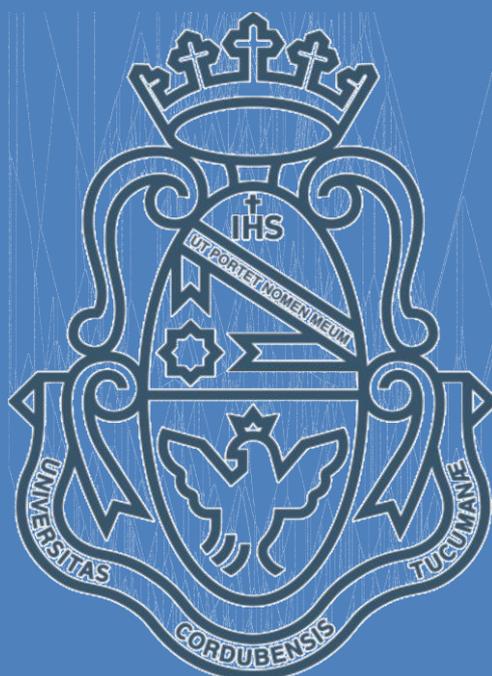


EPISTEMOLOGÍA E HISTORIA DE LA CIENCIA

SELECCIÓN DE TRABAJOS DE LAS XVI JORNADAS

VOLUMEN 12 (2006)

José Ahumada
Marzio Pantalone
Víctor Rodríguez
Editores



ÁREA LOGICO-EPISTEMOLÓGICA DE LA ESCUELA DE FILOSOFÍA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE LA FACULTAD DE FILOSOFÍA Y HUMANIDADES
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons atribución NoComercial-SinDerivadas 2.5 Argentina



Nuevo intento de reconstrucción estructuralista de la bioquímica*

Ana Donolo[†], Lucía Federico[†] y Pablo Lorenzano[‡]

Introducción

La reconstrucción estructuralista de la bioquímica es una tarea reciente por lo que el número de trabajos publicados en relación con este tema es limitado. En ese marco, el objetivo del presente trabajo es mejorar y ampliar la reconstrucción de la bioquímica realizada por Lorenzano (2002a).

A pesar de la enorme diversidad existente en el mundo de los organismos, hay una llamativa unidad en lo que respecta a las estructuras y mecanismos básicos sobre los cuales se asienta y transcurre la vida. Así como las macromoléculas fundamentales de estos organismos están construidas por el ensamble de unidades idénticas para todos los seres, los mecanismos metabólicos, por su parte, también se repiten con notable semejanza en especies filogenéticamente muy distantes (Blanco 1993). Del estudio de estas regularidades da cuenta la bioquímica, en dos grandes líneas de investigación: la bioquímica descriptiva o estática y la bioquímica dinámica. La bioquímica descriptiva se ocupa de estudiar los componentes de los seres vivos; mientras que la bioquímica dinámica se ocupa de las reacciones químicas que ocurren en todo ser vivo en cada instante, es decir, de las reacciones químicas del metabolismo.

Esta es una primera aproximación a una reconstrucción que se centra en el estudio de la bioquímica dinámica dentro del formato proporcionado por la concepción estructuralista de las teorías.¹ Se presentan los primeros pasos en ese sentido, reconstruyendo el elemento teórico básico de la bioquímica (con su núcleo teórico K –constituido por la clase de los modelos potenciales M_p , de los modelos M , de los modelos parciales M_{pp} , y del cual, por razones de espacio, dejamos de lado las condiciones de ligadura C y los vínculos interteóricos L – y su dominio de aplicaciones propuestas I), su afirmación empírica, algunas de sus especializaciones y su red teórica correspondiente, con miras a una ampliación que permitirá diferenciar las enzimas por su cinética, por la utilización de coenzimas y por su lugar de acción en la ruta metabólica, posibilitando ulteriores desarrollos.

1. El elemento teórico básico de la bioquímica

Aquí se introducen distintos componentes del núcleo teórico de la bioquímica $K(\text{Bioquímica})$ –la clase de los modelos potenciales $M_p(\text{Bioquímica})$, la clase de los modelos $M(\text{Bioquímica})$ y la clase de los modelos parciales $M_{pp}(\text{Bioquímica})$ – y se caracteriza su campo de aplicaciones propuestas $I(\text{Bioquímica})$ y su afirmación empírica.

1.1. El núcleo teórico de la bioquímica

* Este artículo fue realizado con ayuda de los proyectos de investigación PICTR2002-00219 y PICT2003-14261 de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica.

[†] Programa Prioritario de Investigación "Filosofía e Historia de la Ciencia"–UNQ

[‡] Programa Prioritario de Investigación "Filosofía e Historia de la Ciencia"–UNQ/CONICET
Epistemología e Historia de la Ciencia, Volumen 12 (2006)

1.1.1. Los modelos potenciales de la bioquímica

Se comienza la reconstrucción a partir de la caracterización de los *modelos potenciales*, constituido por estructuras que satisfacen ciertas condiciones estructurales (los axiomas impropios) para ciertos conceptos (los conceptos de la teoría), que expresan el marco conceptual de la teoría, y de las que tiene sentido preguntarse si son modelos actuales de la teoría.

Definición 1:

$M_p(\text{Bioquímica})$: $x = \langle I, O, S, \text{Enz}, \text{Coen}, T, \text{Biotrans} \rangle$ es una *bioquímica potencial*
($x = \langle I, O, S, \text{Enz}, \text{Coen}, T, \text{Biotrans} \rangle \in M_p(\text{Bioquímica})$) sii

- (1) I es un conjunto finito, no-vacío
- (2) O es un conjunto finito, no-vacío
- (3) $S := I \cup O$
- (4) Enz es un conjunto finito, $\text{Enz} \neq \emptyset$ & $\text{Enz} \subseteq O$
- (5) Coen es un conjunto finito, $\text{Coen} \neq \emptyset$ & $\text{Coen} \subseteq S$
- (6) T es un conjunto infinito, $T \neq \emptyset$ & $\{t_1, t_2\} \subseteq T$
- (7) $\text{Biotrans}(\langle s_1, s_2, t_1 \rangle) = \langle s_3, s_4, t_2 \rangle$

Axiomas de interpretación:

- (1) I representa el conjunto de sustancias químicas inorgánicas.
- (2) O representa el conjunto de sustancias químicas orgánicas.
- (3) S representa el conjunto de sustancias químicas formado por sustancias orgánicas e inorgánicas.²
- (4) Enz (enzima) representa el conjunto de las sustancias químicas orgánicas formadas por proteínas o por ácido ribonucleico (ARN).³
- (5) Coen (coenzima) representa un conjunto de sustancias químicas orgánicas e inorgánicas.⁴
- (6) T es el tiempo (susceptible de ser representado matemáticamente mediante \mathbb{R}^+), pero que incluye a t_1 y a t_2 que representan los instantes de inicio y finalización de la biotransformación.
- (7) Biotrans (biotransformación) es una función que describe las transformaciones químicas, que transcurren en el intervalo de tiempo mencionado, en organismos vivos o como resultado de su intervención. Estos tipos de reacciones se denominan transformaciones de la bioquímica.⁵

1.1.2. Los modelos de la bioquímica: su ley fundamental

El conjunto de *modelos* de la bioquímica es un subconjunto de los modelos potenciales, cuyas estructuras satisfacen, además de los axiomas impropios, la ley fundamental de la bioquímica, que denominaremos "ley del metabolismo".

Definición 2:

$M(\text{Bioquímica})$: Si $x = \langle I, O, S, \text{Enz}, \text{Coen}, T, \text{Biotrans} \rangle$ es un $M_p(\text{Bioquímica})$, entonces x es una *bioquímica* ($x \in M(\text{Bioquímica})$) sii

- (1) para todo $\langle s_1, \dots, s_4 \rangle \in S$ y para todo $\langle t_1, t_2 \rangle \in T$ tal que Biotrans esté definido para $\langle s_1, s_2, t_1 \rangle = \langle s_3, s_4, t_2 \rangle$, existe un $e \in \text{Enz}$ & un $c \in \text{Coen} \cup \{\emptyset\}$ tal que

$$\langle s_1, s_2, t_1, e, c \rangle = \langle s_3, s_4, t_2, e, c \rangle.$$

La ley fundamental de la bioquímica, la ley del metabolismo, expresa que, para cualquier transformación bioquímica de una o más sustancias químicas en otra u otras, existe una enzima específica y en ocasiones una coenzima que, puesta en contacto con ellas, producirán en un espacio temporal dado un cambio metabólico. Como manifiesta Lorenzano (2002a) en su reconstrucción, es importante destacar que esta ley fundamental se encuentra sólo implícita en los libros de texto y artículos científicos y no formulada explícitamente. En este aspecto la reconstrucción aquí presentada es similar a la reconstrucción de la genética realizada por Lorenzano (2002b) en la que se presenta la ley de coincidencia como ley fundamental de la genética, pese a que otros autores consideran que en biología en general y en genética en particular no hay leyes fundamentales.

1.1.3. Los modelos parciales de la bioquímica

La clase de los *modelos parciales* de la bioquímica está constituida por estructuras que nos permiten representar lo que se intenta explicar, que sólo contienen aquellos términos disponibles con anterioridad a dicha teoría.

Para diferenciar los conceptos no-teóricos de los teóricos para esta teoría, se utilizará el criterio informal de *T-teoricidad*, de acuerdo con el cual un concepto es teórico para una teoría dada cuando su extensión sólo puede ser determinada presuponiendo la ley fundamental de dicha teoría, e.e. la determinación de la extensión del concepto solamente se logra en las situaciones en las que se satisface la ley fundamental. De otro modo, el concepto será considerado no-teórico para esa teoría.

Dentro del grupo de los conceptos no-teóricos de la bioquímica, se encuentran las sustancias químicas orgánicas e inorgánicas involucradas en las reacciones: reactivos y productos, pues son conceptos tomados de la química. También forman parte de los conceptos no-teóricos las biotransformaciones. Aunque se dan en organismos vivos, teniendo suficientes conocimientos de química, se pueden entender las reacciones de biotransformación sin necesidad de tener conocimiento de la ley fundamental de la bioquímica. Por otro lado, existen en la naturaleza catalizadores químicos, sustancias que incrementan la velocidad de reacción, sin las propiedades y especificidad que poseen las enzimas, de las cuales no se ocupa la bioquímica.

Por otra parte, los conceptos teóricos para esta teoría son *Enz* y *Coen*, debido a que la extensión de estos conjuntos no puede determinarse independientemente de la ley fundamental de la bioquímica; además, es posible que se identifiquen nuevas sustancias, pero recién diríamos que pertenecen al conjunto de las enzimas o al de las coenzimas luego de caracterizarlas por su función bioquímica específica, e.e. no podemos saber si una entidad es una enzima o una coenzima a menos que tal entidad cumpla la función específica asignada en la ley fundamental.⁶

Definición 3:

$M_{pp}(\text{Bioquímica})$: $y = \langle I, O, S, T, \text{Biotrans} \rangle$ es una *bioquímica parcial*

($y = \langle I, O, S, T, \text{Biotrans} \rangle \in M_{pp}(\text{Bioquímica})$) sii existe una x tal que:

- (1) $x = \langle I, O, S, \text{Enz}, \text{Coen}, T, \text{Biotrans} \rangle \in M_p(\text{Bioquímica})$
- (2) $y = \langle I, O, S, T, \text{Biotrans} \rangle$.

1.2. Las aplicaciones propuestas y el elemento teórico básico de la bioquímica

El *dominio de aplicaciones propuestas* constituye la clase de aquellos sistemas empíricos a los que uno desea aplicar la ley fundamental de la teoría. Ellos no pueden ser caracterizados por medios puramente formales. Lo único que *podemos* decir desde un punto de vista formal es que una aplicación propuesta es un modelo parcial. Aquí, esto significa que $I(\text{Bioquímica}) \subseteq M_{pp}(\text{Bioquímica})$ y que los miembros de $I(\text{Bioquímica})$ son sistemas empíricos en donde ciertas sustancias químicas se transforman en otras.

El *elemento teórico básico de la bioquímica* puede ahora ser caracterizado como sigue:

$$T(\text{Bioquímica}): = \langle K(\text{Bioquímica}), I(\text{Bioquímica}) \rangle$$

1.3. La afirmación empírica de la bioquímica

La bioquímica pretende que ciertos sistemas empíricos, descritos *bioquímica*-no teóricamente, satisfacen las condiciones impuestas por ella en el siguiente sentido: esos son los datos de la experiencia que se deberían obtener, si la realidad se comporta como ella dice. Esta pretensión se expresa en la *afirmación empírica* de la bioquímica, que puede formularse de la siguiente manera:

- (*) Todo sistema bioquímico particular intencionalmente seleccionado puede ser, añadiendo un conjunto de componentes teóricos *Enz* y *Coen* a la parte no-teórica del núcleo teórico correspondiente ($\langle I, O, S, T, \text{Biotrans} \rangle$), aproximadamente extendido a un modelo de la **Bioquímica**.

El núcleo teórico presentado sirve como núcleo teórico básico para *todas* las aplicaciones propuestas de la bioquímica. Afirmaciones interesantes pueden ser obtenidas incorporando restricciones adicionales a través de las llamadas "especializaciones".

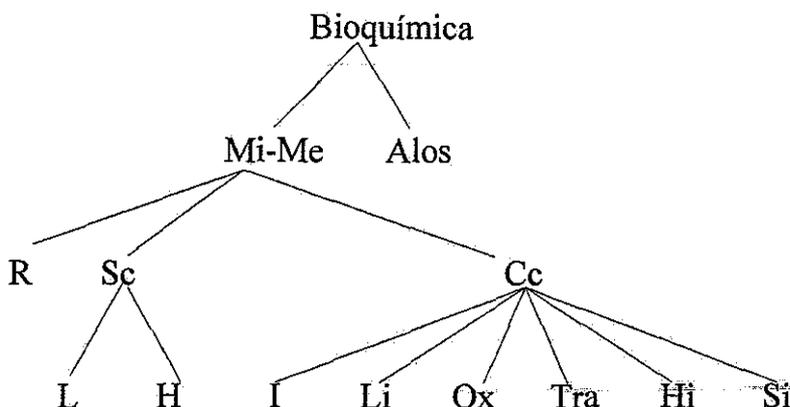
2. Las especializaciones y la red teórica de la bioquímica

Existen distintas maneras de establecer una red teórica para la bioquímica a partir de sus especializaciones, que satisfacen condiciones restrictivas adicionales. En esta reconstrucción las especializaciones se hacen teniendo en cuenta: 1) las características cinéticas y la composición química de las enzimas, 2) la utilización o no de coenzima y 3) el tipo de reacciones que catalizan.

Las características cinéticas permiten dividir a las enzimas en enzimas tipo Michaelis-Menten o enzimas alostéricas. Las primeras se ubican, en general, en los pasos intermedios de una vía metabólica; y las segundas en el comienzo y en las ramificaciones de una vía enzimática debido a su capacidad de fina regulación del camino metabólico. La discriminación según la estructura bioquímica de las enzimas permite diferenciarlas evolutivamente, pues el ARN con actividad catalítica es considerado una reliquia evolutiva. El uso de coenzima y el tipo de reacciones que catalizan completa la clasificación de dichas enzimas.

La red propuesta en este trabajo (Fig. 1) es una modificación y ampliación de la presentada por Lorenzano (2002a).⁷

Fig. 1



A diferencia de la primera especialización presentada por Lorenzano (2002a), en este trabajo se hace una división que inicialmente considera las propiedades cinéticas de las enzimas. La técnica que utilizan los bioquímicos para caracterizar las propiedades cinéticas es la de determinación de la actividad enzimática. Ésta se determina midiendo el consumo de sustrato o la cantidad de producto formado en presencia de concentraciones crecientes de sustrato; lo cual permite diferenciar dos tipos principales de actividad enzimática: las que siguen una cinética de Michaelis-Menten y las enzimas que tienen una cinética distinta, que se denominan enzimas alostéricas. La diferencia en las propiedades cinéticas se debe a la interacción de la enzima con el sustrato. Las enzimas con cinética de Michaelis-Menten tienen un solo sitio activo. Las alostéricas, por otra parte, son más complejas estructural y funcionalmente.

Especialización del tipo cinética de Michaelis-Menten

Definición 4:

M(Mi-Me): x es una cinética de Michaelis-Menten ($x \in \mathbf{M}(\text{Mi-Me})$) sii

(1) $x \in \mathbf{M}(\text{Bioquímica})$

(2) $e \in \text{Enz}$, e es una enzima con cinética de Michaelis-Menten

Especialización del tipo cinética alostérica

Definición 5:

M(Alos): x es una cinética alostérica ($x \in \mathbf{M}(\text{Alos})$) sii

(1) $x \in \mathbf{M}(\text{Bioquímica})$

(2) $e \in \text{Enz}$, e es una enzima con cinética alostérica

Las siguientes son subespecializaciones de la presentada en Def. 4. Especialización del tipo Michaelis-Menten para enzimas tipo ribozima. Esta línea de especialización caracteriza a las enzimas por el tipo de reacción que catalizan, y además, se incluye a las enzimas que no son proteínas. Estas ribozimas presentan varias características de la catálisis enzimática clásica: un alto grado de especificidad por el sustrato y una cinética de saturación tipo Michaelis-Menten.

Definición 6:

M(R): x es una cinética Michaelis-Menten para enzimas tipo ribozimas ($x \in \mathbf{M}(\text{R})$) sii

- (1) $x \in \mathbf{M}(\mathbf{Mi-Me})$
- (2) $\forall e \in \text{Enz}, e$ es una enzima de ARN

Las dos siguientes son subespecializaciones de **Mi-Me**, dependiendo de si las reacciones ocurren en presencia o no de coenzimas.

Especialización del tipo Michaelis-Menten sin coenzima

Definición 7:

M(Sc): x es una *cinética Michaelis-Menten sin coenzima* ($x \in \mathbf{M}(\mathbf{Sc})$) sii

- (1) $x \in \mathbf{M}(\mathbf{Mi-Me})$
- (2) $\text{Coen} = \emptyset$

Especialización del tipo Michaelis-Menten con coenzima

Definición 8:

M(Cc): x es una *cinética Michaelis-Menten con coenzima* ($x \in \mathbf{M}(\mathbf{Cc})$) sii

- (1) $x \in \mathbf{M}(\mathbf{Mi-Me})$
- (2) $\text{Coen} \neq \emptyset$

Las dos siguientes son subespecializaciones de la **Def. 7**. Especialización tipo Michaelis-Menten sin coenzima con función liasa. Las liasas catalizan la ruptura de la molécula de sustrato por un proceso distinto de la hidrólisis (Blanco, 1993).

Definición 9:

M(L): x es una *cinética Michaelis-Menten sin coenzima con función liasa* ($x \in \mathbf{M}(\mathbf{L})$) sii

- (1) $x \in \mathbf{M}(\mathbf{Sc})$
- (2) $\langle s_1, s_2, t_1, e, c \rangle = \langle s_3, s_4, t_2, e, c \rangle$ donde $s_1 = s_2$ y $s_3 \neq s_4$

Especialización tipo Michaelis-Menten sin coenzima con función hidrolasa. Las hidrolasas catalizan la hidrólisis del sustrato utilizando agua (Blanco, 1993).

Definición 10:

M(H): x es una *cinética Michaelis-Menten sin coenzima con función hidrolasa* ($x \in \mathbf{M}(\mathbf{H})$) sii

- (1) $x \in \mathbf{M}(\mathbf{Sc})$
- (2) $\langle s_1, s_2, t_1, e, c \rangle = \langle s_3, s_4, t_2, e, c \rangle$ donde $s_1 \neq s_2$ y $s_3 \neq s_4$ y además $s_2 = \text{H}_2\text{O}$ (agua)

Las especializaciones presentadas son subespecializaciones de la **Def. 8**. Especialización tipo Michaelis-Menten con coenzima con función isomerasa. Las isomerasas catalizan la interconversión de isómeros, sustancias que sólo se diferencian por su organización estructural y no por su composición química (Blanco, 1993).

Definición 11:

M(I): x es una *cinética Michaelis-Menten con coenzima con función isomerasa* ($x \in \mathbf{M}(\mathbf{I})$) sii

- (1) $x \in \mathbf{M}(\mathbf{Cc})$
- (2) $\langle s_1, s_2, t_1, e, c \rangle = \langle s_3, s_4, t_2, e, c \rangle$ donde $s_1 = s_2$ y $s_3 = s_4$

Especialización tipo Michaelis-Menten con coenzima con función liasa.

Definición 12:

M(Li): x es una *cinética Michaelis-Menten con coenzima con función liasa* ($x \in \mathbf{M}(\mathbf{Li})$) sii

- (1) $x \in \mathbf{M}(\mathbf{Cc})$

$$(2) \langle s_1, s_2, t_1, e, c \rangle = \langle s_3, s_4, t_2, e, c \rangle \text{ donde } s_1 = s_2 \text{ y } s_3 \neq s_4$$

Especialización tipo Michaelis-Menten con coenzima con función transferasa. Las transferasas catalizan la transferencia de un grupo de átomos desde un sustrato a otro (Blanco, 1993).

Definición 13:

M(Tra): x es una *cinética Michaelis-Menten con coenzima con función transferasa* ($x \in \mathbf{M(Tra)}$) sii

$$(1) x \in \mathbf{M(Cc)}$$

$$(2) \langle s_1, s_2, t_1, e, c \rangle = \langle s_3, s_4, t_2, e, c \rangle \text{ donde } s_1 \neq s_2 \text{ y } s_3 \neq s_4$$

Especialización tipo Michaelis-Menten con coenzima con función oxidoreductasa. Las oxidoreductasas catalizan reacciones de oxidorreducción (Blanco, 1993).

Definición 14:

M(Ox): x es una *cinética Michaelis-Menten con coenzima con función oxidoreductasa* ($x \in \mathbf{M(Ox)}$) sii

$$(1) x \in \mathbf{M(Cc)}$$

$$(2) \langle s_1, s_2, t_1, e, c \rangle = \langle s_3, s_4, t_2, e, c \rangle \text{ donde } s_1 \neq s_2 \text{ y } s_3 \neq s_4 \text{ y además } s_1 \text{ y } s_4 \text{ son donadores de electrones, } s_2 \text{ y } s_3 \text{ son receptores de electrones.}$$

Especialización tipo Michaelis-Menten con coenzima con función hidrolasa.

Definición 15:

M(Hi): x es una *cinética Michaelis-Menten con coenzima con función hidrolasa* ($x \in \mathbf{M(Hi)}$) sii

$$(1) x \in \mathbf{M(Cc)}$$

$$(2) \langle s_1, s_2, t_1, e, c \rangle = \langle s_3, s_4, t_2, e, c \rangle \text{ donde } s_1 \neq s_2 \text{ y } s_3 \neq s_4; \text{ y además } s_2 = \text{H}_2\text{O (agua)}$$

Especialización tipo Michaelis-Menten con coenzima con función sintetasa. Las sintetetasas catalizan la unión de dos compuestos para formar otro más complejo (Blanco, 1993).

Definición 16:

M(Si): x es una *cinética Michaelis-Menten con coenzima con función sintetasa* ($x \in \mathbf{M(Si)}$) sii

$$(1) x \in \mathbf{M(Cc)}$$

$$(2) \langle s_1, s_2, t_1, e, c \rangle = \langle s_3, s_4, t_2, e, c \rangle \text{ con } s_1 \neq s_2 \text{ y } s_3 = s_4$$

Conclusión

Este trabajo presenta los primeros pasos de una nueva reconstrucción de la teoría de la bioquímica más precisa y completa que las presentadas anteriormente, aun cuando queden aspectos por mejorar.

Se considera que su mayor contribución específica es la de permitir diferenciar las enzimas por su cinética, lo cual está relacionado con el lugar que ocupan en la ruta metabólica, por la utilización o no de coenzimas y por el tipo de reacciones que catalizan.

La ventaja general que presenta esta reconstrucción, frente a la de Lorenzano (2002a), es la de permitir un mayor acercamiento a la descripción de los "mapas metabólicos" en su total complejidad. Si, p.e., se reemplazan los elementos s del dominio S por las sustancias químicas

específicas como lípidos, proteínas o hidratos de carbono, se pueden describir las vías de síntesis y degradación de estos compuestos orgánicos. La presente reconstrucción contaría con el potencial de permitir futuras ampliaciones de la red en ese sentido. Completar, y aún mejorar, esta nueva reconstrucción es tarea que dejamos para trabajos futuros.

Agradecimientos

A César Lorenzano por permitirnos continuar con su trabajo. A los miembros del Seminario Semanal Permanente en Filosofía de la Ciencia (IEC/UNQ) por sus comentarios y observaciones.

Notas

¹ Debido a limitaciones de espacio, este trabajo presupondrá familiaridad por parte del lector con dicha concepción. Se recomienda consultar Balzer, Moulines & Sneed (1987) o Díez & Lorenzano (2002).

² En este trabajo se incluyen a las sustancias inorgánicas como conjunto básico, y no sólo a las orgánicas, a diferencia de lo que sucede en Lorenzano (2002a), puesto que los reactivos y los productos pueden ser de ambos tipos. De esta manera, se puede introducir, mediante definición, el conjunto *S* de sustancias químicas como la unión de los conjuntos de sustancias inorgánicas *I* y de sustancias orgánicas *O*

³ En la presentación de Lorenzano (2002a), se incluyen en este conjunto sólo proteínas, aquí se considera que además de proteínas las enzimas pueden ser de ARN

⁴ Otra modificación a la presentación de Lorenzano (2002a) es que en su trabajo se indica que las coenzimas son sustancias orgánicas, sin embargo, éstas pueden ser tanto sustancias orgánicas (pirofosfato de tiamina, coenzima A, etc.), como inorgánicas (Mg, Mn, Zn, etc.).

⁵ Se caracteriza *Biotrans* como el producto de la interacción de dos reactivos y no como el de uno sólo, ni como el de tres. Esto se debe a que las reacciones catalizadas por enzimas ocurren generalmente entre dos reactivos. Las transformaciones enzimáticas que ocurren con un sólo reactivo (como las isomerizaciones) no son frecuentes en la naturaleza, pueden ser capturadas por esta reconstrucción. Las reacciones que ocurren entre tres reactivos y que requieren el choque simultáneo de tres moléculas, son un evento poco probable y por lo general ocurre en forma secuencial con más de una enzima.

⁶ Una situación similar, la encontramos en la genética molecular, en donde el ADN puede ser identificado bioquímicamente, pero sólo afirmamos que dicho fragmento de ADN es un gen por la función específica que desarrolla (Carman & Fernández, 2004)

⁷ Lorenzano (2002a) en su reconstrucción establece tres clases de especializaciones. La primera para un metabolismo que utiliza enzimas, pero no coenzimas. La segunda para un tipo de transformación en que una sustancia se transforma en otra; ésta se divide en tres subespecializaciones (i. una sustancia química se transforma en otra, ii. dos sustancias químicas se transforman en una, y iii. dos sustancias químicas se transforman en otras dos sustancias). La tercera define "rutas metabólicas", lo cual conduce a lo que el autor llama "leyes especiales", que se mencionan en su trabajo, pero no se detallan.

Bibliografía

- Balzer, W., Moulines, C.U y J.D. Sneed (1987), *An Architecture for Science. The Structuralist Program*, Dordrecht: Reidel.
- Blanco, A. (1993), *Química biológica*, Buenos Aires. El Ateneo.
- Carman, C.C y M.P. Fernández (2004), "Gen: ¿teórico y observacional? Términos T-teóricos y términos T-observacionales", en Martins, R.A., Martins, L.A.C.P., Silva, C.C y J.M.H. Ferreira (eds.), *Filosofía e história da ciência no Cone Sul: 3º Encontro*, Campinas. AFHIC, pp 102-109
- Cech, T.R., Zaug A.J y P.J. Grabowski (1981), "In vitro splicing of the ribosomal RNA precursor of tetrahymena. Involvement of a guanosine nucleotide in the excision of the intervening sequence", *Cell* 27, 487-496.

-
- Díez, J.A. y P. Lorenzano (2002), "La concepción estructuralista en el contexto de la filosofía de la ciencia del siglo XX", en Díez, J.A. y P. Lorenzano (eds.), *Desarrollos actuales de la metateoría estructuralista: problemas y discusiones*, Quilmes: Universidad Nacional de Quilmes, pp. 13-78.
- Lorenzano, C. (2002a), "Una reconstrucción estructural de la bioquímica", en Díez, J.A. y P. Lorenzano (eds.), *Desarrollos actuales de la metateoría estructuralista: problemas y discusiones*, Quilmes: Universidad Nacional de Quilmes, pp. 208-230.
- Lorenzano, P. (2002b), "La teoría del gen y la red teórica de la genética", en Díez, J.A. y P. Lorenzano (eds.), *Desarrollos actuales de la metateoría estructuralista: problemas y discusiones*, Quilmes: Universidad Nacional de Quilmes, pp. 263-303.
- Stryer, L. (1988), *Bioquímica*, Madrid: Reverté.