

## LOS NUEVOS CONCEPTOS EN OXIDO-REDUCCION Y LA RESPIRACION ANIMAL

Por *Aristides García Torres*, Preparador de Química General.

Estudio dedicado al doctor Alfonso Esguerra Gómez, Profesor de Fisiología.

En Química General, una oxidación consiste en la pérdida de uno o más electrones, o sea en la pérdida de un *quantum* o varios *quanta* de electricidad negativa. Y una reducción es lo contrario: la adquisición de uno o más electrones.

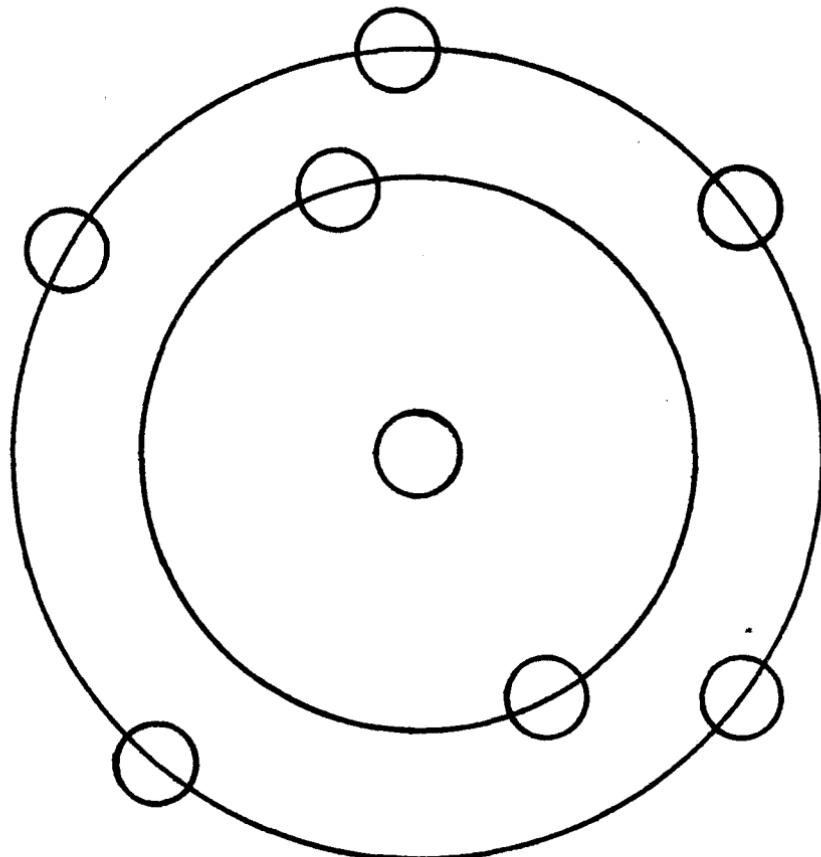
La anterior explicación no basta si el lector no sabe que es un electrón. De ahí que sea preciso hacer una breve exposición sobre ello, a manera de paréntesis.

### I.—Teoría electrónica.

Sin exponernos a cometer un error, puede afirmarse que hasta hace unos cincuenta años la constitución de la materia era una cuestión filosófica. Había dos teorías: a) la del *continuo* y b) la que podríamos llamar *definida*. La primera afirmaba que aunque subdividiéramos la materia muchas veces siempre obtendríamos elementos o entidades idénticas entre sí. La otra teoría afirmaba que esta división tenía un término. Como ejemplo pongamos el hierro. De acuerdo con la primera teoría, al dividir el hierro cada vez en partes más pequeñas sólo resultaría hierro. Mientras que para la otra llega un momento en que el hierro deja de serlo, para convertirse en una entidad más pequeña que las precedentes e irreductible (opinión emitida, ya, por Demócrito). Lo cual es el postulado de la existencia de los átomos. La entidad irreductible de que hablamos es el *átomo material*, que no puede dividirse (sentido etimológico de átomo) porque desaparecen las propiedades del elemento —hierro—. Hecho parecido al de querer descomponer la célula, que equivaldría a destruir la vida.

"Los diversos aspectos del universo (dice Jean Thibaud), bien sea que se trate del agua, de una roca o de la hoja de un árbol, no son, para el físico, más que las diferentes modalidades de agrupaciones moleculares; el tejido material que las forma es siempre el mismo; su trama está constituida por un número astronómico de pequeños átomos bastante poco diferentes los unos de los otros, y que se reúnen, finalmente, en un número restringido de tipos.

Todas las combinaciones posibles de estos átomos entre sí existen en la naturaleza y da *apariencias* también tan distintas como el diamante y la mina de un lápiz; substancias formadas por los mismos átomos de carbono (así como el niño puede formar con las piezas de su mecano un automóvil o un puente)".

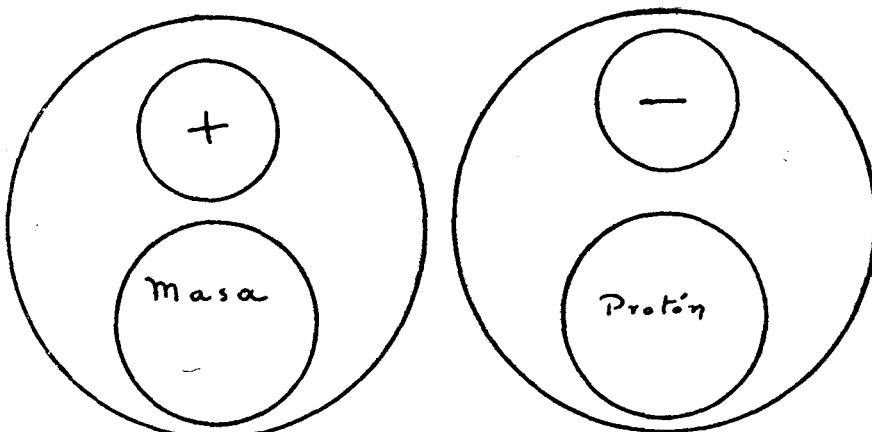


### Extractura del átomo.

Para explicar la estructura del átomo se compara con un sistema solar. El sol está representado por el núcleo del átomo. Los planetas por los electrones que rodean el núcleo. Y las órbitas planetarias por las órbitas en que circulan los electrones. El diámetro de un átomo es poco más o menos un diez millonésimo de milímetro.

¿Qué es un electrón? Un electrón es una entidad o unidad de electricidad negativa, o sea un *quantum* negativo. Supongamos una playa en la cual haya granos de arena negros y blancos. Imaginemos que la playa —conjunto de granos de arena— equivale a la electricidad y que los granos de arena (menor cantidad de arena que existe independientemente) son las unidades de electricidad: los negros, las unidades negativas, y los blancos, las unidades positivas. Estas unidades reciben el nombre de *quantum*. De modo que un electrón será un *quantum* de electricidad negativa. Y el *quantum* positivo será el positón.

*Constitución del núcleo.*—El núcleo está compuesto por dos entidades distintas: *protones* y *neutrones*. Un protón consta de una unidad de masa y de un positón. Luégo, el protón pesará uno y tendrá una carga eléctrica positiva. El neutrón no es más que el resultado de la neutralización de un protón por un electrón. El neutrón tendrá un peso de uno y cero cargas eléctricas.

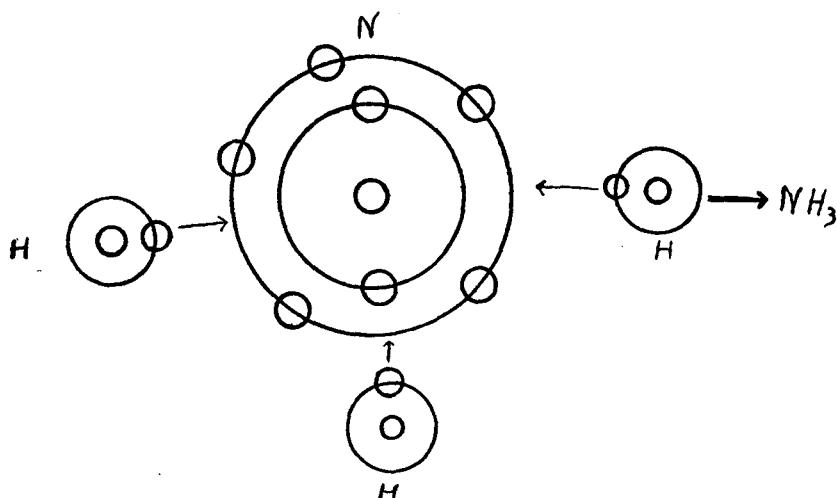


Se acostumbra llamar, también, neutrón a la unidad de masa, que posee el protón, por ser eléctricamente neutra; pero con el fin de evitar confusiones le llamo simplemente unidad de masa.

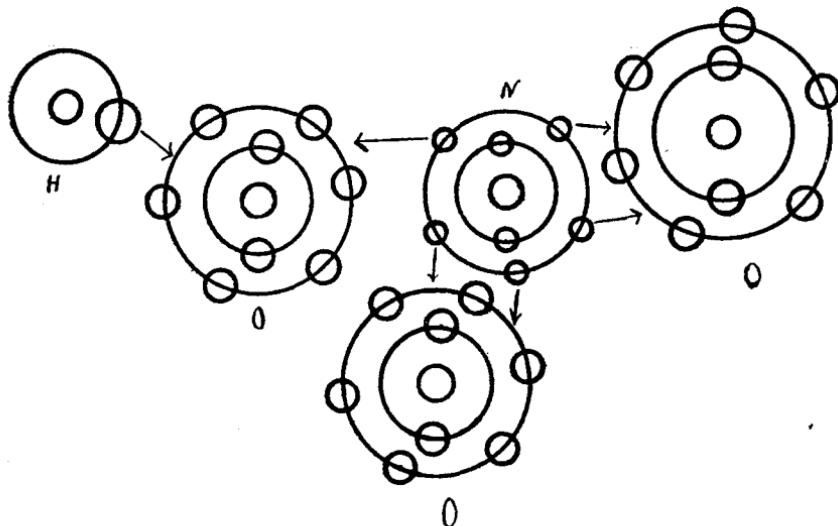
Ahora bien. En un átomo las cargas eléctricas del núcleo, dadas por los protones, están neutralizadas por los electrones periféricos. Por ejemplo: el Nitrógeno tiene dos órbitas, la interior posee dos electrones y la exterior, cinco. Total, siete electrones, o sea siete cargas negativas periféricas.

Estas siete cargas negativas son neutralizadas, en el átomo de Nitrógeno, por siete cargas positivas del núcleo.

Mas, sucede que los átomos son activos químicamente cuando tienen en la órbita exterior menos de ocho electrones. Y cuando, por regla general, hay más de cuatro tienden a completar los ocho. Si hay menos de cuatro, a perderlos para quedar con la penúltima capa. Hay excepciones que confirman la anterior regla, como el Nitrógeno. Este tiene cinco electrones en la última capa, y puede tanto completar los ocho como perder los cinco. Cuando trata de completar los ocho se comporta con tres valencias negativas, y en el caso de perder los cinco, con cinco valencias positivas. Como ejemplo del primer caso está la unión del Nitrógeno con el Hidrógeno:



Formándose una molécula de amoníaco.  
Como ejemplo del otro caso tenemos:



Se obtiene ácido nítrico.

Se puede, así, dar como definición de valencia la capacidad que tiene un elemento, en estado atómico, de ganar o perder electrones. Cuando gana, tendrá valencias negativas, como ejemplo está la unión del Nitrógeno con el Hidrógeno (el Nitrógeno tiene tres valencias negativas). Cuando pierde, tendrá valencias positivas, como ejemplo está el Nitrógeno constitutivo del ácido nítrico.

## *II.—Las óxido-reducciones en Químicas Mineral y Orgánica.*

Todo el anterior paréntesis tiene como fin la comprensión de qué es una oxidación y qué una reducción. Cuando el Nitrógeno gana tres electrones se reduce. Y cuando pierde cinco, se oxida.

**Pongamos otros ejemplos:**

- 1)  $\text{Fe}^{+++} + \text{e} \rightarrow \text{Fe}^{++}$   
 2)  $\text{Fe}^{++} + 2\text{e} \rightarrow \text{Fe}$   
 3)  $\text{Fe}^{++} - \text{e} \rightarrow \text{Fe}^{+++} + \text{e}$        $\text{e} = \text{electrón}$

Aplicando tenemos:

- 1)  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow 2\text{FeO} + \text{O}$
  - 2)  $\text{FeO} \rightarrow \text{Fe} + \text{O}$
  - 3)  $2\text{KMnO}_4 + 10\text{FeSO}_4 + 8\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + 5\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 8\text{H}_2\text{O}$   
 $2\text{Mn}^{7+} + 10\text{Fe}^{++} \rightarrow 2\text{Mn}^{++} + 10\text{Fe}^{+++}$   
 $\quad \quad \quad \boxed{-10e}$

En los números (1) y (2) hay reducción del hierro. En el (3) hay oxidación — pierde un electrón — o sea que queda con una nueva carga positiva del núcleo sin neutralizar (resulta con tres valencias positivas).

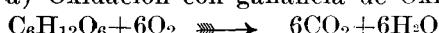
Observamos, también, que a la vez que un elemento se oxida otro se reduce, y vice-versa. Lo cual sucede siempre en la naturaleza (de lo contrario qué se harían los electrones periféricos?).

Es por ello que no se puede desligar el concepto de oxidación del de reducción.

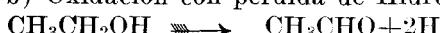
Antes de seguir adelante, observemos que en la Química Orgánica la oxidación se puede verificar de dos maneras: a) ganando Oxígeno o b) perdiendo Hidrógeno. Es claro que al ganar Oxígeno, éste para poder combinarse necesita ser activo químicamente, lo cual sucede al adquirir dos electrones; electrones que le son cedidos por la substancia orgánica que se oxida. El Oxígeno se reduce al tomar los dos electrones, mientras que, como dijimos, la substancia orgánica se oxida. En el caso de que se oxide perdiendo Hidrógeno vemos que la substancia orgánica le cede a él el electrón que tomó al unirse: el Hidrógeno se reduce y la substancia orgánica se oxida.

Ejemplos:

a) Oxidación con ganancia de Oxígeno:



b) Oxidación con pérdida de Hidrógeno:



En a) hay la oxidación de la glucosa por el Oxígeno, con producción de anhídrido carbónico y agua.

En b) la oxidación del alcohol etílico por pérdida de Hidrógeno, con transformación de aquel en acetaldehido.

En cuanto a las reducciones en las substancias orgánicas, existe una diferencia con las minerales; y es que, además, de la ganancia de electrones, se verifica una hidrogenación. No existiendo la recíproca, con relación a las oxidaciones, de la oxigenación, o sea la desoxigenación. Sabemos que el Hidrógeno para combinarse con la substancia orgánica reducida necesita perder un electrón por átomo. Al ganar ese electrón la substancia orgánica se reduce.

Ejemplos:



Acetaldehido más dos Hidrógenos produce una molécula de alcohol etílico.

No se ha logrado, aún, saber ni de dónde salen los electrones de una substancia orgánica en caso de oxidación ni adónde van en el

caso de una reducción. Lo único que podemos notar es que, generalmente, cuando hay una oxidación por pérdida de Hidrógeno, el Hidrógeno de los grupos OH se une directamente al carbono. y que cuando hay reducción quedará unido al carbono por medio de un Oxígeno, formando un oxhidrilo.

### *III.—Las óxido-reducciones en Química Biológica.*

En Química Biológica se hallan los dos tipos de óxido-reducción, mineral y orgánica, ya que el fenómeno característico de las óxido-reducciones en los seres vivos es el respiratorio, y en él intervienen substancias minerales y orgánicas.

Al estudiar la respiración tendremos oportunidad de analizarlas.

### *IV.—El concepto de rH.*

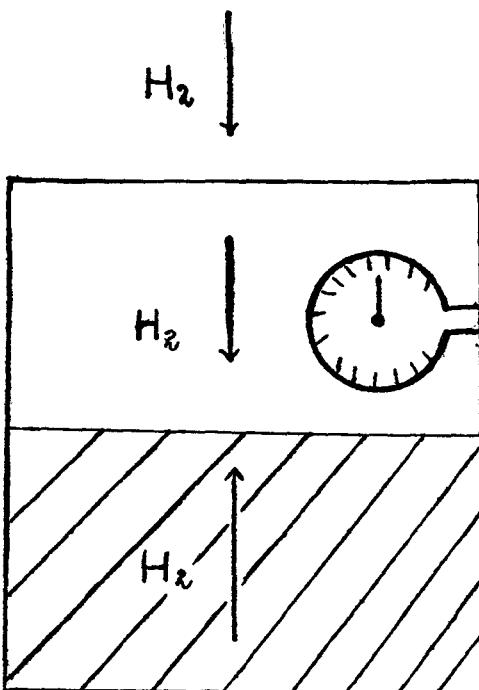
Como vimos, en una óxido-reducción orgánica interviene el Hidrógeno.

Una substancia tendrá mayor poder reductor mientras más Hidrógeno molecular disuelto tenga. Y será más oxidante cuanto menos Hidrógeno molecular posea, al paso que contenga más elementos capaces de ganar electrones.

Y es en ello en lo cual se ha basado Clark para medir la actividad oxidante o reductora de una substancia orgánica. Así como Soerensen se sirvió de la concentración en iones de Hidrógeno para determinar la acidez verdadera o pH.

El Hidrógeno molecular disuelto, en una substancia, está en equilibrio con el Hidrógeno gaseoso, debido al fenómeno osmótico relativo a la tensión superficial del líquido.

Si queremos saber de una manera indirecta cuánto Hidrógeno molecular hay disuelto en una substancia, podemos ponderarlo por la presión (P) del Hidrógeno gaseoso que lo equilibra. Esta presión se puede valorar por medio de un manómetro provisto de una membrana de Platino, semipermeable, ya que ella deja pasar sólo el Hidrógeno. Sería necesario acondicionar la substancia problema en un recipiente especial del cual he hecho el siguiente esquema:



La superficie del líquido hace las veces de una membrana permeable. Permeabilidad que depende de la tensión superficial (la cual es función, entre otras cosas, de la temperatura y presión atmosférica del medio).

El Hidrógeno que ha penetrado por la membrana de Platino, que tapa el recipiente, se va a equilibrar, debido a ésto, con el Hidrógeno molecular disuelto en el líquido problema. Y el manómetro provisto de una membrana de Platino, también, marcará la presión de ese Hidrógeno gaseoso.

De modo que no hay que confundir la presión ésta con la del Hidrógeno exterior al recipiente: son distintas. El resultado que se obtiene es en unidades pequeñísimas, como, por ejemplo, diez a la potencia menos veintisiete con seis.

Para evitar que el manejo con cantidades tan pequeñas cause confusiones, como es de suponer, Clark creó el nuevo concepto de rH. "El rH de una solución es el logaritmo decimal, cambiado de signo, de la presión (P) en atmósferas del Hidrógeno gaseoso en equilibrio con el Hidrógeno molecular disuelto".

Concepción parecida a la del pH, de Soerensen, el cual es el logaritmo decimal, cambiado de signo, de la concentración en iones

de Hidrógeno de una substancia dada. O sea, el logaritmo decimal de la dilución de la misma.

De la definición de rH concluimos que si el rH aumenta la cantidad de Hidrógeno molecular disuelto disminuirá. Es parecido a lo que sucede con el pH: cuando éste aumenta los iones de Hidrógeno disminuyen en concentración.

Clark concibió el rH para un mejor manejo de los números. Y el método eléctrico para facilitar su medida.

*Método eléctrico.*—Se necesita una pila provista con un electrodo normal de Hidrógeno y otro de Platino pulido.

El electrodo de Hidrógeno se hace cogiendo un hilo de Platino hecho poroso en la superficie, por depósito de negro de Platino, colocado en Hidrógeno a una atmósfera de presión. La punta de dicho hilo hará saliente del recipiente, y estará sumergida en un líquido de acidez igual a uno.

El electrodo de Platino pulido está metido en la solución problema.

La conexión eléctrica entre los dos electrodos se hace por medio de un sifón que contenga cloruro potásico, para evitar la mezcla de las substancias polares.

La diferencia de potencial entre los polos de la pila es igual a:

$$V - V' = \frac{RT}{F} \log_{10} \frac{[H]}{V'P}$$

$$V - V' = 0,058 \log_{10} \frac{[H]}{V'P}$$

$$V - V' = 0,058 \log_{10} [H] - 0,058 \log_{10} V'P$$

$$V - V' = 0,058 \log_{10} [H] - 0,029 \log_{10} P$$

$$V - V' = -0,058 \text{ pH} + 0,029 \text{ rH}$$

$$rH = \frac{(V - V') + 0,058 \text{ pH}}{0,029}$$

F=96.500 Coulombios.

R=constante de los gases perfectos.

T=Temperatura absoluta.

V=Potencial del electrodo de H.

V'= " " " " Platino.

—Log.<sub>10</sub> [H] = pH

—Log.<sub>10</sub> P = rH

Pongamos un ejemplo: hallemos el rH de agua pura con pH cero, siendo V—V' igual a 0,8 voltios.

$$rH = \frac{0,8 + 0,058}{0,029} = 27,6$$

Luégo, P será igual a  $\frac{1}{10^{27,6}}$

Lo cual equivale a un poder reductor casi nulo.

La substancia tendrá tanto más poder de oxidante cuanto más positivo sea  $rH$ . Y será tanto más reductora cuanto más negativo sea  $rH$ .

*Método colorimétrico.*—El rH se puede medir, también, por este método. Con tal fin se ponen indicadores en contacto con soluciones de rH conocidos.

*rH* que corresponden a *medios-virajes* en un medio líquido de pH igual a siete:

Hay que tener presente que estos indicadores, coloreados por óxido-reductores, se conservan mal en soluciones y deben guardarse en frascos oscuros y bien tapados para evitar su descomposición.

## V.—*Tampones en óxido-reducción.*

Cuando una substancia reductora se mezcla con otra el rH de ésta aumentará, tratando de neutralizar la acción reductora de aquella: efecto tampón.

Existe un coeficiente tampón de óxido-reducción igual a:  $\frac{\Delta Q}{\nabla rR}$

En el cual  $\Delta Q$  equivale a las valencias gramos de Hidrógeno del cuerpo reductor, por litro de solución. Y  $\Delta rH$ , a la variación del  $rH$ . Mientras menor sea la relación mayor tamponado será el medio.

#### *VI.—Importancia biológica del $rH$ .*

Biológicamente, es necesario saber cuáles son los  $rH$  del protoplasma o materia viva y del medio exterior. Pero el acceso al medio interior es difícil. De ahí que se desconozca su  $rH$ , y sólo sea posible, hoy por hoy, el estudio de los mecanismos de óxido-reducción verificados en él.

A propósito de lo dicho sobre el medio interior, el doctor Alfonso Esguerra Gómez, Profesor de Fisiología, opina que debía utilizarse los cultivos de tejidos para la medición del  $rH$  interior. Idea que es magnífica. Ojalá que se tenga en cuenta.

El medio interior debe tener  $rH$  específicos, lo mismo que  $pH$ . Lo mismo pasa con el medio exterior. Siendo necesario conocer los valores óptimos y mínimos para ellos.

“Las células estrictamente anaeróbicas exigen un  $rH$  débil, inferior a 12 (para un  $pH$  vecino a siete), lo cual corresponde a potenciales negativos; las células únicamente aeróbicas, al contrario, viven con presiones de Hidrógeno extraordinariamente débiles, o sea con  $rH$  entre 12 y 25, obteniéndose, entonces, salvo grandes  $pH$ , tensiones eléctricas positivas con relación al electrodo normal de Hidrógeno. Sin embargo, la vida de ciertas células se acomoda a variaciones grandes de  $rH$ ; pero, en estos casos, las funciones celulares también varían”.

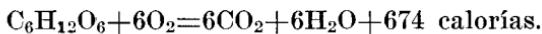
El  $rH$  de las células aeróbicas debe ser bajo si el del medio exterior es alto, lo cual vamos a deducir al estudiar la respiración animal.

#### *VII.—Las óxido-reducciones respiratorias.*

La respiración es el fenómeno óxido-reductor de los seres vivos, cuyo tipo químico es mixto.

El fin de la respiración es producir el calor o energía necesarios para la vida.

Es erróneo suponer que el proceso respiratorio es tan sencillo como la igualdad química:



Son necesarios varios estados intermediarios para llegar, a partir de un glucídico, por ejemplo, a la obtención de calor, anhídrido carbónico y agua. Fenómeno característico de la respiración.

Primeramente, tenemos que el Oxígeno necesita de un vehículo que lo transporte (cuando se trata de seres pluricelulares, en general) hasta el nivel de las células. Ese vehículo es la hemoglobina, en los animales, y la clorofila, en las plantas.

Llegado el Oxígeno a nivel de las células no pasa a oxidar directamente las substancias protoplásmicas, necesita de un fermento y de un cofermento oxidativos. El cofermento toma el Oxígeno, y, en presencia del fermento, oxida el Hidrógeno que le llevan las codeshidrasas. Las deshidrasas son los fermentos que hacen deshidrogenar las substancias orgánicas protoplásmicas. El calor o energía se producen cuando el Hidrógeno reduce la co-oxidasa, con formación de agua.

Veamos cuáles son los sistemas fermentativos respiratorios:

1º Sistema oxidásico.

2º Sistema deshidrástico.

El primero está compuesto por dos: oxidasa y co-oxidasa. El otro por dos, también: deshidrasa y codeshidrasa.

La oxidasa de los animales es el indofenol.

Las co-oxidadas son las siguientes: 1) sistema del hierro, el cual comprende el citocromo y el citocromo oxidado; 2) del tipo flavina, como el pigmento amarillo; 3) peroxidasa, existente en los vegetales; 4) fenolasas, existente en la hemoglobina y que cataliza la oxidación de los polifenoles por el agua oxigenada; y 5) nitratas, representadas en el sistema nitrato-nitrito de los vegetales inferiores.

Entre las deshidrasas tenemos: a) grupo hidrocarbonado, que comprende la succino deshidrasa, la deshidrasa del ácido láctico, la de la fermentación cítrica y la santinolida; b) grupo alcohol, compuesto por las del alcohol etílico y ácido láctico; c) grupo aldehido hidratado, que comprende la del aldehido y la de los ceto-aldehídos; d) grupo carboxílico, en el cual están la deshidrasa fórmica, la deshidrasa cítrica y la carboxílica.

Las codeshidrasas comprenden: 1) difenoles y quinomas correspondientes, como la catecoloxidasa de los vegetales, los p. mono fenoles (como la tirosinasa y la creosolasa) y la adrenalina; 2) glutatión; 3) aneurina (vitamina B<sub>1</sub>); 4) ácido ascórbico (vitamina C); 5) fermento amarillo de Warburg (flavina proteído); 6) cofermentos nicotínicos de Warburg-Von Euler.

Refiriéndonos particularmente al citocromo, sepamos que éste se encuentra en: 1) músculos y otros tejidos de los vertebrados, 2) ciertas bacterias aerobias, 3) ciertas levaduras, 4) cebolla, 5) algunos artrópodos, 6) algunos moluscos, 7) algunos crustáceos, 8) músculos de las alas de las abejas, etc.

Los cofermentos, también, se llaman *aceptadores* o *transportadores* por aceptar o transportar el Oxígeno, las co-oxidasas, y el Hidrógeno, los codeshidrasas.

### *La respiración animal.*

Trataremos, aquí, de las óxido-reducciones verificadas en la respiración de los animales superiores, tomando como tipo la humana.

Gracias a la regulación de la ventilación pulmonar, el individuo puede hacer penetrar a los pulmones un volumen de aire capaz de satisfacer sus necesidades de Oxígeno y eliminar el anhídrido carbónico producido.

El epitelio pulmonar sirve de membrana permeable, permitiendo el fenómeno osmótico que se verifica al pasar gases a través de él. Paso que se debe a la diferencia de tensión entre los gases alveolares y los de la sangre venosa sinusoidal.

El Oxígeno alveolar, que es el catorce por ciento del contenido gaseoso alveolar, tiene una presión de ciento seis milímetros de mercurio. Mientras que el Oxígeno de la sangre venosa tiene una presión de treinta acuarenta milímetros de mercurio. La mayor presión del Oxígeno alveolar le permite pasar, osmóticamente, a través del epitelio hasta los sinusoides venosos, oxidando la hemoglobina. La cantidad de Oxígeno que transporta la sangre arterial es igual a diez y ocho y medio centímetros cúbicos por ciento. La sangre venosa tiene, en reposo, quince centímetros cúbicos por ciento; y en el caso de un ejercicio violento pierde tres y medio por ciento.

*Cómo actúa la hemoglobina.* — Sabemos que la hemoglobina constituye las nueve décimas partes de un hematíe. Ya que la otra décima está representada por el estroma o globulina de Denys, que es una materia albuminoidea, blanca y translúcida.

La cantidad total de hemoglobina en la sangre es igual a un kilogramo o sea quince gramos por ciento.

La hemoglobina es un prótido compuesto, formado por *hem* y globina. La *hem* es un pigmento constituido por una protoporfirina y hierro en estado ferroso:



La *hem* es el cuatro por ciento de la hemoglobina, y la globina el noventa y seis por ciento. La cantidad de hierro que contiene la hemoglobina es de tres gramos en total, o sea trescientos treinta y seis miligramos por ciento.

Lo contrario de lo que se acostumbra enseñar en cátedras y de lo que se creen algunos hombres de ciencia, la combinación de la

hemoglobina con el Oxígeno no tiene como efecto la oxidación del hierro ferroso. Si fuera así, esa combinación sería muy firme y no lábil, como en realidad es dicha unión.

Cuando el hierro de la hemoglobina es oxidado se obtiene la metahemoglobina, en la cual el Oxígeno no puede separarse por la acción de una simple diferencia de presiones gaseosas, como en el caso de la oxihemoglobina. La existencia de la metahemoglobina puede deberse a envenenamientos por drogas, como nitritos, cloratos, sulfatos, acetanilina, compuestos nitrobencénicos, etc. Entonces, la sangre se vuelve de color oscuro. Hay cianosis tóxica. Además, tanto el ferrocianuro potásico (método de Haldane) como el azul de metileno (en el tratamiento del envenenamiento por cianuro) producen metahemoglobina.

En resumen, si la hemoglobina oxida su hierro hay intoxicación. Lo cual es incompatible con la vida. Luégo, es inaceptable el concepto antiguo de que el hierro ferroso de la hemoglobina pasa a férrico durante la hematosis.

Best y Taylor, en su obra titulada "Bases Fisiológicas de la Práctica Médica", explican como sigue la formación de oxihemoglobina:

"Cuando la presión del Oxígeno en la atmósfera que está en contacto con la hemoglobina aumenta, la hemoglobina toma una cantidad mayor de Oxígeno, pero no se forma un *verdadero óxido*, sino que el hierro permanece al estado ferroso: la globina comunica al pigmento, hem, la propiedad única de formar una combinación lábil con el Oxígeno y esta propiedad se pierde solamente cuando se modifican los prótidos de la hemoglobina. A la hemoglobina oxigenada (no oxidada) se le conoce con el nombre de oxihemoglobina. El término hemoglobina reducida, o simplemente hemoglobina, significa que el pigmento ha liberado una proporción del Oxígeno que tiene almacenado":



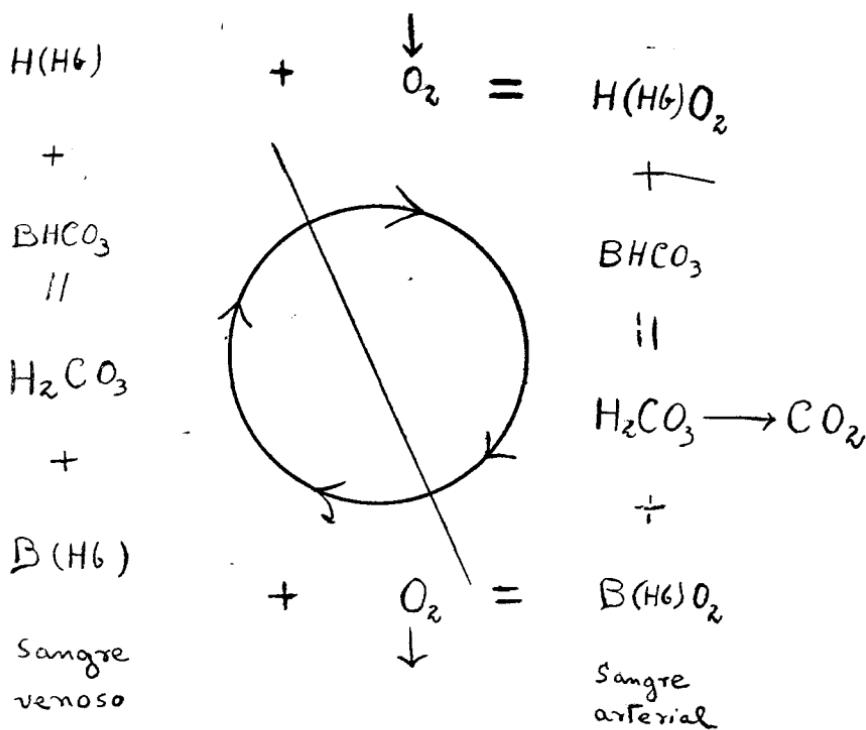
Un gramo de hemoglobina es capaz de absorber uno con treinta y cuatro centímetros cúbicos de Oxígeno. La capacidad de Oxígeno de cien centímetros cúbicos de sangre humana normal es de veinte centímetros cúbicos ( $15 \times 1,34$ ).

En el caso de la hemoglobina hago las siguientes observaciones personales. Es un error decir que no hay oxidación (Best y Taylor) porque no haya oxidación del hierro en estado ferroso. El Oxígeno al formar un compuesto lábil con la hem se reduce, y la protoporfirina de ésta se oxida. Desgraciadamente no se puede, hasta ahora, precisar de qué parte de la molécula de la protoporfirina salen los electrones que reducen el Oxígeno, como substancia orgá-

nica que es. Pero, de todos modos, el Oxígeno es reducido, ya que éste no puede ser activo químicamente, para combinarse con la hem, si no gana dos electrones que le hacen falta en la última capa para completar los ocho. Y si el Oxígeno se reduce de dónde más le provendrán los electrones sino de la substancia con la cual se combina? Digo que, particularmente es de la protoporfirina, ya que del hierro —como vimos— es imposible. Luégo, concluimos que si hay oxidación de la hemoglobina.

Como todo fenómeno óxido-reductor, en el mencionado hay oxidación y reducción.

La hemoglobina oxidada y oxigenada, a la vez, se reduce cuando el Oxígeno se desprende, al nivel celular, para pasar al citocromo —como veremos—: el Oxígeno le cede a la protoporfirina los electrones que ella le había cedido.

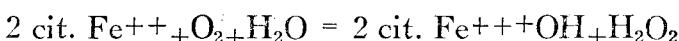


Ciclo respiratorio de la hemoglobina, de acuerdo con Henderson.

*Actuación del citocromo.*—Se debe a Keilin (teoría de la doble activación de Keilin) el conocimiento de la función respiratoria del citocromo.

El citocromo es lo que se llama un *aceptador* del Oxígeno llevado por la hem hemoglobínica. Su origen es celular, como el de toda enzima.

El citocromo es un *hemocromógeno*, o sea el resultado de la unión de una materia nitrogenada con la hem. Tiene fundamentalmente la misma estructura de la hem hemoglobínica. Fisiológicamente, se diferencia de ésta en que la substancia nitrogenada que posee hace posible la combinación entre el hierro divalente y el Oxígeno, pasando aquel al estado férrico —trivalente—, en presencia de la indofenol oxidasa, e interviniendo en la reacción una molécula de agua, así:



Tanto el citocromo como el Hidrógeno se oxidan. Mientras que el Oxígeno se reduce. Resulta el oxi-citocromo, que debería llamarse hidroxi-citocromo, atendiendo a su estructura química. Este oxi-citocromo recibe el Hidrógeno llevado por los aceptadores de Hidrógeno o codeshidrasas, y resulta:



Quedando, nuevamente, reducido, en estado de citocromo.

*Actuación de la indofenol-oxidasa.*—Aplicando el antiguo concepto de catalizador, se dice que es sólo la presencia de ésta la que determina la oxidación del citocromo. Hecho que estaría de acuerdo con la explicación siguiente de lo que es un catalizador: supongamos dos personas enemistadas y que vuelven a ser amigas con la sola presencia de un tercero (catalizador), que tenga un poder tal para lograrlo.

En teoría, esto es muy bonito; mas, en la realidad veremos que bioquímicamente es inaceptable tal suposición.

He pensado que el cofermento oxidásico es activado por las emanaciones electrónicas del fermento o indofenol oxidasa. Siendo, primero, reducido el cofermento, al recibir los electrones enviados por la indofenol, quien, a su turno, los recibe de las células. Los electrones irán a la substancia nitrogenada de la hem citocrómica, activándola. Es de este modo como dicha substancia permitirá que el hierro divalente del citoeromo sea oxidado.

Los electrones pasan de la substancia nitrogenada citocrómica a la porfirina de la hem. Momento en el cual el Oxígeno va a oxidar el hierro de ésta: cuando la protoporfirina se reduce el hierro se oxida. Y cuando el Hidrógeno llevado por las codeshidrasas reduce el hierro, la protoporfirina se oxida, perdiendo los electrones que había recibido.



El ciclo electrónico que recorren célula, fermento y cofermento es perfecto, como vemos.

Podríamos llamar a esta teoría, que es mía, *teoría de la triple óxido-reducción citocromática*: hay óxido-reducciones en la substancia nitrogenada, en la protoporfirina y en el hierro citocromáticos.

Sería un error llamar oxi-citocromo al confermento oxidásico en el momento que su hierro es férrico, puesto que la protoporfirina ha ganado, en ese momento, los electrones cedidos por la substancia nitrogenada. Podría considerarse el citocromo en estado óxido-reducido, en tal instante, y llamarse *citocromo óxido-reducido I*. Cuando el hierro se reduce la protoporfirina se oxida; luégo, el citocromo en tal estado debería llamarse, en lugar de citocromo *reducido*, *citocromo óxido-reducido II*, para diferenciarlo del primero. Después, cuando gana electrones la substancia nitrogenada, debería llamarse *citocromo reducido*. Y sería citocromo, sólo, mientras se conserva íntegro, o sea en el tiempo transcurrido entre después de ser citocromo óxido-reducido II y antes de ser citocromo reducido.

*Actuación de la deshidrasa*.—Las substancias orgánicas protoplásmicas se oxidan, siempre, por pérdida de Hidrógeno. Este Hidrógeno lo pierden por la acción de las deshidrasas.

Las deshidrasas son fermentos que actúan debido a que son activadas por las emanaciones electrónicas celulares (teoría mía), lo mismo que las oxidases.

Para mí estos fermentos deshidráticos envían los electrones recibidos a las substancias orgánicas protoplásmicas (glúcidos, lípidos y catabolitas), las cuales se reducen, así, para oxidarse deshidrogenándose.

Sabemos que el Hidrógeno va a reducir el hierro citocromático.

En el caso de la deshidrasa no hay ciclo electrónico como en la oxidasa. Lo cual descompensa las pérdidas electrónicas celulares, pero ello no es desfavorable a mis explicaciones, nuevas, sobre la activación fermentativa respiratoria por los electrones. Por el contrario, lo comprueba, ya que las observaciones recientes han evidenciado una emisión electrónica celular en la masa cerebral durante las funciones intelectuales (explicación del halo de los santos). Por qué razón no puede ser posible que la vida, en general, o las funciones que la caracterizan tengan dicho fundamento?

Un ejemplo lo tenemos en la fermentación láctica *in vivo*, que sólo se verifica durante la contracción muscular. ¿Cómo se explicaría la activación del fosfágeno para que pueda ceder el ácido fosfórico, que deposita, al ácido adenil-pirofosfórico desfosforado, si no fuera porque las emanaciones electrónicas de las células musculares, producidas al contraerse el músculo, activaran dicho fermento?

Y sólo cito estos ejemplos porque se relacionan con la respiración, pero toda la Fisiología está nutrida de ellos. Sino fuera por las emanaciones electrónicas celulares no habría vida.

Veamos, ahora, cómo se verifica la deshidrogenación de los glúcidos y lípidos, su catabolismo.

*Deshidrogenación de los glúcidos.*—El catabolismo de los glúcidos puede verificarse de dos maneras, fermentándose (en la fermentación láctica) o deshidrogenándose *directamente* en la respiración. Digo directamente porque después de la fermentación láctica las catabolitas resultantes (ácido succínico y fórmico) se deshidrogenan, así como el ácido láctico, al dar dichas catabolitas se deshidrogena, también.

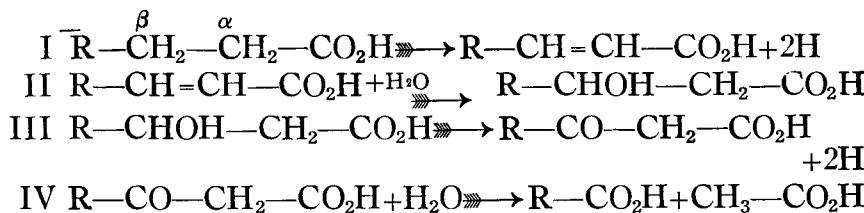
Estudiaremos la deshidrogenación directa de la glucosa, que es lo que se enseña como oxigenación respiratoria. Error grandísimo, que se comete al no tener en cuenta que el Oxígeno nunca oxida directamente las substancias protoplásmicas. Repito que la oxidación de estas sólo sucede por pérdida de Hidrógeno (para mayores detalles estúdiense los trabajos de E. J. Bigwood, de Wieland, Thunberg y demás).

El principal esquema, dado por Bigwood, de la deshidrogenación respiratoria o catabolismo respiratorio de los glúcidos es el que narro a continuación. Hubiera deseado hacer un cuadro demostrativo, pero sería complicado para una persona no muy versada en cuestiones de Química Biológica.

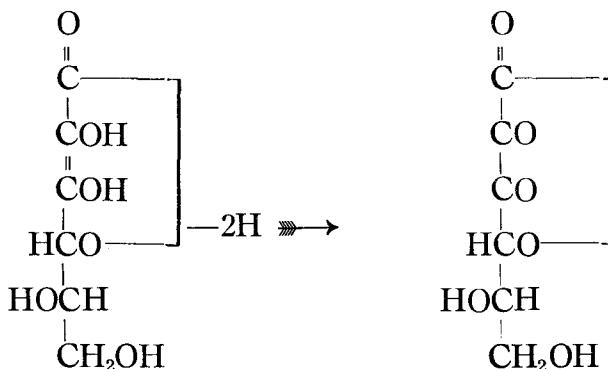
La glucosa, después de ser activada por los electrones deshidrásicos, gana una molécula de agua y pierde dos Hidrógenos. II. Se convierte en ácido glucónico. El cual sufre un clivaje, por la mitad de su molécula, pasando el Hidrógeno del oxhidrilo del cuarto Carbono al tercero. III. Resultan: aldehido glicérico y el ácido glicérico, quien perderá una molécula de agua. IV. El aldehido glicérico pasa a metilgioxal, el cual perderá dos Hidrógenos. Y el ácido glicérico, a ácido pirúvico, quien perderá anhídrido carbónico. V. La deshidrogenación del metil-gioxal conduce a la formación de ácido pirúvico, el cual perderá anhídrido carbónico y ganará una molécula de agua. Y el ácido pirúvico de IV menos anhídrido carbónico dará aldehido acético. VI. Este aldehido acético más la molécula de agua proveniente del ácido glicérico producirá acetaldehido hidratado. Así como el ácido pirúvico de V menos el anhídrido carbónico más la molécula de agua dará acetaldehido hi-

dratado. VII. Ambos acetaldehidos hidratados pierden dos Hidrógenos, produciendo ácido acético. VIII. Las dos moléculas de ácido acético se unen, perdiendo dos Hidrógenos, para dar ácido succínico. IX. Este pierde, a su turno, dos Hidrógenos, para pasar a ácido fumárico. X. Al ganar una molécula de agua el ácido fumárico da ácido l. málico. XI. Quien pierde dos Hidrógenos pasando al estado de ácido oxalacético. XII. Este al perder anhídrido carbónico se convierte en ácido pirúvico. XIII. El ácido pirúvico pasa a acetaldehido, perdiendo anhídrido carbónico. XIV. El acetaldehido gana una molécula de agua y pierde dos Hidrógenos, produciendo ácido acético. Este se unirá con otra molécula suya para producir, deshidrogenándose, ácido succínico, quien seguirá las transformaciones descritas a partir de VIII.

*Deshidrogenación de los lípidos.* — Berend estudió, *in vivo*, la oxidación o deshidrogenación de los ácidos grasos, que sucede de acuerdo con el mecanismo de la beta oxidación de Knoop-Thunberg, así:



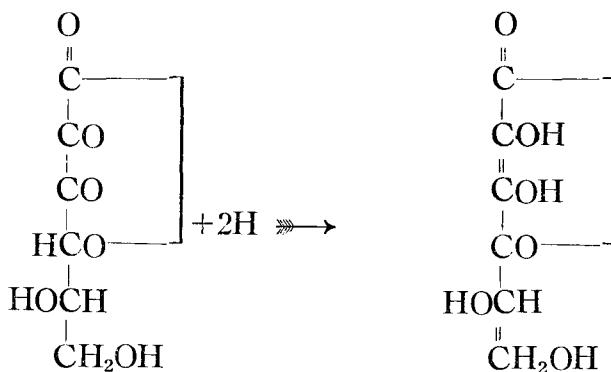
*Actuación de las codeshidrasas.* — 1) Sólo se conoce, *in vivo*, las verdaderas reacciones por las cuales la vitamina C interviene como aceptadora de Hidrógeno, y como reductora del hierro citocrómico.



Ácido l. ascórbico

Ac. deshidrascórbico.

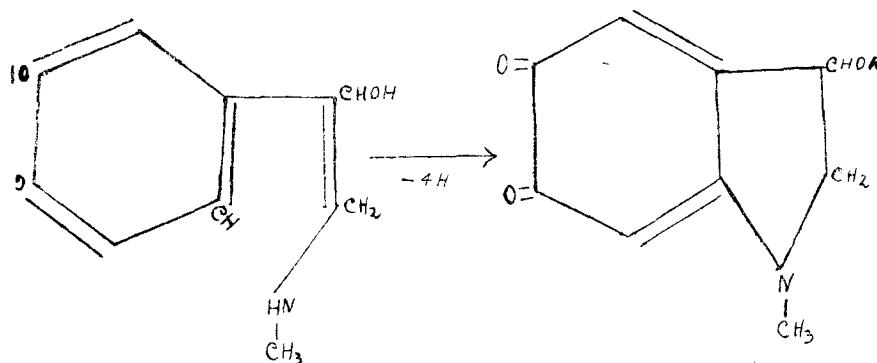
Esta es la reacción característica de la pérdida del Hidrógeno, aceptado por la vitamina C, al reducir el hierro citocrómico. La reacción que se verifica al recibir el Hidrógeno será:



A pesar de ello, no se ha logrado determinar cual es su deshidrata.

Además, la vitamina C es un gran tampón, reductor, de las células.

2) Green supone que la reacción por medio de la cual la adrenalina pierde el Hidrógeno, cedido a ella por las substancias protoplásmicas es:



No me sigo refiriendo a las reacciones químicas de las codeshidrasas porque el resto no está precisado todavía. Se conoce el hecho, el transporte de Hidrógeno, mas no se conoce bien el mecanismo químico de dicho fenómeno —se discuten las reacciones—. Si alguien desea enterarse de las reacciones más aceptables le recomiendo los estudios de Warburg-Von Euler, Karrer, Hopkins y Lohman.

*VIII.—Conclusiones.*

1<sup>a</sup>). La respiración es un fenómeno caracterizado por óxido-reducciones, y no por oxidaciones solamente, como se acostumbra decir.

2<sup>a</sup>). Las óxido-reducciones en los seres vivos suceden sólo en la respiración.

3<sup>a</sup>). El calor animal se produce al reducirse el hierro del citocromo, con formación simultánea de agua.

4<sup>a</sup>). Mientras más calor se produzca más agua se formará.

5<sup>a</sup>). No debe decirse que los glúcidos, lípidos o prótidos producen tanto o cuanto calor por gramo al quemarse en el organismo; sino que el Hidrógeno, desprendido al oxidarse los glúcidos, lípidos o prótidos produce tantas o cuantas calorías al reducir el hierro citoerómico.

6<sup>a</sup>). Las Células que requieren un medio exterior de un rH alto deben tener un rH bajo, para poder oxidarse desprendiendo Hidrógeno. De lo contrario no podrían oxidarse, ya que la presión del Hidrógeno sería mayor en el medio exterior.

7<sup>a</sup>). Cuando una célula es anaerobia debe tener un rH alto, o sea que las substancias protoplásicas poseerán poco Hidrógeno al ser activadas por las deshidreras, siendo casi nula su intervención en la respiración.

8<sup>a</sup>). Estas células son las que participan en la contracción muscular. Proceso caracterizado por las rupturas moleculares a partir de la molécula de glucógeno, y no por las deshidrogenaciones —como en el catabolismo respiratorio.

9<sup>a</sup>). Luégo, podemos clasificar las células del organismo en células de rH alto y células de rH bajo, o sea células anaeróbicas y células aeróbicas. Siendo, todavía, mejor decir células que participan en la fermentación láctica y células que participan en la respiración.

10<sup>a</sup>). En caso de que una oxidación biológica se caracterice por la pérdida de un Hidrógeno que vaya a reducir directamente el Oxígeno, al ser transportado aquél por la codeshidrasa, el calor que se producirá será poquísimo.

11<sup>a</sup>). Esta conclusión he debido ponerla como primera, pero la coloco aquí para que no se olvide. En la respiración el Oxígeno nunca oxida las substancias protoplásicas mismas, sólo el hierro citoerómico es el oxidado.

*Aristides García Torres*

Bogotá, 1942.