son principalmente los ácidos: *palmitico*  $\text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2$ , *estearico*  $\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$  de la serie saturada o acética, y el *oleico*  $\text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2$  de la serie oleica (no saturada).

En los aceites el componente principal es la trioleína (líquido); las grasas animales son una mezcla, en proporciones variables, de trioleína con tripalmitina (sólido fusible a  $46^\circ$ ) y triestearina (sólido fusible a  $60^\circ$ ); de las proporciones relativas de estos glicéridos depende el punto de fusión de las grasas naturales. Así la grasa de perro, que contiene  $\frac{7}{10}$  de oleína y  $\frac{3}{10}$  de palmitina y estearina, empieza a fundir a los  $20^\circ$  y se liquida a  $28 - 30^\circ$ ; en cambio el sebo de carnero, que tiene  $\frac{1}{6}$  de oleína y  $\frac{5}{6}$  de palmitina y estearina, empieza a fundir a  $43^\circ$  y se liquida a  $49 - 51^\circ$ . Por razones idénticas se observan variaciones en el punto de fusión de las grasas de las distintas regiones del cuerpo.

Estas grasas constituyen una reserva alimenticia que el organismo consume durante la inanición y acumula, por la sobrealimentación, en cantidades a veces considerables, en el tejido celular subcutáneo, alrededor de los riñones, etc.

*Composición*

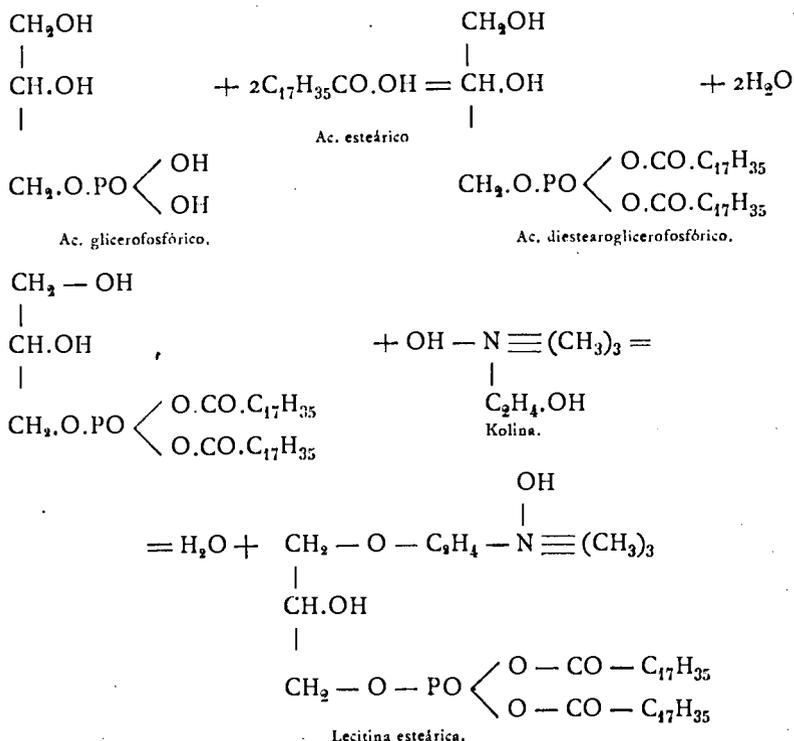
La composición centesimal de las grasas animales es, por término medio: C = 76'5, H = 12 y O = 11'5; su gran riqueza en carbono (superior a la de los proteicos e hidratos de carbono) explica el considerable poder calorífico de estos compuestos, si bien es al ácido graso al que corresponde la parte verdaderamente alimenticia de las grasas por ser su principal constituyente (95 por 100 en peso).

8.—LIPOIDES

Se denominan *lipoides* a los cuerpos que se hallan al lado de las grasas en la mezcla compleja de sustancias extraídas de los tejidos animales o vegetales por la acción de los disolventes neutros, alcohol, éter, bencina, cloroformo... *Definición*

Se clasifican en lipoides fosforados y no fosforados.

Los lipoides fosforados mejor conocidos son las *lecitinas*, existentes en todas las células y en la mayoría de los líquidos orgánicos. En los animales abundan las lecitinas en los productos genitales (esperma, yema de huevo), en el tejido nervioso y en la médula de los huesos. Las lecitinas son cuerpos de constitución química un tanto complicada, pero que puede verse claramente en el siguiente ejemplo:



Claro está que en vez de los radicales esteáricos pueden entrar los de otros ácidos grasos (palmitico y oleico generalmente) dando lugar a diferentes lecitinas. Son, pues, verdaderas grasas fosforadas.

*Propiedades* Las lecitinas son cuerpos de aspecto céreo, que se hinchan en el agua y forman soluciones coloidales; son activas a la luz polarizada. Se encuentran en el organismo en los tejidos y en los líquidos, ora libres, ora combinadas formando complejos no bien definidos, como las *lecitalbúminas*, el *protagon*,...

*Lipoides no fosforados* Entre los lipoides no fosforados nos encontramos con la *colestonina* y la *cerebrina*.

*Colesterina* La *colestonina* se encuentra en casi todos los tejidos y líquidos del organismo, acompañada generalmente de la lecitina; donde más abunda es en el cerebro, en los cuerpos amarillos del ovario, en las cápsulas suprarrenales y en la yema de huevo. Se halla libre y formando esteres con los ácidos grasos superiores.

La *colestonina* es un alcohol monovalente, insoluble en agua pero capaz de producir con este líquido soluciones coloidales. Su estructura química no está bien fijada; acaso sea un terpeno complicado, quizás un alcohol cíclico en cadena lateral no saturado.

*Cerebrina* La *cerebrina* es un constituyente del cerebro que al desdoblarse produce galactosa y otros cuerpos; es, pues, un verdadero glucósido, y por ello se denominan *cerebrósidos* a este y otros compuestos análogos. Los otros cuerpos que se originan en el dicho desdoblamiento son ácidos grasos y bases, no bien conocidos a excepción de la *esfingosina*  $C_{17}H_{35}NO_2$  que es un amino-alcohol bivalente no saturado.

*Importancia de los lipoides* Los lipoides juegan un papel importantísimo en la vida de los tejidos, ya que por ser sus constituyentes fundamentales, son sus elementos plásticos por excelencia. No menos interesantes son las relaciones existentes entre los lipoides de la membrana celular y la permeabilidad de las células, de los tejidos, de la piel. Sabido es que la *colestonina* y sus éteres, que forman a modo de una cubierta ininterrumpida

en el revestimiento exterior de todos los animales superiores, son muy resistentes a la acción de las bacterias.

Por otra parte, las *fosfatidas* (lecitinas y compuestos de composición análoga) son fácilmente oxidables al aire, por lo que en las auto-oxidaciones celulares pueden desempeñar un papel muy importante.

Finalmente, los lipoides ejercen acciones antihemolíticas y antitóxicas en virtud de sus propiedades químicas.

#### 9.—LAS MATERIAS PROTEICAS Y EL ESTADO COLOIDAL

Considerando en conjunto las materias orgánicas que componen el cuerpo humano, más del 60 por 100 a veces están representadas por coloides (proteicos principalmente, glicógeno, lecitinas, colessterina, diastasas...), y si nos referimos a ciertos tejidos o células aisladas, la proporción citada aumenta bastante; de donde se infiere, que las substancias que dentro del organismo adoptan en disolución el estado coloidal tienen una importancia extraordinaria en la explicación de los fenómenos vitales.

*Abundancia de coloides en el organismo humano*

¿Cómo se define el estado coloidal? Comparando la difusión por el agua del cloruro de sodio, azúcar, urea... con la que tiene lugar operando con la albúmina, goma, caramelo..., se observa que el fenómeno tiene lugar en estos últimos casos con una velocidad hasta 40 veces más pequeña, diferencia que se acentúa al estudiar la velocidad, según la que la albúmina, la goma o el caramelo dializan a través del papel pergamino. Tomás Graham llamó *coloides* a las substancias que no dializan o que lo hacen con extremada lentitud, mientras que denominó *crystaloides* a los cuerpos que se conducen como la sal marina o el azúcar. Tales diferencias no pueden ser tomadas en el sentido que Graham las entendía, es decir, obedeciendo a diferencias de naturaleza, por más que él mismo escribía, unos años después de sus primeras experiencias, «si la molécula coloidal no podría estar constituida por la agrupación en conjunto de un cierto número de moléculas cristaloides...». Las diferencias aludi-

*Estado coloidal*

*Ideas de Graham*

das atañen menos a los cuerpos que al estado que toman en dispersión con un disolvente, y así se observa una disolución verdadera o coloidal de un mismo cuerpo en disolventes distintos, como adoptar el estado que estudiamos ciertas substancias por la gran magnitud de sus moléculas. Esto último, nos ha llevado a admitir la existencia de moléculas condensadas (*micelas*) en la dispersión coloidal de cuerpos de pequeño peso molar, llegando con Nägeli y Duclaux a que el carácter común de todas las disoluciones coloidales, es el de contener, no moléculas libres, sino micelas.

*Micelas*

*Heterogeneidad de las disoluciones coloidales*

Como carácter fundamental de las *disoluciones coloidales* resulta el de su *heterogeneidad*, es decir, la posible visión de las partículas dispersas con independencia del disolvente, lo cual también ocurre con las *suspensiones verdaderas*, en las que este carácter es más fácil de encontrar, y por artificios especiales. En las disoluciones de los cristaloides citados ninguna discontinuidad puede percibirse entre el disolvente y el cuerpo disuelto: son, pues, sistemas homogéneos. Y puede agregarse que, entre estos tres sistemas—disoluciones verdaderas, disoluciones coloidales y suspensiones—existen una serie de estados intermedios, de acuerdo con la gran ley de la continuidad de los fenómenos naturales.

*Coloides hidrófilos e hidrófobos*

Para hacer el estudio de los sistemas coloidales, se agrupan en *coloides hidrófilos* o *estables* e *hidrófobos* o *inestables*, según se adhieran a ellos partículas del disolvente, con el cual se separan en caso de precipitación, y resulten estables a la acción de pequeñas cantidades de iones en presencia, o, por el contrario, la separación tenga lugar en estado casi anhidro y su inestabilidad, ante mínimas cantidades de iones, sea un hecho.

*Ultramicroscopio y ultrafiltro*

La heterogeneidad de las substancias coloidales, puesta en evidencia por el ultramicroscopio (1) se demuestra de un

(1) Es un microscopio en el cual la preparación está iluminada por un haz luminoso enviado a través de ella, no en la dirección del eje del aparato, sino lateralmente, en una dirección perpendicular a este eje. Las partículas en suspensión en el líquido de la preparación aparecen entonces como puntos luminosos sobre un fondo obscuro.

modo análogo por el conocido fenómeno de Tyndall (1). Esta heterogeneidad no aparece más que para las moléculas suficientemente gruesas. Y las diferencias de tamaño de las granulaciones coloidales, que revelan el microscopio y el ultramicroscopio, se ponen en evidencia también por el ultrafiltro.

Las partículas de una disolución coloidal, poseen una *carga eléctrica* que se evidencia en el *transporte eléctrico de los coloides o cataforesis*. Se deduce de aquí que habrá coloides anódicos y catódicos, e igualmente que la carga eléctrica de que están poseídas las partículas coloidales es la que interviene en la precipitación de los coloides por los electrolitos (sales), o mejor dicho, por los iones procedentes de su disociación, que también llevan su carga eléctrica especial, y este poder coagulante que poseen los iones está muy en relación con la valencia de los mismos. Sin embargo, se ha demostrado que los coloides pueden *habituarse* a la acción de un electrolito cuando éste se añade muy lentamente y en dosis sucesivas muy pequeñas. En los fenómenos de coagulación a que nos referimos hay adhesión de las partículas del coloide a un ion con preferencia al otro, y es de advertir que un ion es tanto mejor fijado por un coloide cuanto mayor es la potencia precipitante de éste sobre aquél y viceversa. La estabilidad de un coloide, de albúmina, por ejemplo, es mínima cuando está próximo al punto isoelectrico.

*Transporte eléctrico*

*Fenómenos de coagulación*

Cuando se hace una mezcla conveniente de coloides hidrófobos de signo contrario, se precipitan recíprocamente. Para los coloides hidrófilos, como los proteicos, el fenómeno es más complejo, aunque también se ve la influencia de la carga. La precipitación de las albúminas por los ácidos nucleicos es un ejemplo de la acción recíproca de los coloides de signo contrario, aunque el factor carga no sea bastante para determinar el fenómeno, puesto que las pre-

---

(1) Estos movimientos fueron observados primeramente en 1827 por el botánico inglés Brown en el polen puesto en suspensión en el agua.

cipitinas, que son también coloides hidrófilos, no tienen signo eléctrico definido, y se precipitan, sin embargo, recíprocamente.

*Agentes  
protectores*

Cuando se añade una disolución de un coloide hidrófilo, de albúmina por ejemplo, a la de un coloide hidrófobo (solución coloidal de oro obtenida por reducción), se observa que, no solamente deja de producirse precipitación, sino que el oro coloidal es ahora *protegido* contra la acción precipitante de un electrolito, probablemente porque el oro y la albúmina son adsorbidos recíprocamente, y cada partícula de oro es envuelta por una capa del coloide hidrófilo (coloide protector). Las cantidades de coloides necesarias para obtener esta protección en una disolución de oro determinada, son muy distintas de una materia proteica a otra, y constituyen para cada uno de estos cuerpos una característica interesante (Índice de oro), si bien ha sido bastante discutida y aun modificada.

*Importancia del  
estado coloidal*

La fisico-química del estado coloidal es imprescindible para el biólogo. Hacer la anatomía química del ser vivo, es catalogar más y más coloides. Cuando el histólogo endurece y colorea los tejidos que va a estudiar, utiliza las aptitudes de las partículas dispersas en estado coloidal. Si el fisiólogo se ocupa de la digestión de los alimentos, por ejemplo, estudia la transformación de coloides en cuerpos más sencillos y el paso de éstos a través de membranas que son de naturaleza coloidal. Son igualmente coloides los que maneja el patólogo cuando trata de conocer los fenómenos de inmunidad, refiriéndose a las toxinas, antitoxinas, etc. Casi todo el arte culinario, por último, todavía empírico, se reduce a cambios de estado de coloides (proteicos de la carne, de la leche, de los huevos, almidones, féculas.....) que dan mejor sabor y mayor blandura y digestibilidad a los alimentos.