

EL SEGUNDO PRINCIPIO Y LOS PROCESOS BIOLÓGICOS

Joaquín González Álvarez

Resumen

Se realiza una breve exposición de los fundamentos químicos y físico matemáticos del desarrollo de los procesos biológicos.

Abstract

A brief exposition is shown about the chemical, physical and mathematical fundaments of biological proceedings.

Introducción

El Segundo Principio de la Termodinámica es uno de los más importantes, sino el más, de la ciencia. De los múltiples enunciados, todos equivalentes, que del mismo se dan, vamos a utilizar en este trabajo el que expresa que en sistemas aislados la entropía sólo puede aumentar.

La entropía es una medida del desorden de modo que el enunciado que hemos escogido equivale a expresar que en los sistemas aislados el desorden tiende a aumentar.

También es preciso tener en cuenta que en los procesos espontáneos, como pueden ser las reacciones químicas espontáneas, disminuye la energía libre (procesos exoergónicos). Es necesario conocer que energía libre = energía interna - entropía x temperatura absoluta. Establecidas estas precisiones pasamos a tratar de cómo éstas subyacen en el fundamento de los procesos biológicos.

Desarrollo

En algunos procesos en sistemas abiertos como los biológicos, en los que la química está presente, tales como la síntesis de las proteínas, se producen con disminución de entropía (procesos anti-entrópicos) y endotérmicamente (endoergicamente)..

Para continuar con nuestra exposición es necesario introducir algunos conceptos. Así debemos definir los flujos generalizados J y las fuerzas generalizadas X que originan esos flujos. Aunque estos conceptos atañen a distintos procesos físicos, químicos y biológicos, para presentarlos nos referiremos sólo a los procesos químicos.

En las reacciones químicas que pueden ser las de los procesos biológicos, el flujo generalizado J es la velocidad de reacción y la fuerza generalizada X es la relación entre la afinidad química A y la temperatura absoluta T .

En un proceso bioquímico se producen los flujos J', J'', \dots debidos a la fuerzas generalizadas X', X'', \dots y la sumatoria $\sum XJ$ resulta igual a la variación de entropía con el tiempo dS/dt del sistema, magnitud que recibe el nombre de función de disipación σ .

Así que.

$$\sigma = dS/dt = \sum XJ$$

Por el Segundo Principio de la Termodinámica debe cumplirse que σ positiva y por tanto $\sum XJ$ positiva.

Pero, y esto es muy importante, lo que tiene que ser positiva es la suma total de los productos XJ . De modo que pueden haber algunos productos aislados XJ negativos y no obstante la suma total y por tanto la función de disipación σ ser positiva.

De modo que un proceso químico biológico en el cual se producen reacciones parciales antientrópicas (producto XJ negativo), al estar éstas conjugadas con reacciones de productos XJ positivos que consiguen una suma $\sum XJ = \sigma$ positiva, el proceso en su totalidad no sería antientrópico y será posible. El proceso descrito se denomina conjugación de flujos.

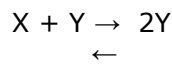
La conjugación de los flujos permite procesos bioquímicos esenciales como la síntesis de las proteínas fermentos (catalizadores biológicos) que llevan la función biológica ejecutiva mientras la función legislativa la llevan los ácidos nucleicos ADN y ARN.

Las proteínas se producen por síntesis de aminoácidos (son veinte los aminoácidos). Pero la ordenación de los aminoácidos no se produce al azar sino regulada por la información codificada (código genético) suministrada por un ácido nucleico (secuencia de cuatro nucleótidos), el ácido desoxirribonucleico ADN (los genes son trozos de la molécula de ADN) contenido en las células en los cromosomas comunicada mediante otro ácido nucleico el ácido ribonucleico mensajero mRNA en los ribosomas.

La biosíntesis de las proteínas es un proceso antientrópico o sea de ordenación que aparentemente incumple el Segundo Principio, y endotérmico (endoergónico) esto es, que necesita que se le suministre energía libre. En definitiva que aparenta ser imposible, pero se produce gracias a que está conjugado con la reacción exoergónica de descomposición (proceso entrópico) del nucleósido adenosin trifosfato el ATP que suministra la energía libre necesaria. El ATP dona la energía que acumula (carga del acumulador) en un proceso como puede ser la glicólisis, la fotosíntesis o la respiración (fosforilación oxidativa en los mitocondrios). Algunos definen la respiración como combustión lenta a nivel de las membranas, constituyendo el combustible de esa combustión, las grasas, los carbohidratos y las proteínas que ingresan en el organismo mediante los alimentos.

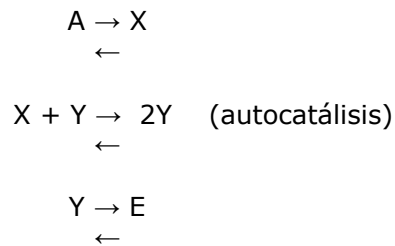
Procesos como los de conjugación de flujos que sólo se producen por acciones cooperativas en los que surgen propiedades emergentes, o sea propiedades que no presentan los elementos cooperantes aisladamente son propios de sistemas que actualmente se denominan sistemas complejos (como ejemplos los biológicos) y se estudian en la Teoría de la Complejidad. Dichos procesos en los sistemas biológicos se conocen como de sinergia. Los procesos como la glicólisis y similares que sirven de carga para el acumulador ATP, se producen en sistemas abiertos lejos del equilibrio (esto es, entropía sin alcanzar un valor máximo, no es lo mismo equilibrio que orden, éstos son términos opuestos), Otros factores los caracterizan además, tales como que son procesos no lineales, de realimentación autocatalítica y por tanto

describibles por medio de sistemas de ecuaciones diferenciales no lineales. Procesos que esquemáticamente pueden representarse así:



Donde la autocatálisis se evidencia en la presencia de la sustancia Y en ambos miembros.

Existe un modelo teórico, el de Lotka en el que se esquematizan procesos de autocatálisis análogos al de la glicolisis. En la glicolisis se obtiene ATP, carga del acumulador, pasando por su síntesis del adenosin difosfato ADP con fosfato inorgánico (fosforilación oxidativa), partiendo de la descomposición de un glúcido. En el siguiente esquema del modelo Lotka, A y E son los productos iniciales y finales, X e Y los productos intermedios.



El proceso químico anterior se traduce en el siguiente Sistema Dinámico no Lineal en el que las constantes a, b, c, d, son parámetros relacionados con las constantes de equilibrio que aparecen en la ley de acción de masas que aquí se aplica:

$$dX/dt = aX - bXY$$

$$dY/dt = cXY - dY$$

Estos sistemas de ecuaciones diferenciales por lo general no pueden resolverse analíticamente por lo que hay que recurrir a procedimientos gráficos. En esos casos se procede a bocetar el retrato fásico en un sistema de coordenadas XY, para lo cual primero se determinan las pendientes dY/dX, dividiendo la segunda ecuación entre la primera y evaluando para varios puntos que describirán la trayectoria fásica. Los puntos de la trayectoria fásica representan estados del sistema. Luego se calculan los puntos estacionarios del sistema los cuales son aquellos en que dX/dt y dY/dt se hacen cero. Así en nuestro caso se encuentran dos puntos estacionarios: (0,0) y (d/c, a//b). Habrá entonces que determinar el carácter de estabilidad o inestabilidad de esos puntos. Cuando el sistema se encuentra en estado estacionario estable, una apreciable acción sobre el mismo no lo sacará de ese estado. Por el contrario, en el caso de estado estacionario inestable, una muy pequeña acción sobre el sistema lo sacará de ese estado pudiendo darse el caso como en los sistemas biológicos por naturaleza fluctuantes,, que para un aumento de las fluctuaciones, el sistema pasará a otro estado en el que se autoorganizará necesitando aporte de energía y/o materia (constitución de estructuras disipativas) como ocurre en los procesos de evolución biológica. En ese estado permanecerá hasta que una nueva inestabilidad pueda sacarlo de él. Es por eso que en el estudio de los sistemas biológicos la mayor importancia se da a la determinación y consecución de los estados inestables. El estado en el que el sistema de nuevo se estabiliza resulta de una elección al azar, aleatoria, después de explorar otras posibilidades., proceso que se presenta en la evolución biológica y que Darwin tomó como selección natural. En cada paso evolutivo en el sistema aumenta la información.

Dado el sistema de ecuaciones diferenciales y hallados los puntos estacionarios como hemos hecho, se pasa a determinar la estabilidad o inestabilidad de los mismos lo cual vamos a llevar cabo por medio del procedimiento que consiste en determinar el jacobiano $\partial(f,g)/\partial(X,Y)$ de las funciones f(X, Y) y g(X,Y), segundos miembros del sistema de ecuaciones diferenciales

dado, para cada punto estacionario calculado, en este caso como dijimos y que son en este caso: (0,0) y (d/c,a/b). De ese jacobiano hallamos la traza τ y el determinante Δ para cada punto estacionario. Los puntos estacionarios inestables son aquellos en los cuales con Δ mayor que cero se cumpla que τ mayor que cero. Si se da el caso como el que se presenta en el modelo de Lotka que τ igual a cero y por tanto τ^2 menor que 4Δ , entonces el sistema se hace oscilatorio (variación periódica de las concentraciones de las sustancias obtenidas) con una frecuencia angular $\omega = \sqrt{\Delta}$, y como en nuestro caso $\Delta=ad$, se tendrá que $\omega = \sqrt{ad}$. En el retrato fásico en el plano XY, el proceso oscilatorio automantenido se graficará al cerrarse la trayectoria fásica en lo que se denomina un ciclo límite. En esas trayectorias cerradas el punto fásico representativo de los estados del sistema en su "movimiento" irá repitiendo los valores periódicamente.

Sistemas como éstos y como ya explicamos, llegados a la inestabilidad pasan a otro estado en el cual se autoorganizan en el espacio o, como en el modelo de Lotka, en el tiempo ejecutando oscilaciones autosostenidas.

Conclusiones

Hemos dado una panorámica del moderno tratamiento de los procesos biológicos mediante los métodos de la biofísico-química en los cuales se imbrican la Termodinámica del No Equilibrio, la Teoría de la Complejidad y la Dinámica No-lineal.

En este estadio del desarrollo de los conocimientos sobre los fenómenos biológicos, se hace evidente la necesidad de acudir cada vez con más profundidad a los métodos de las ciencias exactas debidamente aplicados al ser vivo.

Bibliografía

- Elsigoltz, L.** Ecuaciones Diferenciales y Cálculo Variacional 1969
- González, J. y R. Ávila.** La Ciencia que Emerge con el Siglo.2005
- Lehninger, A.L.** Biochemistry. 1970
- F.W. Sears.** Termodinámica.1960
- Strogatz, S.H.** Non Linear Dynamics and Chaos.2000
- Volkenshtein, M.V.** Biofísica.1985

Joaquín GONZÁLEZ ÁLVAREZ
joaquin.gonzalez@cristal.hlg.sld.cu

.
: