

Eje temático: Investigaciones educativas sobre enseñanza y aprendizaje de la Química

UN ANÁLISIS CRÍTICO DE ESQUEMAS. EL CASO DE LA DESNATURALIZACIÓN REVERSIBLE DE LA RIBONUCLEASA

Natalia Ospina Quintero¹, Graciela Merino² y Lydia Galagovsky¹

1. CeFIEC- Instituto de Investigaciones en Didáctica de las Ciencias Naturales y la Matemática. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires. Argentina.
2. Facultad de Odontología. Secretaría de Ciencia y Técnica. Universidad de La Plata. La Plata. Argentina.
Email: nataliaospinaquintero@gmail.com*, lyrgala@qo.fcen.uba.ar; graciela.merino@presi.unlp.edu.ar

Breve texto para difusión

El presente trabajo analiza críticamente las relaciones de complementariedad entre el texto explicativo y los dibujos que lo acompañan, para el tema de la desnaturalización reversible de la enzima ribonucleasa (RNcleasa), en tres textos diferentes.

Palabras clave: lenguajes, libros de texto, desnaturalización de ribonucleasa.

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Una línea de investigación en didáctica de las ciencias aborda el análisis crítico de escritos y esquemas utilizados en libros de textos de escuela secundaria [1-2]. El presente trabajo analiza críticamente la utilización de esquemas para la explicación de la desnaturalización reversible de una enzima, que se presentan en dos ediciones sucesivas del libro de nivel universitario *Bioquímica*, de L. Stryer: la segunda edición de 1985 [3] y la sexta edición, de 2007 [4]. El análisis se realiza comparando trabajo original de C. Anfinsen, publicado en la revista *Science* en 1973 [5], donde el autor expresa la idea teórica de una hipótesis termodinámica subyacente a la conformación tridimensional activa para la ribonucleasa (RNcleasa) hepática bovina, en su estado nativo.

TEXTO DEL ARTÍCULO ORIGINAL DE C. ANFINSEN

Se transcriben los párrafos principales extraídos *Science* (1973) y el esquema que acompaña a la explicación [5].

Párrafo uno: Soporte de la “Hipótesis Termodinámica”

“Un experimento que nos dio particular satisfacción en relación con la traducción de información desde la secuencia de aminoácidos a la estructura nativa, tiene que ver con el re-arreglo de la llamada ribonucleasa “revuelta”¹. Cuando a la proteína, totalmente reducida, con sus ocho grupos SH, se le permite re-oxidarse bajo condiciones de desnaturalización, tal como la existencia de una solución 8 M urea, se obtiene una mezcla de productos que pueden tener varios o todos los 105 isómeros de los enlaces disulfuros (Mostrado esquemáticamente en la Figura 1)”

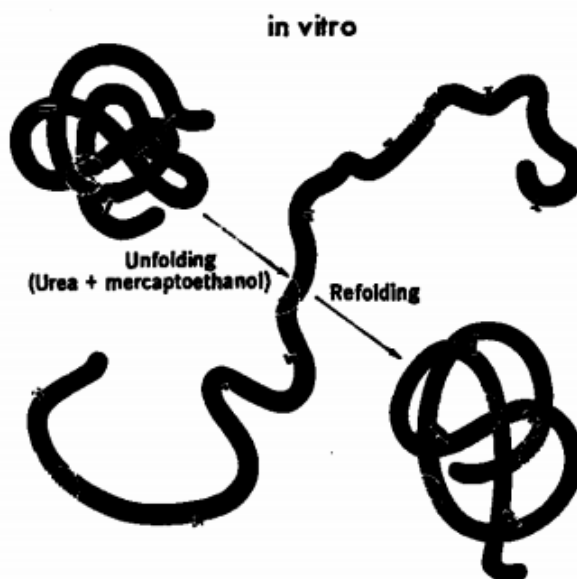
Párrafo dos: *“Esta mezcla es esencialmente inactiva – teniendo en el orden de un 1 % de la actividad de la enzima nativa-. Si la urea es removida y la proteína “revuelta” es expuesta a una pequeña cantidad de un reactivo que contenga un grupo sulfhidrilo tal como el mercaptoetanol, el intercambio de disulfuros toma lugar, y la mezcla eventualmente es convertida en un producto*

¹ “Revuelta” es el adjetivo que utilizaba el científico y sus colaboradores para designar las conformaciones sin actividad enzimática que adopta la proteína.

homogéneo, indistinguible de la ribonucleasa nativa. Este proceso es llevado a cabo por el descenso en energía libre cuando las conformaciones “revueltas” se convierten en la conformación nativa y estable del enzima.”

ESQUEMA DEL ARTÍCULO ORIGINAL DE C. ANFINSEN

La siguiente es la Figura 1 del artículo de Science (1973). El gráfico que presenta Anfinsen permite “leer” de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo de forma sintética que la forma nativa de la enzima (forma activa) cuando es sometida a un proceso de desnaturalización en presencia de urea y mercaptoetanol se desovilla. Luego, si se le permite re-oxidarse (con el oxígeno del aire), pero en condiciones de desnaturalización, es decir en presencia de urea, el resultado es una mezcla de moléculas que poseen alguno de los isómeros estructurales de la conformación nativa, que muestra menos de 1% de actividad biológica, lo que el autor la llama “RBNucleasa revuelta”.



El copete explicativo de la Figura 1 en el texto de la revista Science dice: “Fig. 1. Representación esquemática de la desnaturalización reductiva, en solución de 8 M urea que contiene 2-mercaptoetanol, de una proteína con disulfuros entrecruzados. La conversión de la forma extendida, desnaturalizada a la forma aleatoria de enlaces entrecruzados, “revuelta”, conjunto de isómeros representado en la parte inferior derecha.”

FUNDAMENTO PARA EL ANÁLISIS

El artículo publicado en la revista Science, describe la desnaturalización proteica como un proceso cooperativo y desarrolla el ejemplo de la RBNucleasa a lo largo de tres páginas de un total de siete que tiene el documento; se evidencia que en la construcción de dichas propuestas teóricas se emplean conceptos más básicos conocidos por los lectores expertos y, por lo tanto, no se explicitan. Los puntos centrales del texto y que seguramente son comprendidos por los lectores expertos pero que podrían presentar escollos de comprensión para estudiantes novatos serían:

Del párrafo 1:

- 1.1. ¿Qué significa “la traducción de información desde la secuencia de aminoácidos a la estructura nativa”?
- 1.2. ¿Qué papel juega la urea 8M?
- 1.3. ¿Qué significa “re-oxidarse en condiciones de desnaturalización”?
- 1.4. ¿De dónde sale el número de 105?

Del párrafo 2:

2.1. ¿Qué reacción química produce el mercaptoetanol?

2.2. ¿Qué significa remover a urea en presencia de pequeñas cantidades de mercaptoetanol y qué impacto tiene?

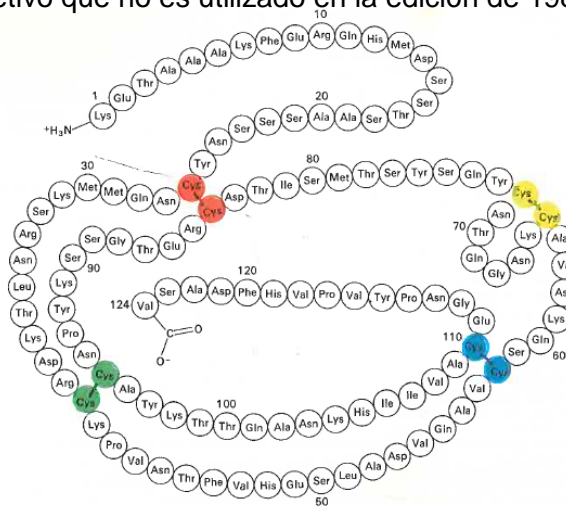
2.3. ¿Qué significa “el descenso en energía libre cuando las conformaciones “revueltas” se convierten en la conformación nativa y estable del enzima”?

Los textos *Bioquímica* [3,4], están dirigidos a estudiantes universitarios novatos quienes podrían conocer el significado del concepto de desnaturalización de una proteína, a partir de sus escolaridades previas, pero seguramente carecen de comprensión sobre las particularidades de la enzima RNucleasa. Es de esperar, entonces, que elegido este tema, el texto pueda responder a las preguntas mencionadas más arriba; sin embargo, las explicaciones verbales presentes en sendas ediciones del libro no contestan esas preguntas. En el presente trabajo interesa analizar los esquemas presentados en cada edición del libro, en tanto deberían o podrían actuar como elementos de un lenguaje verbal explicativo [2].

ANÁLISIS DE LOS ESQUEMAS

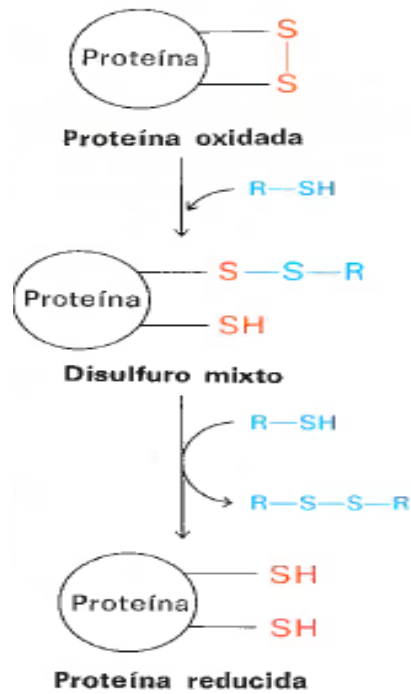
Las figuras número 2-43 (ed. 1985) y número 2-56 (ed. 2007) del libro *Bioquímica* ilustra la secuencia de aminoácidos secuenciales de la ribonucleasa mediante circunferencias con las siglas de cada aminoácido, marcando la posición de los cuatro puentes disulfuro con diferentes colores – provenientes de la reacción de ocho aminoácidos cistina- y con la numeración de algunos de estos aminoácidos. El Esquema 1 muestra el dibujo y su copete, presente en ambas figuras. Un lector inexperto podría suponer a partir del dibujo que los enlaces disulfuro son químicamente diferentes; o que la molécula es plana. Ninguna de las preguntas que se haría un lector novato es contestada.

En el lenguaje verbal se evidencian algunas diferencias entre las ediciones: la edición 1985 desarrolla el concepto de desnaturalización irreversible mediante la acción del ácido perfoómico, información que es omitida en la versión del año 2007. En la edición de 2007 se describe la cadena de aminoácidos como una secuencia *única*, adjetivo que no es utilizado en la edición de 1985.



Esquema 1: dibujo de las Fig. 2-43 (Ed. 1985) y Fig. 2-56 (Ed. 2007). Su copete dice: “*Secuencia de aminoácidos de la ribonucleasa bovina. Los cuatro puentes disulfuro se muestran en color.*”

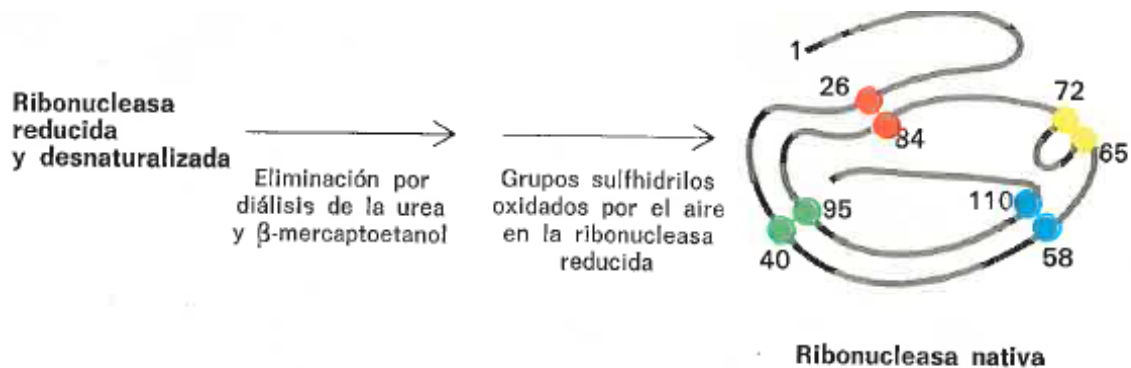
En el libro *Bioquímica* de 1985 [3] aparecen las figuras 2-44 y 2-46 - Esquemas 2 y 3, respectivamente, en este trabajo:



Esquema 2: dibujo de la Fig. 2-44 del libro *Bioquímica* (edición 1985), se acompaña del copete: *Reducción de los enlaces disulfuro en una proteína por un exceso de reactivo sulfhidrónico tal como el β -mercaptoetanol.*

El Esquema 2 pretende explicar gráficamente la reacción química de apertura de los enlaces disulfuro que produce el mercaptoetanol; sin embargo incurre en las siguientes deficiencias que no son recuperadas en los párrafos explicativos:

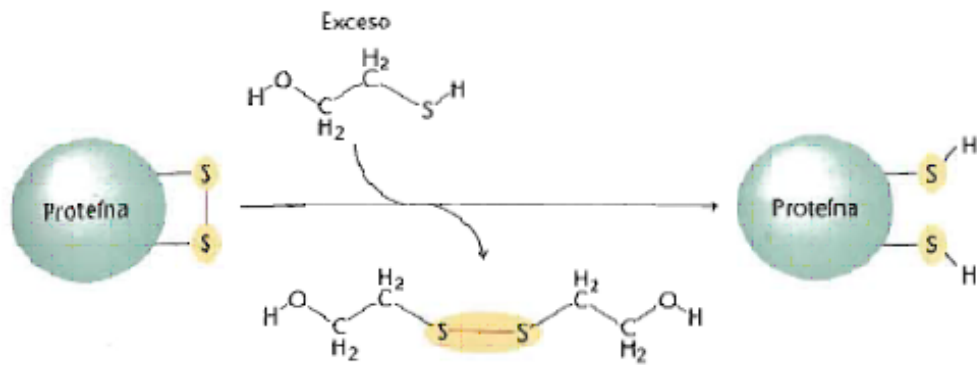
- i- La proteína se muestra como una esfera de la que sobresale un enlace disulfuro; esta situación es claramente simbólica, pero sus códigos no han sido explicitados.
- ii- No se expone el papel de lo que se denomina *disulfuro mixto*, tampoco se tratan aspectos de estabilidad de este intermediario.



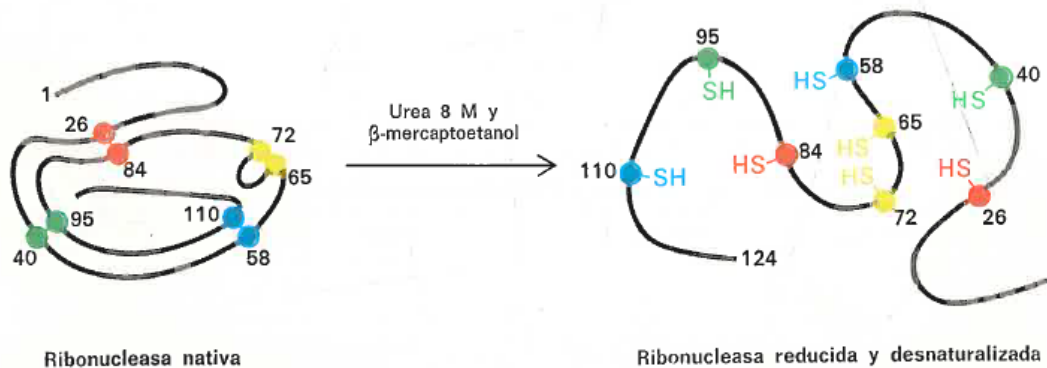
Esquema 3: dibujo de la Fig. 2-46 del libro *Bioquímica* (segunda edición). El copete dice: *Renaturalización de la ribonucleasa.*

Éste Esquema, indica que el autor supondría que el concepto de desnaturalización ya es conocido por el lector, pues repite secuencia de textos ya presentes en los párrafos explicativos. El dibujo de la derecha simplifica y repite la información de la Fig. 2-43.

En el libro *Bioquímica* de 2007 [4] aparecen dos Figuras 2-57 y 2-58, mostradas aquí como Esquemas 4 y 5, respectivamente.



Esquema 4. Dibujo de la Figura 2-57 del libro *Bioquímica* (edición 2007). Su copete explicativo dice: “Papel del β- mercaptoetanol en la reducción de los puentes disulfuro. Nótese que cuando se reducen los disulfuros, el β- mercaptoetanol se oxida y forma dímeros.”



Esquema 5. Dibujo de la Figura 2-58 del libro *Bioquímica* (edición 2007). Su copete explicativo dice: “Reducción y desnaturalización de la ribonucleasa.”

El Esquema 4 procura explicar la misma reacción descrita en la Fig. 2-44 de la edición 1985 (Esquema 2), además del aspecto mencionado para dicha figura con respecto a la manera de representar la proteína, se identifican las siguientes deficiencias adicionales:

- i- A diferencia del esquema presentado en la segunda edición del libro *Bioquímica*, no hace referencia a cuáles son los estados oxidados o reducidos.
- ii- El mecanismo de reacción por el cual una especie se reduce y la otra se oxida no es explicitado.

El Esquema 5 pretende explicar gráficamente la desnaturalización total de la proteína, pero no su reversibilidad, que es el concepto central que justifica la ejemplificación con esta enzima. El aporte novedoso respecto de la edición es el dibujo de la cadena totalmente desplegada, manteniendo una numeración (pero sin marcar el comienzo, sino su final) y código de colores. Este esquema no responde a ninguno de los interrogantes planteados más arriba.

CONCLUSIONES

El texto experto está construido desde una multiplicidad de lenguajes que involucran tanto recursos lingüísticos como simbólicos y gráficos. Esta variedad de lenguajes a disposición del autor experto debería favorecer la expresión de su discurso para lograr la comprensión de un lector novato. Cabe reflexionar sobre la importancia de utilizar complementariamente los lenguajes expertos, atendiendo a las principales preguntas conceptuales que deben ser el objetivo de toda explicación [2].

Referencias Bibliográficas

1. Tosi, C. (2011). El texto escolar como objeto de análisis. Un recorrido a través de los estudios ideológicos, didácticos, editoriales y lingüísticos. *Lenguaje*, 2011, 39 (2).
2. Galagovsky, L., Bekerman D y Di Giacomo M. (2014). Enseñanza de la Química: lenguajes expertos como obstáculos de aprendizaje. En Merino, C., Arellano, M., Adúriz-Bravo, A (Eds.) *Avances en didáctica de la química: modelos y lenguaje*. Ediciones Universitarias de Valparaíso, Impreso en Valparaíso, Chile.
3. Stryer, L. (1985). *Bioquímica* (Segunda Edición). Reverté. España.
4. Berg, J. M., Stryer, L., & Tymoczko, J. L. (2007). *Bioquímica* (Sexta Edición). Reverté.
5. Anfinsen, CB. (1973). Principles that govern the folding of protein chains. *Science*. 181(4096):223-30.