

# MODELIZAR EN BIOLOGIA: UNA APLICACIÓN DEL MODELO DIDÁCTICO ANALÓGICO

**GARÓFALO<sup>1</sup>, JUDITH y GALAGOVSKY<sup>2</sup>, LYDIA**

<sup>1</sup> Becaria UBACyT, Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias (CEFIEC). Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEN), Universidad de Buenos Aires (UBA). Pabellón 2, Ciudad Universitaria, Buenos Aires, Argentina. <[sjgarofalo@gmail.com](mailto:sjgarofalo@gmail.com)>

<sup>2</sup> CEFIEC-FCEN, UBA.

---

**Palabras clave:** Enfermedades; Síntesis de proteínas; Expresión de genes; Modelo didáctico analógico.

## OBJETIVOS

Utilización de una analogía en situación de Modelo Didáctico Analógico para el aprendizaje sustentable de enfermedades que se asocian a anomalías en la expresión de genes, con estudiantes de las carreras universitarias en el área de ciencias médicas que cursan Biología (nivel universitario inicial).

## MARCO TEÓRICO

Usualmente, la estructura de las carreras universitarias en el área de las ciencias médicas (medicina, odontología, bioquímica, nutrición, etc.) es tal que en las primeras asignaturas básicas los estudiantes deben aprender contenidos que ellos sienten como muy *alejados* de sus intereses. Particularmente, los conceptos químicos, bioquímicos, y los procesos celulares de la asignatura Biología, les resultan sumamente tediosos, y los deben aprender de memoria, sin lograr sospechar siquiera su importancia para cuando estudien casos clínicos, más allá del cuarto año de sus carreras.

El desafío de enseñar biología molecular y celular a estudiantes de estas carreras, en la primera asignatura que cursan, es encontrar estrategias didácticas para motivarlos en la necesidad de comprensión de esos mecanismos, como requisito previo a los estudios de fisiología y clínica.

En particular, el tema síntesis de proteínas y expresión de genes, es un tema estructurante en Biología molecular y celular.

Nuestra exitosa experiencia de investigación sobre la enseñanza de *síntesis de proteínas*, en situación de Modelo Didáctico Analógico (MDA) (Galagovsky y Adúriz Bravo, 2001) llevada a cabo con estudiantes de Biología (1er cuatrimestre) del Ciclo Básico Común de la Universidad de Buenos Aires (Garófalo, Meinardi y Galagovsky, 2001), nos estimuló a retomarla y ampliarla, para lograr que los estudiantes comprendieran la razón de la aparición de algunas de las enfermedades relacionadas con fallas en el proceso de expresión de genes.

El simple planteo de esta posibilidad despertó gran motivación en los estudiantes. La mayor dificultad con

que nos encontramos fue la de encontrar la información científica apropiada que relacionara estos temas; debiendo preparar material informativo ad-hoc (Garófalo y Galagovsky, 2002).

En este trabajo se describirán brevemente las actividades desarrolladas y conclusiones más relevantes.

## DESARROLLO

### a) Actividades motivadoras con analogías

El tema se desarrolló en un turno de 36 alumnos (18 a 20 años) de la citada materia. Las actividades áulicas involucraron dos actividades secuenciales de MDA que demandaron 3 clases de 3 horas cada una.

#### *Primera etapa de aplicación del MDA*

La condición previa a comprender diversas enfermedades generadas como consecuencia de anomalías en los procesos de expresión de genes es que los estudiantes hayan podido comprender el proceso de síntesis de proteínas, habiendo incorporado los conceptos y el vocabulario apropiados. Para ello, como estrategia didáctica utilizamos una analogía, respetando los momentos del MDA:

Como *momento anecdótico* apuntamos a familiarizarlos con el funcionamiento de una “fábrica especial”, que produce en forma “automática” diferentes tipos de cadenas, combinando distintos tipos de eslabones. Para ello, les presentamos la Figura 1, y el texto explicativo adjunto, con la consigna de plantear por escrito –en pequeños grupos–, el proceso de fabricación normal para un pedido de cadenas de uso interno, y otro para cadenas de uso externo.

#### Texto explicativo de la “fábrica de cadenas”

Esta fábrica consta de distintos sectores, algunos de ellos son el sector C, R y G, donde se llevan a cabo diversos procesos. **Sector N:** Tiene una computadora central que contiene toda la información (en código binario) necesaria para el proceso de fabricación de todos los tipos de cadenas.

**Sector R:** Es el lugar donde se lleva a cabo la fabricación de cadenas necesarias para cubrir las demandas de clientes externos a la fábrica. Las cadenas fabricadas son enviadas al sector de empaquetado (G).

**Sector C:** Es el lugar donde se lleva a cabo la fabricación de cadenas para usos internos de la fábrica. Su funcionamiento es similar al del sector R pero las cadenas fabricadas no pasarán al sector G.

**Sector G:** Es donde llegan las cadenas del sector R, se etiquetan y empaquetan para ser exportadas. En los diversos sectores hay obreros encargados de realizar el control de cada proceso.

Los estudiantes se apropiaron rápidamente de la *información analógica*, sus conceptos y vocabulario. Algunos grupos hasta hicieron una demostración humana, simulando que cada uno del grupo era un sector de la fábrica que realizaba su función.

Luego, en una puesta en común se listaron los principales conceptos y procesos involucrados en esta analogía para cumplir con el segundo momento del MDA, el de *Conceptualización sobre la analogía*. A su término, el docente les explicó y se les entregó un texto con la información científica sencilla sobre la síntesis de proteínas, solicitándoles que elaboraran una Tabla de Correlación Conceptual (TCC).

Así, al finalizar el tercer momento didáctico del MDA se logró consensuar entre todos una TCC como se muestra en la Tabla 1.

Una de las principales dificultades de los estudiantes fue la comprensión del concepto de gen, ya que la mayoría lo asociaba a información hereditaria y no al segmento de ADN que contiene la información para la fabricación de una molécula funcionalmente activa. Asimismo, surgió la confusión habitual de cromosoma con gen.

(a) El esquema de la "Fábrica Especial"

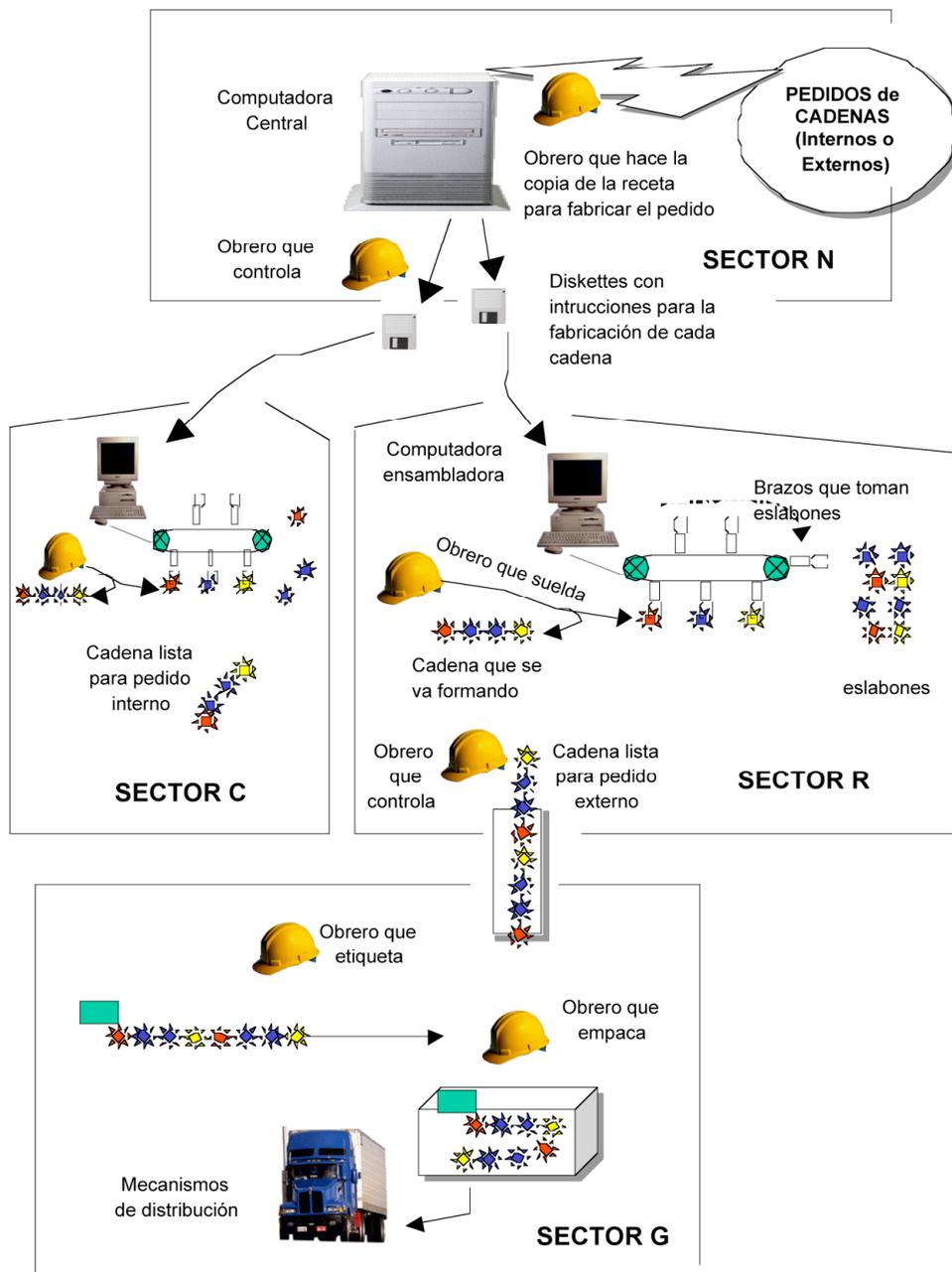


FIGURA 1

Una "Fábrica Especial" para la enseñanza de enfermedades humanas relacionadas con el proceso de Síntesis de Proteínas.

En este punto, los estudiantes habían construido como *conocimiento sustentado* (Galagovsky 2004 a,b) aquellos conceptos y procesos que les permitieron acercarse al modelo conceptual de síntesis de proteínas; es decir, habían construido en sus estructuras cognitivas aquellos *conceptos sostén*, con el vocabulario apropiado, que les servirían como conceptos inclusores correctos para el procesamiento de la información sobre expresión de genes, que iban a hallar en los textos sobre las enfermedades.

**TABLA 1**  
**TCC que surge de la analogía de la “Fábrica de cadenas”.**

<b>Conceptos de la Analogía</b>	<b>Conceptos científicos</b>
<i>“Fábrica de cadenas”</i>	<i>Una célula</i>
<i>Producción de cadenas</i>	<i>Síntesis de proteínas</i>
<i>Diferentes usos de las cadenas</i>	<i>Funciones de las proteínas</i>
<b>Sector N</b>	<b>Sector Nuclear</b>
<i>Computadora central con toda la información</i>	<i>Cromosomas (genoma)</i>
<i>Información contenida en la computadora central</i>	<i>Información genética</i>
<i>Programa requerido para fabricar una cadena determinada</i>	<i>Determinado gen</i>
<i>Códigos para transcripción a diskettes</i>	<i>Código genético</i>
<i>Proceso de copiado de un programa en diskette</i>	<i>Proceso de transcripción</i>
<i>Diskette</i>	<i>ARN-mensajero</i>
<b>Sector “C” y “R”</b>	<b>Sector Citoplasmático y Sector Reticulo Endoplasmático Rugoso</b>
<i>Cadenas producidas en el Sector C</i>	<i>Proteínas Citoplasmáticas</i>
<i>Cadenas producidas en el Sector R</i>	<i>Proteínas de Secreción y de membrana</i>
<i>Computadoras ensambladoras de cada sector</i>	<i>Ribosomas</i>
<i>Ejecución del programa del diskette</i>	<i>Proceso de traducción</i>
<i>Cada brazo mecánico vacío, o unido al eslabón específico</i>	<i>ARN de transferencia vacío o unido a su aminoácido específico</i>
<i>Eslabones de diferentes colores</i>	<i>Diferentes aminoácidos</i>
<b>Sector G</b>	<b>Aparato de Golgi</b>
<i>Proceso de etiquetado</i>	<i>Proceso de marcado de proteínas</i>
<i>Proceso de empaquetado</i>	<i>Proceso de empaquetado de proteínas</i>
<i>Proceso de distribución</i>	<i>Procesos de secreción de proteínas</i>

### **Segundo etapa de aplicación del MDA**

Se solicitó a los estudiantes que, habiendo comprendido el funcionamiento normal de esa fábrica de cadenas, escribieran –en grupos-- por lo menos tres problemas que se pudieran suscitar, y qué consecuencias tendría cada uno sobre la producción, o sobre los pedidos.

Si bien el MDA se completaría en la clase siguiente, con la comparación de las fallas de la fábrica con las enfermedades, a partir de un texto construido ad hoc, el entusiasmo de los estudiantes fue muy grande, evidenciándose en el interés que mostraron por traer ellos mismos información sobre enfermedades; realizando sus propias búsquedas bibliográficas y/o consultando por su cuenta expertos y especialistas.

Luego de cumplidos los tres momentos de este nuevo MDA quedó constituida una nueva TCC, como la que se muestra en la Tabla 2.

El momento de metacognición permitió evaluar cualitativamente la experiencia completa, mediante la evidencia de las reflexiones escritas por los estudiantes. La mayoría de ellos hizo referencia a:

*“Cuando leemos libros, todo es perfecto. Pude ver cómo, así como en una fábrica, en la célula no siempre las cosas funcionan bien.”*

La correlación con las enfermedades permitió reconsiderar conceptos erróneos de la primera analogía que habían quedado enmascarados para algunos estudiantes, que reiteraban que *“por ser el gen una información, su expresión no puede ser alterada”*.

### **b) La importancia de modelizar en Biología**

El trabajo comentado hasta aquí abrió camino para despertar el compromiso de los estudiantes por querer saber más sobre el tema desarrollado. Comenzaron, además, a pensar en las imperfecciones que puede

TABLA 2

TCC final, donde las columnas de la izquierda surgieron como resolución de los tres primeros momentos del MDA, y la otra columna durante la correlación conceptual con la información sobre enfermedades humanas.

Algunas situaciones problemáticas en la Fábrica Especial	Consecuencias de esas fallas en la producción de cadenas	Conceptos científicos correlacionables: Enfermedades determinadas por problemas en la expresión de genes (Curtis y Barnes, 2000; Sutton, 1974)
Problemas en la recepción de los pedidos	1) Se piden ciertas cadenas y no se da respuesta 2) Se sobredimensiona el pedido 3) No se pidieron pero algo interfiere y se producen cadenas no deseadas 4) Se pidieron cadenas comunes y se producen cadenas no deseadas 5) Se mete una información pirata, autogestiva	1) Fallas en la respuesta inmunitaria; por ejemplo, en la fabricación de anticuerpos. 2) Alergias 3) Mutaciones por carcinógenos; ejemplo, cáncer de pulmón 4) Alzheimer; esclerosis múltiple 5) virus
Está afectada la información de la computadora central	1) Hay más información que la necesaria 2) Hay menos información que la necesaria 3) Hay fallas en puntos específicos de la información 4) Hay fallas en porciones de información	1) Síndrome de Down 2) Tumor de Wilms 3) Hemofilia, fenilcetonuria, anemia falciforme, enfisema pulmonar (por falta de antiproteasa) 4) Albinismo, fibrosis quística, hipercolesterolemia
Problemas con los diskettes	1) Salen diskettes con la información mal copiada	1) Talasemia
Problemas con el señalamiento y empaquetado	1) La cadena no es reconocida y, por lo tanto, no sigue el destino esperado 2) No se distribuye al lugar esperado	1) Diabetes mellitus 2) Enfisema pulmonar (por falta de antiproteasa); hipercolestolemia familiar
Problemas con el control y la regulación de la producción	1) Se hacen cadenas de más 2) Se hacen infinidad imparables de cadenas que no se necesitan 3) Cortes de suministro eléctrico impiden la producción	1) Alergias 2) Cánceres por falla en proteínas de control; Alzheimer 3) Sin energía (ATP) no ocurre la síntesis de proteínas

haber en cualquier proceso metabólico del cuerpo humano, y cómo los “funcionamientos perfectos” que se presentan en los libros son, en realidad, *modelos* que permiten predecir la aparición de enfermedades, y/o interpretar en forma articulada hechos clínicos que parecían desconectados entre sí. Es decir, ellos vivenciaron qué es un “modelo” y cómo la Biología trabaja con modelos de diversos niveles de complejidad.

Ellos tomaron conciencia sobre que habían “modelizado” a un nivel integrador de conocimientos. Es decir, propusieron hipótesis, hicieron predicciones, y luego las comprobaron mediante la búsqueda de información sobre enfermedades.

## CONCLUSIONES

Recientemente, se está haciendo hincapié en la necesidad de enseñar ciencia desde modelos (Justi y Gilbert, 2002). En el caso de síntesis de proteínas hay:

- modelos a *nivel molecular*, como las características estructurales de ADN y del ARN, el código genético, las modificaciones post transcripcionales, splicing, splicing alternativo, etc.;
- modelos a *nivel celular*, que integran al anterior con mensajeros y otras macromoléculas, vinculando procesos de los diferentes compartimentos de la célula;
- modelos a *nivel fisiológicos y clínicos*, como aquellos que permiten explicar el funcionamiento de los sistemas de órganos y sus anomalías (estos modelos resultan ser los más interesantes para los estudiantes del área de salud).

Evidentemente, el modelo a nivel molecular es el más complejo para los estudiantes. Los docentes no tenemos en cuenta que emplear la mayor parte del tiempo en estas cuestiones no sólo los desmotiva, sino que les hace perder la oportunidad de desarrollar sus propias capacidades cognitivas para modelizar.

El trabajo con analogías en situación de MDA nos mostró que es posible, en poco tiempo de clases, conectar un tema básico de biología con información clínica de interés para los estudiantes. Es decir, no fue necesario pormenorizar conceptos químicos y bioquímicos, o detallar las complejidades del código genético para que ellos logren cierta comprensión en el origen molecular de las enfermedades. Esto significaría que la utilización de MDA permite a los estudiantes implementar mecanismos de modelización (Oliva, 2004), a pesar de no contar con todos los recursos de información especializada con que cuentan los expertos.

La conclusión más importante que queda demostrada en nuestro trabajo es que la capacidad de modelizar de los estudiantes no está, necesariamente asociada a la profundidad o extensión de los conocimientos a nivel molecular.

Finalmente, el trabajo también sirvió para una importante toma de conciencia de cómo diversos agentes externos, pueden generar consecuencias patógenas e irreversibles a nivel molecular en nuestro organismo, como por ejemplo, el cigarrillo, la radioactividad, etc. De esta forma, se contribuye a la reflexión acerca de la prevención y los cuidados que debemos tener como seres humanos integrantes de una sociedad. Fue importante también incorporar el azar como variable que entra en juego como determinante de muchas de las patologías genéticas humanas.

## BIBLIOGRAFÍA

- CURTIS H y BARNES.(2001) *Biología*. Bs.As. Ed. Medica :Panamericana, 6ta edición.
- GALAGOVSKY, L Y ADÚRIZ-BRAVO, A. (2001) Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de modelo didáctico analógico. *Enseñanza de las Ciencias*, 19 (2), 231-242, Barcelona, ICE. Pág. 231-242.
- GARÓFALO, J.; MEINARDI, E. y GALAGOVSKY, L. (2001) Una analogía para la enseñanza de síntesis de proteínas. 5ta Reunión de la Asociación de Docentes de Biología (ADBIO), Octubre. Posadas, Misiones, Argentina.
- GARÓFALO J. y GALAGOVSKY L. (2002). Una analogía para enseñar Síntesis de Proteínas. <http://www.fcen.uba.ar/ecyt/fabrica>
- GALAGOVSKY, L R (2004) (a) Del aprendizaje significativo al aprendizaje sustentable. Parte I. El modelo teórico. *Enseñanza de las Ciencias* 22(2), 229-240. (b) Parte II. El modelo teórico. Implicancias comunicacionales y didácticas. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(3) 349-363.
- JOHNSON-LAIRD, P (2000). The current state of mental model theory, en *Mental Models in Reasoning*. Gacía-Madruga J, Carriedo P, Giaretta P and Mazzocco A (Eds). UNED, Madrid.
- JUSTI, R. AND GILBERT, J (2002). Modelos y modelado en educación química; en *Chemical Education: Towards research – based Practice*. pag 47 – 68 . Kluwer Academic Publishers: The Netherlands.
- OLIVA, J. M. (2004). El pensamiento analógico desde la investigación educativa y desde la perspectiva del profesor de ciencias. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 3 (3).