

Uso de analogías para el “aprendizaje sustentable”: El caso de la enseñanza de los niveles de organización en sistemas biológicos y sus propiedades emergentes

Lydia R. Galagovsky¹ y Marcela Greco²

lyrgala@qo.fcen.uba.ar, marcela_greco@yahoo.com.ar

¹Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias (CEFIEC), Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires., Pabellón 2, Ciudad Universitaria. Avenida Intendente Güiraldes 2160, (C1428EGA) Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

²ISFD N° 99 Alejandro Korn. Buenos Aires. Argentina.

Resumen

Uno de los problemas frecuentes en la enseñanza de la biología es la dificultad para comprender las relaciones estructura-función que permiten reconocer cada nivel de organización de los sistemas vivos. Aún mayor es la dificultad cuando se pretende explorar el concepto de propiedad emergente. Para trabajar con estos obstáculos, se diseñó un Modelo Didáctico Analógico (MDA) que permitió desarrollar estos conceptos a partir de un juego de naipes, basado en la estructura y función de fábricas de diferentes alimentos, y de tablas para que los estudiantes pudieran realizar actividades de “correlación conceptual” entre seres vivos como el hombre, el árbol, los organismos unicelulares y los ecosistemas, y la analogía de la fábrica. Estas tablas se utilizaron luego para que los estudiantes construyeran por comparación los conceptos mencionados. A partir de ellos, los estudiantes diseñaron esquemas para representar sus modelos mentales sobre sistemas biológicos. Todas las actividades estaban atravesadas por momentos de metacognición que permitieron a los estudiantes tomar conciencia de aquellos conceptos que debían incorporar o modificar, como también identificar y superar los obstáculos que les dificultaban la resolución de las actividades. La efectividad de la propuesta se evaluó analizando la evolución en las producciones de los estudiantes con respecto a sus ideas previas, al uso del lenguaje y a los logros conceptuales que resultaron de la aplicación de un MDA.

Palabras clave: analogías, modelos mentales, Modelo Didáctico Analógico, aprendizaje sustentable, metaevaluación.

Summary

Structure-function relationships in Biology are difficult to be understood by secondary students. Even harder is the introduction of concepts like emergent properties and organisation levels for living systems. In order to overcome these obstacles, we designed an Analogical Didactical Model (ADM) to work with these concepts through a card game based on finding the structure-function relationships in a food factory. Through developing different tables, students could perform activities of ‘conceptual correlation’ between living beings such as humans, trees, unicellular organisms and ecosystems, and the factory analog. Then, students draw schemas to represent their mental models about biological systems. Every set of activities included meta-cognitive works that permitted students to become aware of those concepts that should incorporate or modify, as well as identify and overcome cognitive obstacles. The effectiveness of the proposal was evaluated by analysing the evolution in students’ productions regarding their misconceptions, the use of language and the conceptual achievements resulted of the application of an ADM.

Keywords: analogies, mental models, Analogical Didactical Model, sustainable learning, meta-assessment

1. INTRODUCCIÓN

Enseñar a estudiantes del último año de Polimodal en Ciencias Naturales (17-18 años) el tema de *niveles de organización de sistemas biológicos y propiedades emergentes* presenta un gran desafío. Estos conceptos no solo son abstractos, sino que ofrecen un nivel jerárquico de altísima abarcatividad: su comprensión requiere reconocer rasgos comunes y diferenciales entre diferentes categorías más inclusivas de seres vivos.

Uno de los problemas frecuentemente observados en el aula es la dificultad para comprender las relaciones estructura-función, que permiten reconocer cada nivel de organización de los sistemas vivos (Driver et al., 1996; Greco y Ferrari, 1998; Greco y Marín, 1998; Giordan, 1999; Rodríguez Palmero y Moreira, 1999). Esto se hace evidente al abordar la estructura atómica, la estructura molecular tridimensional, la estructura celular o la estructura ecológica. Pero es aún mayor la dificultad cuando se pretende explorar el concepto de *propiedad emergente* como elemento propio de un sistema, que lo caracteriza y diferencia como tal. Al solicitarle a los estudiantes que identifiquen las diferencias entre un nivel menor y uno de mayor complejidad, no solo confunden los niveles atribuyendo a uno de menor nivel, como el atómico, la misma categoría que al nivel celular, sino que también aumenta la confusión sobre las diferencias entre ellos y queda la sensación – muchas veces la certeza – de que no se pudo lograr una integración significativa (Gagliardi, 1986).

Coincidimos con Coll (1987) cuando expresa que en los procesos de enseñanza-aprendizaje debería existir un “desfase óptimo” entre los esquemas de conocimiento del estudiante y el objeto de conocimiento propuesto, para que ellos desemboquen en un aprendizaje verdaderamente significativo y no en una memorización cuyo valor funcional sería escaso o nulo.

¿Qué aspectos eran cruciales y requerían ser superados para lograr ese “desfase óptimo” demandado por Coll? ¿Cómo hacer en un mes de clases del último año de Polimodal, con tres horas semanales, para lograr el aprendizaje de contenidos complejos desde un marco constructivista para lograr un aprendizaje sustentable (Galagovsky, 2004a, 2004b)?

Nuestro análisis sobre cómo enseñar estos temas señaló la necesidad de articular tres momentos. Primero, es imprescindible retomar con los estudiantes conceptos aprendidos en años anteriores sobre seres biológicos, tales como organismos unicelulares o pluricelulares (autótrofos y heterótrofos), organismos diferenciados en órganos y ecosistemas. Segundo, con todos esos conocimientos disponibles en la memoria de trabajo de los estudiantes (Mayer, 1985; Johnston, 1997) se debe reconstruir el concepto de “sistema abierto”. Finalmente deben encontrarse *rasgos comunes y diferenciales* entre los ejemplos concretos (generalmente descriptivos) de seres biológicos, para reconocer las propiedades emergentes y

comprender la clasificación en cada nivel de organización.

Pensamos que encontrar una analogía podía ayudarnos a planificar la enseñanza y a los estudiantes a comprender mejor el tema. Durante la planificación de la misma tuvimos en cuenta investigaciones y consideraciones teóricas de numerosos autores (Wong, 1993; Gabel, 1994; Aragón, 1997, 1999; Carneiro, 1999; Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001; Oliva, 2001; Fernández González et al., 2003). El presente trabajo es parte de la investigación realizada como tesis de licenciatura en Enseñanza de las Ciencias en la Universidad Nacional de San Martín (Greco, 2004).

2. MARCO TEÓRICO DESDE LA BIOLOGÍA

2.1. Los conceptos de propiedad emergente y de niveles de organización de los seres vivos

La biología como ciencia está adquiriendo una importancia preponderante desde las últimas décadas del siglo XX. La biología como disciplina escolar debería reflejar esa importancia desde una visión holista, que requiere un manejo de conceptos básicos y la posibilidad de interrelacionarlos en forma no reduccionista ni mecanicista.

Un concepto que necesariamente debe ser comprendido desde una visión holista es el de *propiedades emergentes*. Cuando un científico se aproxima a estudiar un “todo orgánico”, se recomienda que, además de comprender sus partes aisladas, pueda entender el funcionamiento del “todo” (Lorenz, 1993). Un análisis holista significa mostrar que “las causas de un efecto se van abriendo en otras causas y sus efectos, de manera tal que una causa siempre se relaciona con un conjunto de efectos y cada uno de esos efectos repercute sobre todas las causas”. Enseñar una idea estructurante de la biología requiere no solo que los estudiantes tengan las nociones científicas necesarias sino que, además, puedan integrarlas para su comprensión. Se buscaría, de este modo, que la disciplina enseñada en la escuela permita formar un ciudadano alfabetizado científicamente (Fourez, 1994).

Según Gagliardi (1986) un concepto estructurante “es un concepto cuya construcción transforma el sistema cognitivo, permitiendo adquirir nuevos conocimientos, organizar los datos de otra manera, transformar incluso los conocimientos anteriores”. Creemos que los conceptos de propiedad emergente y de niveles de organización de los seres vivos son estructurantes de la biología; su enseñanza desde un enfoque sistémico y holista favorecería la toma de conciencia por parte de los estudiantes sobre la problemática de múltiples causas y efectos, propia de esta disciplina científica.

2.2. El concepto ser vivo como modelo de sistema abierto

El concepto de vida y el de ser vivo se han construido a lo largo de la historia de las ciencias desde distintos puntos de vista; cada uno de ellos trajo consigo la elaboración de un “modelo” (Lombardi, 1998). Cuando hablemos en este trabajo de seres vivos lo haremos a partir de un modelo científico que considera a los *organismos* como

sistemas abiertos, con capacidades que no existen en los sistemas inanimados: como la de evolucionar; autorreplicación; crecimiento y diferenciación (siguiendo un programa genético); metabolismo, autorregulación (para mantener el complejo sistema en estado estacionario –homeostasis y retroalimentación); capaces de percibir y responder a estímulos del ambiente; con capacidad de cambio a dos niveles, el del fenotipo y el del genotipo. (Mayr, 1998: 37)

Este modelo no es el único que existe para caracterizar a los seres vivos. En el desarrollo de las ciencias biológicas existieron diferentes corrientes epistemológicas que, desde diferentes puntos de vista, trataron de describirlos. Bertalanffy (1934) criticó las explicaciones metafísicas de los vitalistas y las reduccionistas de los mecanicistas, atribuyéndole a la postura organicista la facultad de definir lo vivo desde la *teleonomía*¹ y su historia evolutiva. Tomó de la psicología el concepto de Gestalt y expresó su idea mundialmente reconocida, según la cual,

al unirse los electrones para dar el átomo, los átomos para dar la molécula (por ejemplo en la unión de los átomos de sodio (Na) y de cloro (Cl) para dar la sal de cocina (NaCl)), aparecen nuevas propiedades, imposibles de derivar de las de sus elementos. El átomo es, pues, una Gestalt frente a los electrones; la molécula, una Gestalt frente a los átomos. Algo análogo a lo que ya se observa en estos fenómenos elementales sucede con las propiedades fisiológicas básicas: el metabolismo, la excitabilidad, la procreación, etc., tampoco estas son concebibles por la suma de las propiedades de las combinaciones orgánicas de que constan. Estas propiedades son, en consecuencia, caracteres de la Gestalt que no pueden entenderse como suma atómica de las propiedades de los componentes (las combinaciones orgánicas, las células del estado celular). (...) Si se destruye la forma (Gestalt), la organización desaparece. (...) Las leyes físico-químicas, en virtud de su especificidad, son insuficientes para la biología.

¹Mayr, en su libro *Así es la biología* (1998), realiza una interesante defensa de este concepto que durante mucho tiempo estuvo confundido con el de teleológico. Él afirma que “los organismos vivos son sistemas adaptados, como resultado de la selección natural a que se vieron sometidas incontables generaciones anteriores. Se trata de sistemas programados para actividades teleonómicas (dirigidas a un objetivo), desde el desarrollo embrionario hasta las actividades fisiológicas y de comportamiento de los adultos”.

El concepto de *propiedad emergente* está directamente relacionado con el de organismo desde un enfoque sistémico de la biología. La posibilidad de tomar un sistema como parte de otro más global nos acerca a la noción de niveles de complejidad que, comenzando por la célula, se van distinguiendo hasta abarcar toda la materia viva del universo. Se considera a cada nivel de seres biológicos como un modelo con todos los atributos de un “sistema abierto”². Los todos de un nivel se convierten en partes de un nivel superior, la integración es resultado de la interacción de las partes. El concepto de emergencia entra aquí: cada nivel de integración, o *integrón*, tiene propiedades que no estaban en el nivel inmediato inferior, en el de los integrones (Mayr, 1998). Estas nuevas propiedades han emergido.

3. EL MARCO TEÓRICO DESDE LA PSICOLOGÍA DEL APRENDIZAJE

Este trabajo de investigación se realizó dentro de una concepción constructivista del aprendizaje. Hemos tomado como sustento teórico aportes puntuales de teorías o modelos de diferentes autores. De César Coll (1983, 1991) hemos tomado la idea de necesidad y voluntad de intervenir, como docentes, para facilitar la construcción de esquemas de conocimiento en los alumnos. Del enfoque de Vygotsky (1977) tomamos su idea sobre cómo la interacción dialéctica con los pares potencia el desarrollo de un niño. De Bruner (Coll, 1991) tomamos el concepto de “andamiaje”, como la ayuda provisoria y adecuada a las necesidades del niño que le ayudará a avanzar en los aprendizajes. Los trabajos de Gilly (1992) y de Perret-Clermont (1984) nos permitieron elaborar situaciones de conflictos sociocognitivos en el aula, basándonos en sus afirmación respecto que, cuando dos individuos interactúan, las opiniones o razonamientos de cada uno actúan como conflicto cognitivo para el otro, produciendo una perturbación que lleva al individuo a la búsqueda de un nuevo equilibrio.

Finalmente, tomamos de Johnson-Laird (Moreira, 1996) la idea de que no aprehendemos el mundo directamente, sino a través de representaciones internas de él, puesto que su percepción se realiza mediante la construcción de un modelo mental. Entre las características que reúnen los modelos mentales está el ser referenciales (son representaciones simbólicas de los referentes del discurso), concretos (representan fenómenos o estados de hechos específicos), simplificados e incompletos (reducen la información a los aspectos más relevantes), dinámicos y flexibles (se transforman con la aparición de nueva

²Las características de un sistema abierto son (Rincón, 1998): *interrelación e interdependencia de objetos, atributos, acontecimientos, etc.; totalidad; búsqueda de objetivos; insumos y productos; transformación; entropía; regulación; jerarquía; diferenciación; equifinalidad.*

información), análogos (presentan una analogía estructural y funcional respecto al estado de hechos o el fenómeno que representan) y limitados (su construcción y manipulación depende de los límites de la memoria de trabajo) (Barquero, 1995).

Todos estos marcos teóricos nos guiaron para generar situaciones didácticas partiendo de una analogía que debe funcionar como modelo mental con el cual los estudiantes pudieran procesar, por comparación, las subsiguientes informaciones científicas. Asimismo, las actividades favorecieron que los estudiantes expresaran sus propios modelos mentales, y que pudieran construir una imagen sobre sí mismos y sus capacidades, con el aporte de sus compañeros. Las actividades de autoevaluación debían generar autoconfianza (Bandura, 1987) para que los estudiantes pudieran apreciar no solo lo que ya sabían, sino lo que pudieron hacer con sus conocimientos.

4. EL MARCO TEÓRICO DESDE LA DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS

4.1. ¿Qué es una analogía?

La caracterización de analogía que adoptamos para este trabajo es la dada por Benjamín Sierra Díez (1995: 179):

[Analogía] es el procedimiento cognitivo que consiste en recurrir a un dominio de conocimiento para conocer o comprender mejor otro dominio total o parcialmente desconocido. Es decir, la analogía es un procedimiento que permite transferir conocimiento de unas áreas a otras, y que se pone en funcionamiento básicamente ante situaciones nuevas, parcial o totalmente desconocidas. Este procedimiento desempeña diferentes papeles en el sistema cognitivo humano: se utiliza en tareas de lenguaje, para favorecer la comprensión; en tareas de aprendizaje, para adquirir nuevos conceptos; en tareas de creatividad, para generar nuevas ideas, y en tareas de razonamiento, para resolver problemas.

En toda analogía existen dos componentes (Lawson, 1994; Godoy, 2002) que, en este trabajo, denominaremos la *información analógica* y la *información científica*. Esta última es el objeto de conocimiento abstracto y complejo que se desea sea incorporado como aprendizaje. La característica fundamental de una información analógica debe ser que utiliza conceptos y situaciones que tienen un claro referente en la estructura cognitiva de los estudiantes (Galagovsky, 2001).

Desde nuestra perspectiva didáctica (Galagovsky, 2004a, 2004b), se logra un *aprendizaje sustentable* cuando una información, externa al sujeto (ver figura 1a), es procesada de tal forma que logra vincularse correctamente a los *conceptos sostén* apropiados, ya existentes en la estructura cognitiva del sujeto que aprende (figura 1b). Los *conceptos sostén* (CS) permiten el procesamiento de la información a nivel consciente para dar lugar a un *conocimiento sustentado*.

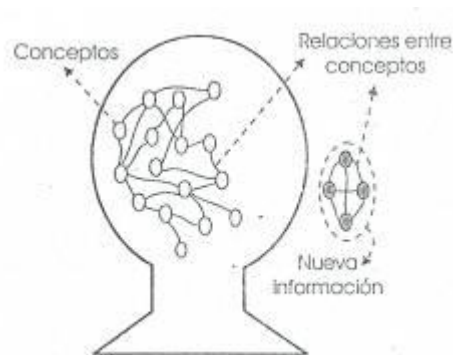


Figura 1a: La información es externa al sujeto.

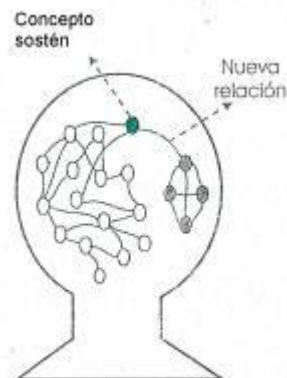


Figura 1b: Un aprendizaje sustentable: la información se relaciona correctamente con conceptos sostén ya existentes en la estructura cognitiva del sujeto.

¿Qué sucede si un sujeto no tiene accesibles en su conciencia los CS apropiados para procesar una nueva información? Sin esta vinculación, solo se puede lograr un *aprendizaje aislado*, desvinculado de los conocimientos preexistentes (figura 1c).

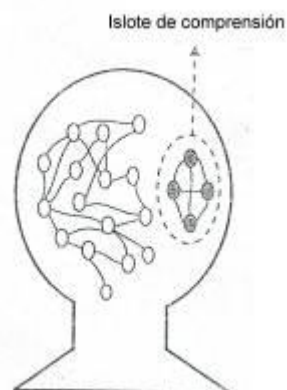


Figura 1c: Conocimiento aislado.

Nuestra hipótesis es que la utilización efectiva de una analogía debería implicar, en este modelo cognitivo, una suerte de conjunto de saberes auxiliares (provenientes de la información analógica) que ayudarían a los sujetos, a manera de andamiaje, en su apropiación cognitiva de la información a ser aprendida, tal como se muestra en la figura 1d.

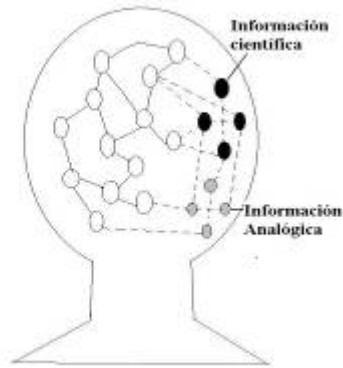


Figura 1d: Una analogía debería ayudar al procesamiento de la información científica.

4.2. ¿Qué es un Modelo Didáctico Analógico (MDA)?

Nuestra experiencia en el trabajo con analogías (Greco y Ferrari, 1998; Greco y Marín, 1998; Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001; Adúriz-Bravo y Galagovsky, 2003, 2004; Seferián, 2002), nos indica que la forma óptima de trabajar con ellas requiere que sean los propios estudiantes quienes construyan en sus estructuras cognitivas el conocimiento analógico a partir de *conceptos sostén* (CS). Este proceso se muestra esquemáticamente en la figura 2. El *conocimiento analógico* así constituido será luego utilizado para procesar la *información científica*. Es decir, la información analógica no es simplemente “transmitida” – explicada– por el docente frente a la recepción pasiva de los estudiantes. Muy por el contrario, los conceptos de la analogía deben construirse en la mente de los estudiantes, de tal manera que logren un *conocimiento sustentado* sobre la *información analógica* (figura 2). Este *conocimiento sustentado analógico* incluye aquellos *conceptos sostén auxiliares* (CS_{aux}) imprescindibles para la futura comprensión del tema científico (figura 3).

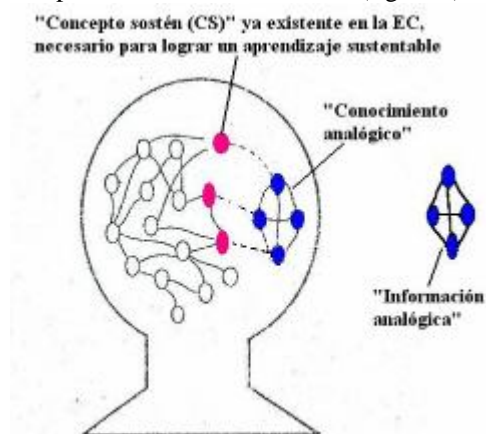


Figura 2: La información analógica se aprende de forma sustentable cuando logra construir una estructura de conocimientos.

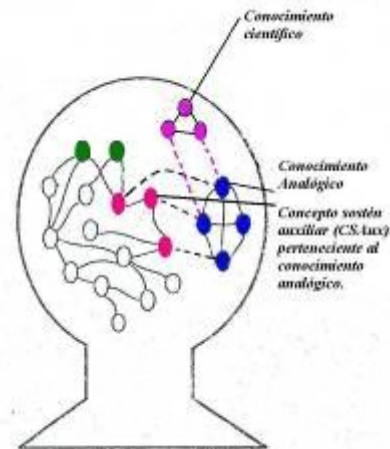


Figura 3: El conocimiento analógico contiene CS auxiliares que facilitan el procesamiento de la información científica.

En el trabajo de Galagovsky y Adúriz-Bravo (2001) se propone una forma original para trabajar con analogías: el *Modelo Didáctico Analógico* (MDA). Para llevar a cabo esta metodología, estos autores postulan la necesidad de presentar a los estudiantes un problema de resolución accesible (la analogía), permitirles arribar a diferentes soluciones y establecer tres momentos didácticos subsiguientes: el *momento anecdótico*, el de *conceptualización* y el de *metacognición*.

Investigaciones posteriores (Seferián, 2002) mostraron la complejidad del *momento de conceptualización*, que requirió ser subdividido en dos actividades claramente diferenciadas: el momento de *conceptualización sobre la analogía propiamente dicha*, y el momento de *correlación conceptual*. Por lo tanto, en el presente trabajo se consideraron las siguientes etapas del MDA:

1. **Momento anecdótico:** La analogía se presenta en forma de juego, o de problema que los estudiantes deben resolver en pequeños grupos. Todas las formas de resolver dicho problema son válidas si se basan en la formulación de hipótesis y argumentaciones que las expliquen. Los estudiantes elaboran soluciones al problema planteado, desde sus ideas, conocimientos previos y conceptos conectores. El registro escrito del trabajo es individual, pero las ideas se discuten en pequeños grupos.

2. **Momento de conceptualización sobre la analogía:** Es la búsqueda de consensos sobre cuáles son los conceptos fundamentales trabajados en la resolución del problema analógico. En una puesta en común, el docente ayuda a que sus estudiantes expresen las soluciones posibles al juego o al problema planteado, y a que resignifiquen aquellas palabras utilizadas con significados alternativos o ambiguos, o incluso les permite conocer nuevas palabras para definir conceptos para los cuales no tenían un vocablo descriptivo preciso. Estos serán los *conceptos sostén* que les permitirán procesar en sus memorias de trabajo la *información analógica* (ver figura 2). En este momento se consolida la

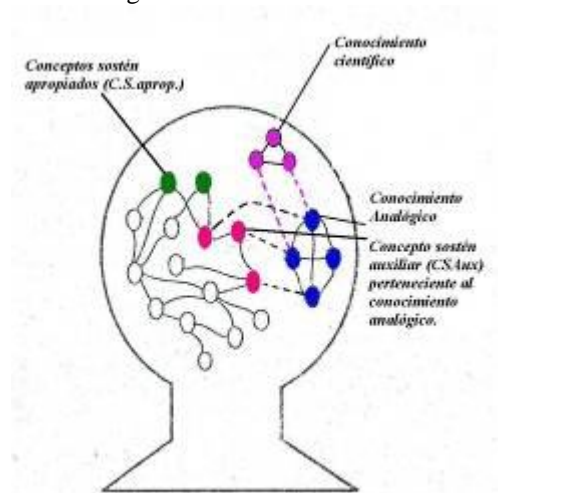
construcción del *conocimiento analógico sustentado*.

A su vez, estas palabras-concepto consensuadas entre los estudiantes y el docente serán los *conceptos sostén auxiliares* (CS_{aux}) (ver figura 3) para el siguiente momento de correlación conceptual. Es sumamente importante hacer explícitos a los CS_{aux} ; es decir, es necesario que los estudiantes tomen conciencia sobre los conceptos trabajados en la analogía y que quede registro escrito de los mismos³.

3. Momento de correlación conceptual: Esta actividad pone a los estudiantes en situación de procesar la información científica encontrándole significado y comprensión por comparación con los significados ya aprendidos en la *información analógica*, es decir, desde sus *conceptos sostén auxiliares* (CS_{Aux}), recientemente incorporados a su EC⁴.

La ida y la vuelta de correlación constante desde y hacia los conceptos de la analogía ayudan a los estudiantes a procesar la información científica, logrando generar nuevos *conceptos sostén*.

4. Momento de metacognición: Finalmente, esta etapa es de gran importancia porque requiere que el estudiante tome conciencia de los conceptos conectores que construyó (CS_{aux}), los conceptos erróneos que descartó y las nuevas relaciones aprendidas, que son los *conceptos sostén apropiados* (CS_{aprop}), tal como se grafica en la figura 4. En este momento surgen consideraciones conceptuales sobre los alcances y las limitaciones de la analogía.



3. **Figura 4:** Modelo de aprendizaje sustentado logrado tras haber realizado las actividades involucradas en el MDA.

³Se recomienda un formato de tabla para mejor comparación, en los momentos posteriores de correlación conceptual, entre estos conceptos de la analogía con los de la información científica.

5. APLICACIÓN DEL MARCO TEÓRICO A LA ENSEÑANZA DE NIVELES DE ORGANIZACIÓN DE LOS SERES VIVOS, PROPIEDADES EMERGENTES Y SISTEMA ABIERTO

5.1. Objetivos

Dado el propósito de enseñar los niveles de organización de los seres vivos a través de la teoría de sistemas, los objetivos específicos fueron:

- Diseñar una analogía adecuada y establecer una planificación didáctica según los lineamientos del MDA.
- Trabajar con las ideas previas, los esquemas de conocimiento y las representaciones mentales de los estudiantes sobre “sistemas abiertos”, “organismos vivos como sistemas abiertos”, “diferentes niveles de organización”.
- Analizar la utilización de los lenguajes cotidiano y científico como tensión en la comunicación entre expertos y novatos.
- Evaluar la efectividad del aprendizaje de los estudiantes por utilización del MDA, mediante la indagación de:
 - * El nivel de toma de conciencia de sus logros, a través de autoevaluaciones al finalizar cada actividad.
 - * Sus capacidades de armar un modelo simbólico sobre el concepto de organismo vivo como sistema abierto.
 - * Sus habilidades de construir definiciones de sistema abierto utilizando lenguaje científico.

5.2. Estructura de la experiencia

El marco teórico que fundamenta esta investigación didáctica es cualitativo, dentro del paradigma interpretativo (Colás Bravo et al., 1994). Los datos recogidos, consistentes en las propuestas escritas (tablas, cuestionarios, etc.) y reflexiones orales de los estudiantes, fueron registrados por diferentes métodos (fotocopias, grabaciones, registros posteriores a las clases, etc.) por la docente-investigadora. El escenario donde se desarrolló la investigación fue en una escuela pública del conurbano de la Provincia de Buenos Aires, con 30 estudiantes del último año de la Educación Polimodal con orientación en Ciencias Naturales, de edades comprendidas entre 16 y 19 años. El trabajo se realizó en el último mes de clases con una carga horaria de 3 horas reloj semanales, distribuidas en dos días.

La *información científica* se abordó desde cuatro ejemplos concretos: “El hombre”, “El árbol”, “Los organismos unicelulares autótrofos y heterótrofos” y “Los ecosistemas”. El orden elegido tuvo en consideración las realidades más próximas a los estudiantes. Estos ejemplos habían sido enseñados a los alumnos en años anteriores, sin embargo, era necesario poder evocarlos y reponerlos en sus *memorias de trabajo* (Johnstone, 1999) para relacionarlos desde una perspectiva holista. Para ello se elaboró, como información científica, un

texto informativo sencillo para cada ejemplo de ser biológico⁴.

La *información analógica* consistió en descubrir y organizar las relaciones estructura-función de una “fábrica genérica”. El desarrollo de las actividades (ver sección 3.3) se relacionó con los pasos del MDA de la siguiente forma:

- *Momento anecdótico*: Juego del Chinchón de la Fábrica.

- *Momento de conceptualización sobre la analogía*: Consenso sobre las estructuras y funciones de una “fábrica genérica”.

- *Momento de correlación conceptual*:

a) Comparación de la analogía con cada ejemplo de ser vivo (en tanto nivel de organización de la vida), en el siguiente orden:

- *La fábrica como análogo del hombre.*

- *La fábrica como análogo de un árbol.*

- *La fábrica como análogo de un organismo unicelular (autótrofo y heterótrofo).*

- *La fábrica como análogo de un ecosistema.*

b) Construcción de nuevos saberes:

- *Similitudes y diferencias entre los niveles de organización de los sistemas biológicos.*

c) Definición gráfica y verbal de sistemas abiertos.

- *Momento de metacognición*: Este momento fue abordado luego de cada actividad de correlación conceptual, evaluando la capacidad reflexiva de los estudiantes sobre la toma de conciencia acerca de los alcances y limitaciones en cada paso de comparación entre la analogía y los conceptos científicos.

Dada la novedad de la estructura didáctica de todo el módulo, que duraría un mes de clases, se pautó con los estudiantes un sistema no tradicional de calificación escolar: se otorgaría un punto dorado a cada trabajo-informe completo entregado en tiempo y forma, un punto rojo si estaba incompleto, y ningún punto si no se entregaba. El criterio esencial para otorgar los puntos no sería la elaboración de respuestas correctas, sino el compromiso con la tarea. Dado que nos interesaba hacer un relevamiento de las ideas previas de los estudiantes y de sus posibilidades de reflexión metacognitiva, resultó fundamental reforzar permanentemente esta valorización de las explicitaciones de sus propios procesos cognitivos. Este tipo de recompensas actuó positivamente, según se comentará en la sección 4.3.3.

⁴En nuestro ejemplo, la información científica se entregó en textos contruidos *ad hoc*, de extensión no mayor de dos páginas, en los que se utilizó un lenguaje científico cuidado. Se basaron en textos básicos de nivel terciario como son: Curtis y Barnes (1992) y Audersirk y Audersirk (1997).

5.3. Actividades y materiales utilizados en las clases

5.3.1. Construcción del conocimiento analógico sustentado: “las correlaciones estructura-función de una fábrica genérica”

El MDA se presentó como un juego de chinchón: cada grupo de cuatro estudiantes jugaba con un mazo de 40 naipes. Los 40 naipes contenían cuatro juegos completos. Cada juego incluía siete naipes nombrando las *estructuras* necesarias para una fábrica genérica y tres naipes especiales que indicaban: materias primas, productos elaborados (de cuatro tipos diferentes, correspondientes a fábricas de mermeladas, de gaseosas, de alfajores de dulce de leche o de aderezos como mayonesa y ketchup), y sus correspondientes programas de fabricación.

El juego consistía en armar una secuencia con 10 cartas distintas, que involucraran toda la estructura y el funcionamiento de una de las fábricas. El juego comenzaba repartiendo todas las cartas del mazo entre los jugadores. Cada jugador debía ir descartando por turno alguna carta que considerara no útil para construir su secuencia, y podía levantar de la mesa aquella carta que sí le fuese necesaria. Ganaba el estudiante que primero lograra la secuencia y pudiera justificarla ante sus pares.

Luego del juego se entregó a cada estudiante una hoja con una tabla semi-vacía; sólo la primera columna de la izquierda estaba completa con las leyendas correspondientes a cada una de las diez cartas (ver tabla 1 en el Anexo). Se les solicitó que completaran individualmente la segunda columna de la tabla con la *función* que cumple cada estructura en una fábrica genérica.

Luego de una discusión en pequeños grupos, durante la puesta en común, quedaron consensuadas las correlaciones estructura-función para una fábrica genérica. Las respuestas consensuadas y las respuestas esperadas desde la planificación se muestran en las columnas 2 y 3 de la tabla 1. Se puede apreciar que estas respuestas coinciden conceptualmente.

Esta tabla 1 fue el formato sobre el cual se establecieron subsiguientemente las comparaciones analógicas con las relaciones estructura-función de los diferentes ejemplos de seres vivos.

5.3.2 Construcción de la correlación entre la “fábrica genérica” y los conceptos científicos para cada nivel de seres vivos

Utges y Pacca (1997) recomiendan conocer las ideas previas de los estudiantes referidas tanto al concepto a enseñar como a la representación que tienen de la analogía. Nuestro enfoque incluyó esta sugerencia al permitir que los estudiantes completaran las tablas 1 a 3 (ver Anexo) desde su buen saber y entender, generando, con posterioridad, las situaciones de clase donde ellos pudieran reconstruir, tomar conciencia y socializar sus respuestas, autoevaluándose mediante registros

escritos con diferentes y sucesivos colores. Así, la enseñanza fue espiralada: los estudiantes llenaron columnas de “estructura específica- función específica” para cada organismo descrito, individualmente desde sus ideas previas y luego grupalmente, desde las lecturas de los textos científicos construidos *ad hoc*. Las tablas 2 a 5 del Anexo muestran los acuerdos finales a los que se llegó luego de las respectivas puestas en común. Los conceptos subrayados fueron los discutidos, corregidos o consensuados por los estudiantes y la docente, facilitando la toma de conciencia sobre conceptos inclusores erróneos y significaciones correctas, de acuerdo lo expresado en la sección 2.3.1 (figura 4).

5.3.3. Actividades de construcción de los conceptos de sistema abierto, propiedades emergentes y niveles de organización de los seres vivos, y actividades de metacognición

a) En este punto se pretendió que los estudiantes realizaran una abstracción para construir el concepto de *sistema abierto* a partir de haber comprendido la analogía y los ejemplos de seres vivos analizados. Se les pidió que compararan las tablas 2, 3, 4 y 5 del Anexo, completas y corregidas, para establecer las semejanzas y diferencias entre éstas. El objetivo de la actividad era que pudieran reconocer las estructuras como semejanzas, con características comunes para cualquier sistema abierto (Rincón, 1998), y detectar aquellas propiedades exclusivas para cada nivel, como propiedades emergentes (Mayr, 1998).

b) Una vez realizada esta actividad se buscó que los estudiantes construyeran de forma autónoma una definición del concepto de sistema abierto, mediante lenguaje verbal. Asimismo, se les pidió que eligieran o dibujaran un gráfico que interpretara este mismo concepto de sistema abierto. Como ayuda recibieron un material anexo consistente en cuatro ejemplos de modelos gráficos –dos de sistemas cerrados y dos de sistemas abiertos–, tomados de Aljanati y Wolovelsky (1995), Vogel y Angermann (1979) y Echarri (1998) (ver figura 5).

c) En la evaluación de este trabajo se buscó medir cuántos y cuáles estudiantes fueron capaces del salto conceptual que implicaba salir de un ejemplo concreto, de qué manera elaboraron la conceptualización, y cuál fue el grado de construcción que logró el resto.

d) Las etapas de metacognición se realizaron luego de analizado cada nivel de seres biológicos. Al final de las actividades se solicitó la contestación a un cuestionario, que se muestra en el cuadro 1 (ver Anexo).

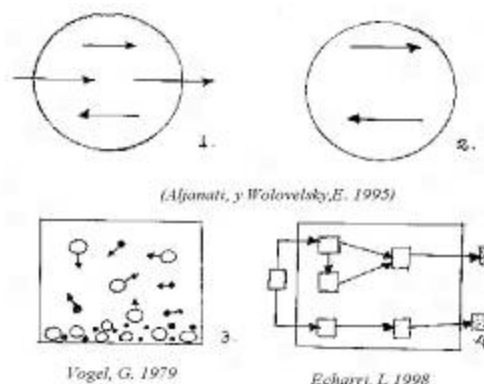


Figura 5: Ejemplos de sistemas abiertos y cerrados entregados por la docente (Actividad 3.3.3).

6. ANÁLISIS DE LAS ACTIVIDADES Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Las actividades planteadas en la sección anterior fueron muy productivas, pudiéndose analizar sus resultados desde las siguientes perspectivas:

1. Análisis de las ideas previas, esquemas de conocimiento y representaciones mentales de los estudiantes sobre la relación estructura-función de una fábrica genérica, del hombre, del árbol, de los organismos unicelulares y de los ecosistemas durante las actividades 3.3.1 y 3.3.2.
2. Influencia del lenguaje como interfase de comunicación entre expertos y novatos durante las actividades 3.3.1 y 3.3.2
3. Efectividad del MDA para la construcción de los conceptos de niveles de organización, sistema abierto y propiedades emergentes y como facilitador de reflexiones metacognitivas (actividades 3.3.3).

6.1. Análisis de las ideas previas

Los datos sobre ideas previas y esquemas de conocimiento fueron registrados por la docente investigadora en las diferentes producciones de los estudiantes: al completar las tablas, al autoevaluarse con distintos colores (ver sección 4.3) y durante las argumentaciones defendidas en las puestas en común. En las tablas 2 y 3 (Anexo) se encuentran remarcadas las ideas previas erróneas o imprecisas de los estudiantes (ver columna respectiva) correspondientes a los niveles biológicos hombre y árbol. Para los otros dos niveles biológicos no se indagaron las ideas previas por considerar que estos temas se estudian sólo en la escuela y que, probablemente, los estudiantes no tuvieran muchos conocimientos al respecto. La actividad de completar las tablas se realizó con la lectura simultánea de los textos con la información científica.

Pudo observarse un rápido acuerdo entre los estudiantes para conceptualizar las correlaciones estructura-función para la fábrica genérica. Con respecto a las correlaciones estructura-función para el hombre, resultó interesante constatar que aun en los estudiantes del último año de Polimodal en Ciencias Naturales, algunos expresaron una línea de

conocimiento reduccionista que se limita al sistema digestivo exclusivamente; hecho coincidente con investigaciones previas (Giordan y de Vecchi, 1988; Rodríguez Palmero, 1997; Cubero Pérez, 1998). Hubo también dificultades por ideas previas que relacionaban al corazón y la sangre como fuente de energía, y por considerar que el cuerpo humano no genera productos, sino que los consume ya elaborados, exclusivamente.

Con respecto al árbol, algunos estudiantes sostenían la idea antropocéntrica que ubica la existencia de los vegetales con la finalidad de proveer de alimentos a otros seres vivos, incluido el hombre. Con respecto a los organismos unicelulares y los ecosistemas, más que encontrar ideas previas, encontramos “esquemas de conocimiento”, tal como los caracteriza Coll (1983), por ser estos conceptos aprendidos con la mediación de un docente en el ámbito escolar. Los problemas más críticos surgieron al comparar los conceptos de la fábrica con organismos unicelulares porque la gran mayoría de los alumnos no los percibían como seres vivos.

Los estudiantes tampoco recordaron en forma sistemática la estructura y función de las mitocondrias en relación con la respiración celular. Consideraron la respiración como un proceso exclusivo de los pulmones y no vinculado a la liberación de energía. El resto de los procesos bioquímicos celulares les eran aún más desconocidos.

Si tenemos en cuenta que los contenidos referidos a la estructura y funcionamiento celular comienzan a enseñarse en el 2º ciclo de la enseñanza obligatoria (11 años de edad aproximadamente), ocupando la mayor parte del currículo de Ciencias Biológicas en la enseñanza del nivel Polimodal, esta observación es muy grave, pues se dedica mucho tiempo y esfuerzo a un contenido que no es aprendido en forma sustentable por los estudiantes. El uso de la analogía aquí fue determinante para que muchos de ellos pudieran reconocer la célula como un sistema y no como un compartimiento estanco, y sus subestructuras como partes interrelacionadas en un todo funcional y no como partes aisladas y desarticuladas.

La interpretación macroscópica de la estructura y dinámica de un ecosistema ofreció la misma dificultad para su comprensión que el nivel micro celular-molecular. Resultó evidente que los estudiantes no relacionan en forma significativa y sustentable los contenidos acerca de las interrelaciones entre las poblaciones que componen un ecosistema y sobre problemas ecológicos, a pesar de ser persistentemente enseñados en la escuela.

6.2. El lenguaje como interfase de comunicación entre expertos y novatos

La utilización de palabras tales como *nutriente*, *materia prima*, *insumos*, *productos* y *alimentos*, desde significados idiosincrásicos diferentes para

cada estudiantes y para la docente, evidenciaron problemas en la comunicación, hasta tanto se llegaron a acuerdos. Los estudiantes desplegaron argumentaciones sustantivas, mostraron sus conocimientos previos y las correlaciones sintáctico-semánticas que utilizaban. Esto permitió llegar a consensos sobre los marcos lingüísticos y cognitivos y quedó explícito el papel que juega el lenguaje como interfase de comunicación, aún con los casos de uso de palabras conocidas por todos ellos.

Por ejemplo, algunos estudiantes expresaron las siguientes afirmaciones:

- “En el cuerpo no entra materia prima.”

- “Ingresamos un producto y obtenemos materia prima.”

- “Por el cuerpo humano entran los dos (producto y materia prima).”

También se puso en evidencia que algunos estudiantes utilizaban términos desde un aprendizaje memorístico, sin poder argumentar o justificar las significaciones que les otorgaban. En muchos casos ellos mismos pudieron reflexionar sobre este punto, como con las siguientes afirmaciones:

- “Ahora entiendo que el oxígeno que incorporamos por la nariz nos permite realizar la oxidación celular llevado a cabo en las mitocondrias proceso en que la energía es uno de los resultantes junto con el agua y el dióxido de carbono.”

- “Lo nuevo, que antes no tenía claro, es que el citoplasma sea el edificio de los organismos ya que edificio me sonaba como la protección o unión con el medio.”

- “Comprendimos cada parte de los organismos unicelulares y sus funciones y qué cosas produce, cómo se alimenta, ya que en años pasados no lo vimos de esta forma.”

La traslación de palabras tales como “grupo electrógeno”, “distribución de energía” o “programa de fabricación” desde el contexto de la analogía al contexto de ejemplos biológicos, puso de manifiesto profundas falencias conceptuales en temas de biología, ya que muchos estudiantes comprendían perfectamente significados para la analogía de la fábrica, pero carecían de los conocimientos biológicos correlacionables. En estos casos los textos elaborados *ad hoc* funcionaron proveyendo información científica.

Los términos de “correlación estructura-función” que fueron utilizados casi cotidianamente en las clases fueron resignificados permanentemente por los estudiantes, a partir de comprenderlos rápidamente para la fábrica y, más dificultosamente, para cada ejemplo biológico.

Para trabajar con el concepto de propiedad emergente se les dio a los estudiantes la siguiente consigna: “Teniendo en cuenta las comparaciones que realizaron entre el funcionamiento de una fábrica y el hombre, el árbol, los organismos unicelulares y los ecosistemas, enumeren todas las similitudes que encuentren entre las tablas y propongan por lo menos una diferencia entre las

propiedades, características o funciones que sean exclusivas de cada una de las estructuras comparadas”.

Los estudiantes propusieron entonces como características similares:

- la necesidad de materia prima,
- la elaboración de un producto,
- el uso de energía para realizar sus actividades,
- un programa de organización genético,
- una estructura de soporte con lugares de entrada y salida para la materia,
- energía e información.

Como características diferentes encontraron:

- Para la fábrica, su capacidad para modificar a voluntad el programa de fabricación, su capacidad de no envejecer, y que no puede moverse o desplazarse.
- Para el hombre, su capacidad de razonar a partir de un sistema neuroendocrino altamente evolucionado.
- Para el árbol, la producción de su propio alimento y la reproducción sexual y asexual.
- Para los organismos unicelulares, el estar compuestos por una sola unidad.
- Para los ecosistemas, la falta de un límite definido en la mayoría de los casos, el no poder reproducirse, pero sí expandirse o reducirse, y que tampoco envejecen.

Finalmente, un hecho atractivo se manifestó en la dificultad de aplicación de las palabras “propiedad” y “emergente”. Al solicitar a los estudiantes la consigna anterior, con las palabras *similar* y *distinto* ellos eran capaces de indicarlo; sin embargo, si se les preguntaba luego cuál era la “propiedad emergente” de cada nivel, no estaban seguros sobre qué responder. Es decir, conceptualmente habían construido los conceptos apropiados, pero las palabras les generaban algún tipo de obstáculo⁵ más allá del concepto al que hacían referencia.

6.3. Efectividad del MDA en la construcción de los conceptos de niveles de organización, sistema abierto y propiedades emergentes y como facilitador de reflexiones metacognitivas

6.3.1. Durante las actividades 3.3.2

Como se dijo antes, para construir el concepto niveles de organización era necesario que los estudiantes encontraran las similitudes y diferencias entre cada uno de los distintos niveles. La

⁵Creemos que los significados alternativos de estas palabras más conocidos por los estudiantes podrían ser: la palabra “propiedad” como relacionada a la idea de “ser dueño de algo”, “de una casa o inmueble”, etc. Evidentemente, la significación del concepto de propiedad, como asimilable a “característica” no parecía fácil para ellos. Similarmente, la palabra “emergente” podría ser significada como “emergencia”, en el sentido de “urgencia” y no de “aparición” o “irrupción”. Decidir sobre estas cuestiones demandará más investigación.

construcción de las tablas jugó un papel fundamental de “andamiaje” (Coll, 1991). La tabla 1 (Anexo) se construyó sin el aporte de información científica, sólo trabajando desde la analogía. Estos conceptos de correlación estructura-función de la analogía fueron el caso longitudinal que facilitó los posteriores análisis. Una vez organizados los conceptos del primer andamiaje (la analogía), éstos fueron utilizados para la construcción del segundo caso, el hombre. En esta ocasión, también se trabajó primero con una puesta en común sobre las sobre las ideas previas de los estudiantes, y posteriormente analizando y discutiendo la información científica en una nueva puesta en común. Para las siguientes tres comparaciones con el árbol, los organismos unicelulares y los ecosistemas, los estudiantes ya habían comprendido la dinámica de las actividades. Cada celda completa de las respectivas tablas 3 a 5 (Anexo) fue un escalón, un pequeño “andamio” por donde debió recorrer el conocimiento de cada estudiante.

Siete estudiantes mostraron una apropiación especialmente provechosa del dispositivo analógico, ya que participaban muy activamente y su entusiasmo los llevaba, incluso, a objetar aquellos aspectos biológicos que les parecía que no podían analogarse. Su comprensión les permitió, también, indagar limitaciones de la analogía y proponer modificaciones en la misma.

Como caso opuesto estuvo el de un estudiante que desde un comienzo se mostró molesto por el trabajo y no compartió las actividades con sus compañeros. Interrogado luego para conocer cuál era la razón, hallamos que él no podía acceder a las correspondencias del análogo con ningún sistema biológico. Es decir, la falta de esquemas de conocimientos previos referidos a los diferentes sistemas biológicos lo forzaba a un retraimiento actitudinal, impidiéndole la toma de conciencia sobre qué tenían en común la fábrica y los seres vivos.

Otros estudiantes, que por inasistencias no participaron en las primeras discusiones, manifestaron tener dificultades a la hora de completar las tablas con la información analógica sobre la fábrica. Aunque ellos intentaron recuperar la actividad copiando lo escrito por sus compañeros, tuvieron dificultades para realizar las actividades 3.3.2 y 3.3.3. Este hecho estaría implicando en forma fehaciente la importancia de que todos los estudiantes pudieran construir-comprender la información analógica como técnica cognitiva que facilita el procesamiento de la nueva información científica (figura 2). Esta forma de trabajar con el MDA diferencia el uso tradicional que dan los docentes a las analogías, explicándolas como información acabada a los estudiantes, hecho que muy frecuentemente muestra a la analogía como un obstáculo y no como un facilitador del aprendizaje.

Los esfuerzos realizados por los estudiantes a lo largo de las clases para dar significado a las correlaciones entre los sistemas biológicos fueron

permanentemente asistidos por las referencias que ellos podían hacer con los conceptos de estructura-función de la fábrica, previamente comprendidos. Estas dificultades nos hacen reflexionar sobre la poca efectividad que habría tenido la enseñanza de este tema desde una lisa y llana presentación del mismo por parte del docente, como información acabada, ante estudiantes pasivos. Como evidencia muy satisfactoria del proceso cognitivo que se estaba gestando en muchos estudiantes, tuvimos la gratificación de documentar que muchos de ellos encontraron limitaciones de la analogía en relación con los seres vivos, tales como cuestionarse sobre la finalidad de la producción en una fábrica, su capacidad para modificar a voluntad el programa de fabricación, su capacidad de no envejecer, su incapacidad de desplazarse. En la discusión en clase surgió un rico debate en el que se profundizó el tema de la obtención de ganancias como el objetivo que tiene una fábrica y la capacidad de perdurar en el tiempo a partir de tomar decisiones sobre el tipo de producción que realiza. Estas características propias de la fábrica evidentemente excedían las comparaciones estrictas con los seres vivos. Es decir, desde nuestro modelo de aprendizaje, señalamos que la apropiación de la información analógica no sólo permitió a los estudiantes procesar la información científica (figura 3), sino que, efectivamente, les permitió reflexionar sobre las relaciones mutuas entre ambas informaciones (figura 4).

6.3.2. Durante las actividades 3.3.3

Para evaluar la capacidad de construcción de definiciones sobre sistema abierto, se buscó medir la precisión en las definiciones que ellos propusieron en función de cuántas de las diez características trabajadas sistemáticamente para la fábrica y los distintos sistemas biológicos fueron utilizadas. Todas las definiciones resultaron correctas y:

- dos grupos utilizaron nueve de las diez características
- dos grupos utilizaron seis,
- dos grupos utilizaron cinco, y
- cuatro grupos utilizaron cuatro características.

Con respecto a la selección o construcción de los esquemas sobre sistemas biológicos como sistemas abiertos, realizaron un total de 11 modelos gráficos; si bien ocho grupos dibujaron ejemplos de ecosistemas (que es un ejemplo concreto, en lugar de una abstracción), el nivel de la explicación y la coherencia fueron muy buenos. El resto de los grupos generó interesantes gráficos y ninguno se contentó con elegir uno de los entregados por la docente (sección 3.3.3b).

Podemos afirmar que la gran mayoría de los estudiantes demostró entender qué es un “modelo”, en sus dos sentidos:

- una abstracción de un recorte de la realidad que representa o esquematiza sus partes constituyentes y relaciones principales, y

- un caso especial de la realidad que muestra esas partes y esas relaciones: el “ser vivo” es un modelo; el “sistema biológico” es un modelo más abarcativo.

Las aclaraciones en lenguaje verbal que acompañaron a los modelos gráficos dieron cuenta de que no habían aprendido memorísticamente una sintaxis en un lenguaje verbal o gráfico, sino que podían expresar significados sostenidos y complementados desde ambos lenguajes.

6.3.3. Dificultades y logros evidenciados durante las actividades de metacognición

La metacognición es fundamental para que los estudiantes tomen conciencia de aquello que aprendieron y de las dificultades que tuvieron para comprender un concepto. Si son capaces de hacer este ejercicio podrán actuar sobre sus propias dificultades y ser conscientes de aplicar lo que aprendieron en nuevas situaciones.

Las reflexiones metacognitivas estuvieron presentes en cada cierre de actividades. Las consignas fueron diversas; por ejemplo, luego de completar la tabla 2 (el hombre), se les pidió que escribieran sobre “nos dimos cuenta que...”, “nos llamó la atención...”, “nos solíamos confundir...”. Luego del llenado de la tabla 3 (el árbol), dos grupos evidenciaron la toma de conciencia de la siguiente forma:

- “En la charla de hoy pudimos agregar a nuestro saber la comparación de una fábrica con respecto a las nuevas sucursales, es decir, la reproducción. De esto podemos destacar que las plantas pueden originar otra planta (sucursal) con sus mismas características genéticas por medio de la reproducción asexual, lo que se asimilaría más con respecto a lo que sucede con una fábrica.”

- “Nos pareció nuevo la savia que produce el árbol como el producto elaborado.”

El hecho de utilizar tres colores para las correcciones sobre las tablas –uno para las ideas previas, otro para la corrección de la tabla a partir del texto de apoyo y el último con los resultados de la discusión en clase– fue muy valioso para las reflexiones metacognitivas, ya que los ayudó a darse cuenta de qué cosas modificaron, cuáles agregaron y cuáles no necesitaron cambiar.

Luego del llenado de la tabla 4 (organismos unicelulares), algunos grupos comenzaron a animarse a decir qué no habían entendido; y también mencionaron, por primera vez, la importancia de la interacción con los otros compañeros y con la docente, en el momento de aclarar conceptos o comprenderlos. Un grupo comentó que los conceptos que estaban trabajando no eran nuevos, que ya los conocían, pero que les resultaba nuevo el tipo de relación que establecían entre ellos.

En la metaevaluación del nivel de ecosistemas, los estudiantes expresaron como mayor dificultad la actividad de “relacionar” el nivel microscópico con el macroscópico, desde la producción de materia

orgánica de los cloroplastos a la biomasa producida por los autótrofos dentro de un ecosistema.

Poco a poco los estudiantes fueron conscientes de sus ideas previas y de cómo éstas se habían modificado o persistían a pesar de las repetidas aclaraciones. Este tipo de reflexiones fueron internalizándose en los estudiantes como una nueva herramienta y creemos que esto se manifestó claramente en el momento de contestar la encuesta de evaluación final (recuadro 1 del Anexo), donde el 88% de los estudiantes consideró de utilidad el uso del análogo para comprender las relaciones entre los seres vivos, para ubicarse dentro de las comparaciones, y para aprender más sobre un tema que, supuestamente, ya sabían desde años anteriores. El 12 % restante fue mucho más allá y propuso otras analogías alternativas, como por ejemplo un auto o un parque industrial con un ecosistema. Esto nos indicó un importante grado de apropiación de nuestros objetivos por parte de los estudiantes.

La decisión de otorgar un punto dorado o rojo según el tipo de tarea realizada actuó como un motivador externo para los estudiantes, tal como afirman Bandura (1987) y Pozo (1996). El tipo de recompensa por sus esfuerzos los llevaba a exigir a sus compañeros que trabajaran en completar las tablas y a reprochar a aquellos que no lo hacían; incluso, en algunos casos, a apartarlos momentáneamente del grupo o a no colocar su nombre en los trabajos entregados. Estos estudiantes que habían sido desplazados, lejos de mostrarse indiferentes, se acercaban a la docente para pedir el material y hacer la actividad en forma individual. Estos comportamientos nos estarían indicando una valoración de la actividad cognitiva y la toma de conciencia sobre el esfuerzo que demandaba, imprimiéndole a la interacción estudiante-grupo una búsqueda del equilibrio también en actitudes.

También el 88 % de los estudiantes comentó que le pareció positivo escuchar a sus compañeros en las discusiones, porque aportaban un punto de vista distinto, o porque a partir de conocer cómo razonaban podían entender qué aspectos no habían apreciado antes. Tal como lo afirmaron Vygotski (1977) y Bruner (Coll, 1991), pudo observarse desde la práctica la efectividad del andamiaje entre pares para la toma de conciencia y el aprendizaje.

7. ANÁLISIS DE LAS LIMITACIONES DE LA ANALOGÍA

El diseño de la analogía conducía, inevitablemente, a limitaciones tales como:

- En la fábrica reconocemos un dueño o jefe que da las ordenes y que las cambia a voluntad. En un ser vivo no podemos hablar de voluntad sino de coordinación de funciones establecidas por millones de años de evolución. En el hombre existe el propósito para realizar actividades, pero éste no puede alterar funciones autónomas de su cuerpo.

- La demanda del mercado en una fábrica lleva a aumentar o reducir la producción. En la interacción con el medio ambiente, los organismos reaccionan mediante sistemas coordinados con anterioridad, no por propia voluntad.

- Cuando se altera un programa de fabricación, se puede reponer cambiándolo total o parcialmente, sin afectar a las otras estructuras o bien teniendo en cuenta las posibles modificaciones. La alteración de un programa en un ser vivo lleva generalmente a transformaciones que pueden ser causa de muerte, porque el sistema no puede acomodarse a esos cambios.

- En las fábricas podemos hablar de un límite definido del sistema; sin embargo, esto no se cumple en el caso de los ecosistemas.

- En la fábrica, la producción sale para ser vendida; en los ecosistemas, la salida de materia consiste en su transformación para que pueda volver a ser utilizada en general por el mismo ecosistema.

- En esta analogía no se habló de operarios de la fábrica, no fueron comparados con nada. Sin embargo sabemos que una fábrica existe con operarios, no hay aún fábricas totalmente automatizadas. En nuestra analogía la fábrica considerada funciona en forma automática.

Al trabajar en el aula se comprobó una rápida apropiación de la analogía y su utilización reiterada por los estudiantes para explicar o aclarar aspectos de los niveles biológicos comparados. En esta apropiación también figuraban aquellos elementos que considerábamos como no analogables a un sistema vivo y surgieron nuevas limitaciones a la analogía. Por ejemplo, un grupo consideró el movimiento como *producto* que sale de nuestro cuerpo, y otro incorporó la idea de la producción de nuevas células o individuos como *producto elaborado* por un ser vivo. Se cuestionó sobre si la reproducción podría tener un análogo en la fábrica, iniciándose una rica discusión acerca de cómo y por qué se produce la reproducción en el hombre y cuál sería su equivalente en la fábrica. También apareció el concepto de “capital de la fábrica”, interpretado como la inversión inicial para instalarla, o como un aumento en las ganancias que permitiera abrir nuevas sucursales, hecho que es una decisión tomada por un grupo de personas, y cuyo diseño está planificado desde un comienzo. En el hombre, determinadas condiciones físicas y ambientales permiten la reproducción, mientras que él no puede decidir sobre las características del hijo.

También surgió como una limitación evidente de la analogía la inmovilidad de la fábrica, sólo en correspondencia con el árbol y los ecosistemas. Para solucionar la limitación del movimiento en la fábrica, los estudiantes emplearon el término de “marketing” como posibilidad de una fábrica de instalarse en un mercado y competir con otras. Esto lo analogaron con la capacidad de moverse en los seres vivos buscando mejores condiciones.

En las discusiones muchos estudiantes se interesaron por mejorar la analogía: surgió la idea de analogar los estímulos que perciben los seres

vivos a algún proceso de la fábrica. Un estudiante planteó la idea de la compra-venta como análogo de la relación estímulo-respuesta. Es decir, los organismos modificarían su comportamiento como lo haría la ponderación de la oferta y la demanda de los productos de una fábrica: si hay ventas aumenta la producción y viceversa.

Los estudiantes reflexionaron también sobre la evolución de los ecosistemas a partir de un ambiente cambiante, y las migraciones de los seres vivos como entrada y salida de materia y energía dentro de un ecosistema. Una de las estudiantes propuso al ambiente como un programa de fabricación, justificando esto a partir de observar que el ambiente a veces genera estímulos como para que una determinada especie tenga tanta cantidad de individuos y que se genere cierto equilibrio.

Esta idea llevó a cuestionar de qué manera el medio ambiente influye en la evolución de las especies y si la respuesta de los seres vivos es lamarckiana o darwiniana.

Al diseñar la analogía las similitudes y diferencias entre la fábrica y los ecosistemas, en el punto referido a la entrada de materia y energía, pensamos en hacer hincapié en la *entrada de materia prima* a organismos productores y la producción de biomasa; y como salida de materia se pensó que la materia no se elimina, se recicla, y que en todas las comunidades realizan esta función principalmente los descomponedores. Los estudiantes, en este punto, propusieron nuevos conceptos correctos: las migraciones y la extinción de las poblaciones como otros mecanismos de salida de un ecosistema. También apareció como un concepto aprendido que debimos relacionar la materia que puede salir de un ecosistema a partir de mecanismos o ciclos mayores de la materia, tales como el ciclo del agua o los vientos, capaces de transportarla a grandes distancias.

En resumen, los estudiantes descubrieron por sí solos las limitaciones de la analogía que habíamos pensado y abrieron nuevas discusiones que enriquecieron las conceptualizaciones, tanto de la analogía como de los contenidos científicos.

8. CONCLUSIONES

El trabajo con el Modelo Didáctico Analógico fue sin duda un desafío para concretar los objetivos propuestos. Resultó imprescindible la buena relación establecida entre la docente y el grupo de estudiantes, sin lo cual no hubiera sido posible desarrollar el nivel de exigencia que tuvo esta actividad para el grupo.

La analogía, trabajada en situación de MDA, se constituyó como *conocimiento analógico* en la estructura cognitiva de los estudiantes (figura 2). Este conocimiento analógico contenía los *conceptos sostén auxiliares* que facilitarán, posteriormente, el procesamiento de la *información científica* respecto de las relaciones estructura-función descritas a partir de diferentes ejemplos de sistemas biológicos (figura 3). Estos conceptos sostén auxiliares

funcionaron como un *andamiaje* para el procesamiento de la información científica que, siendo variada y compleja, se trabajó en un permanente ida y vuelta con la analogía.

La planificación logró que los estudiantes construyeran el concepto de “modelo de organismo biológico”. El pensamiento analógico les permitió adquirir conocimiento sustentable sobre modelos complejos; es decir, crearon modelos mentales que representaron con palabras y gráficos, de categoría no isomórfica a las situaciones reales que representaban (el hombre, el árbol, los microorganismos, los ecosistemas). Es decir, los estudiantes pudieron hacer representaciones gráficas que son modelos abstractos con un lejano referente del mundo real. Podemos decir que esta abstracción en las mentes de los estudiantes constituyó nuevo conocimiento, apoyado en *conceptos sostén apropiados* (CS_{aprop}), según indica la figura 4.

La analogía promovió un desequilibrio óptimo y accesible para las capacidades cognitivas de los estudiantes (Coll, 1987); cada actividad los motivó a seguir comprometiéndose con el aprendizaje significativo y sustentado. En este sentido, coincidimos con Pozo (1996) y Nieda y Macedo (1997), que señalan que los estudiantes deben “ser motivables”, y no coincidimos con Novak (1984, 1999), que exige que los estudiantes “estén motivados” de antemano para lograr un aprendizaje significativo.

¿Habrían respondido los estudiantes con igual grado de compromiso y motivación con una unidad didáctica donde el docente, simplemente, hubiera impartido la información científica? Creemos que no. Es evidente que la alternativa de un docente “transmitiendo información” ante estudiantes pasivos requeriría mucho menos tiempo de clase. Nuestra postura es que los procesos cognitivos y metacognitivos observados en los estudiantes, favorecidos por la dinámica de la discusión grupal⁶, son imprescindibles para un aprendizaje sustentado. Se trata de invertir tiempo de clase en este tipo de actividades (Galagovsky, 1993).

Aún serán necesarias nuevas investigaciones para evaluar si la capacidad para razonar analógicamente puede generalizarse a todos los individuos, qué condiciones particulares la limitan, y qué nuevas posibilidades plantea la utilización de analogías en situación de MDA como estrategia de enseñanza.

REFERENCIAS

ADÚRIZ-BRAVO, A. y GALAGOVSKY, L.R. (2003). Analogical Modeling for Science Teaching: Theoretical and practical guidelines for a new pedagogical device. *76th Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching*. Filadelfia, EE.UU., 1-3 de abril.

⁶Tal como afirmaba Vygotsky, “el hombre se relaciona con la sociedad a través de los instrumentos dados por la cultura: las herramientas y los signos”.

- ADÚRIZ-BRAVO, A. y GALAGOVSKY, L.R. (2004). Some theoretical and practical considerations for the use of analogies in the chemistry class. *18th International Conference on Chemical Education*. Estambul, Turquía, 2-8 de agosto.
- ALJANATI, D. y WOLOVELSKY, E. (1995). *Biología 1: La vida en la Tierra*. Buenos Aires: Colihue.
- ARAGÓN, M.M., BONAT, M., CERVERA, J., MATEOS, J.E. y OLIVA, J.M. (1997). Las analogías como estrategia didáctica en la enseñanza de la física y de la química. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra V Congreso, 235.
- AUDERSIRK, T y AUDERSIRK, G. (1997). *Biología. La vida en la Tierra*. México: Prentice Hall.
- BANDURA, A. (1987). *Pensamiento y acción. Fundamentos sociales*. Barcelona: Martínez Roca. Edición original en inglés de 1986.
- BARQUERO, B. (1995). La representación de estados mentales en la comprensión de textos desde el enfoque teórico de los modelos mentales. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid. Citado en RODRÍGUEZ PALMERO, M.L. y MOREIRA, M.A. (1999). Modelos mentales de la estructura y el funcionamiento de la célula: dos estudios de casos. *Enseño*, 4(2). <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>
- BERTALANFFY, L. (1934). Teoría del desarrollo biológico. Introducción a la biología teórica. Volumen I. Biblioteca de la Universidad de la Plata.
- CARNEIRO, M.H. DA S. (1997). O uso de analogías no ensino de ciencias: obstáculo ou facilitador de aprendizagem?. Enseñanzas de las ciencias. Número extra. V congreso. Pág.241.
- COLÁS BRAVO, M.P. y BUENDÍA EISMAN, L. (1994). *Investigación Educativa*. 2º Edición. Ed. Alfar, Sevilla, España.
- COLL, C. (1983). La construcción de los esquemas de conocimiento en el proceso de enseñanza aprendizaje. Pág. 183-201 En. C.Coll (compilado) *Psicología genética y aprendizajes escolares*. Madrid. Siglo XXI.
- COLL, C. (1987). *Psicología y Currículo*. Barcelona: Laia.
- COLL, C. (1991). Aprendizaje escolar y construcción del conocimiento. Paidós Educador. Bs. As. Capítulo. 8 La construcción del conocimiento en el marco de las relaciones interpersonales y sus implicaciones para el currículum escolar. Pág. 182.
- CUBERO PÉREZ, R. (1998). Aprendizaje de la digestión en la enseñanza primaria. Monografía. Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales. N° 16. Ed.Graó. Barcelona. pág. 33-43.
- CURTIS, H y BARNES, N. (1992). *Biología*. Editorial Médica Panamericana 5º edición, Buenos Aires, Argentina.
- DRIVER, R; GUESNE, E., TIBERGHIE, A. (1996) Algunas características de las ideas de los niños y sus implicaciones en la enseñanza. Ideas científicas en la infancia y la adolescencia. Tercer Edición Editorial Morata, S.L.
- ECHARRI, L. (1998). *Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente*. Ed. Teide <http://www.tecnun.com/asignaturas/ecologia/Hipertexto/00General/Principal.html>
- FERNÁNDEZ GONZÁLEZ, J., GONZÁLEZ GONZÁLEZ, B. MORENO JIMÉNEZ, T. (2003). Las analogías como modelo y recurso en la enseñanza de las ciencias. *Alambique*. N° 35. pág.82-89.
4. FOUREZ, G. (1994) Alfabetización científica y tecnológica. Colihue: Buenos Aires
- GABEL D.L and BUNCE, M. D. (1994). Research on Problem Solving: Chemistry, en *Handbook of Research in Science Teaching and Learning*, Gabel Ed., MacMillan Publishing Company, NY.
- GAGLIARDI, R. (1986) Los conceptos estructurales en el aprendizaje por investigación. *Enseñanza de las ciencias*, 4 (1) p.30-35
- GALAGOVSKY, L. (1993). Hacia un nuevo rol docente. Editorial Troquel, Buenos Aires, Argentina.
- 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.
- GALAGOVSKY, L.R. (2004). Del aprendizaje significativo al aprendizaje sustentable. Parte I. El modelo teórico. *Enseñanza de las Ciencias* 22(2), 229-240.
- GALAGOVSKY, L.R. (2004). Del aprendizaje significativo al aprendizaje sustentable. Parte II. Implicancias comunicacionales y didácticas. *Enseñanza de las Ciencias*, en prensa.
- GILLY, M (1992) Interacción entre pares y construcciones cognitivas: modelos explicativos. En A. N. Perret-Clermont y M. Nicolet, *Interactuar y conocer*. Buenos Aires: Miño y Dávila.
- GIORDAN, A. Y DE VECCHI, G. (1988). Los Orígenes del Saber. Capítulo 1 "El saber científico se digiere mal". Pág 37-40.
- GIORDAN; A; VECCHI, G DE (1999). Los orígenes del saber de las concepciones personales a los conceptos científicos. Díada Editora S.L. España.
- GODOY L (2002). Sobre la estructura de las analogías. *Interciencia* 27(11) 422-429.
- GRECO, M., FERRARI, H. (1998) Enseñanza de las ciencias experimentales mediante la creación de modelos científicos por parte de los alumnos. Libro de actas del congreso Iberoamericano de Educación en Ciencias Experimentales, La Serena, Chile. Sección Enseñanza-Aprendizaje de Ciencias Experimentales, p. 87 – 90.
- GRECO, M; MARÍN, G. (1998) Una experiencia con modelos en el aula: conclusiones y recomendaciones. Libro de actas del Congreso Iberoamericano de Educación en Ciencias Experimentales, La Serena, Chile, Enseñanza aprendizaje de Ciencias Experimentales, p.11 - 13

- JOHNSON-LAIRD, P. (1996). Images, Models, and Propositional Representations, en Models of Visuospatial Cognition, Manuel de Vega, Margaret Jean Intons Peterson, Philip Johnson-Laird, Michel Denis y Marc Marschark, Cap.3 pp 90-126, New York, Oxford, Oxford University Press. Citado por OTERO, Ma. R. 1999. Psicología cognitiva, representaciones mentales e investigación en enseñanza de las ciencias. Vol.4 N°2. Agosto. Instituto de Física, Universidad Federal do Río Grande do sul. Porta Alegre, Brasil. <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>
- JOHNSTONE, A. H. (1999). Chemistry Yeaching-Science of Alchemy?. Journal of Chemical Education, 74 (3), 262-268.
- LAWSON, A. (1994). Research on the Acquisition of Science Knowledge: epistemological foundations of cognition; en Handbook of Research in Science Teaching and Learning, Gabel Ed., MacMillan Publishing Company, NY.
- LOMBARDI, O. (1998) La noción de modelo en ciencias. Revista de Educación en ciencias, U.N.S.M. Vol.11 N°4 p. 5-13.
- LORENZ, K. (1993) La ciencia Natural del Hombre, el manuscrito de Rusia, Metatemas, vol.32, Tusquets Editores, , Barcelona, España.
- MAYER, R.E. (1985). *El futuro de la psicología cognitiva*. Madrid: Alianza.
- MAYR, E. (1998). *Así es la biología*. Madrid: Debate.
- MOREIRA, M.A. (1996). Modelos Mentais. Investigaciones en Enseñanza de las Ciencias. Vol.1, N°3. Dezembro. Instituto de Física, Universidad Federal do Río Grande do Sul. Porta Alegre, Brasil. <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>
- NIEDA, J; MACEDO, B. (1997). Un currículo científico para estudiantes de 11 a 14 años. O.E.I. España. UNESCO. Santiago. Chile. Impreso en España.
- NOVAK, J.D. (1991). Ayudar a los alumnos a aprender cómo aprender. La opinión de un profesor investigador. Enseñanza de las ciencias, 9 (3), 215-228
- OLIVA, J.M., ARAGÓN, M.M., MATEO, J. BONAT, M. (2001). Una propuesta didáctica basada en la investigación para el uso de analogías en la enseñanza de las ciencias. Enseñanza de las Ciencias, 19 (3), 453-470.
- PERRET-CLERMONT, A.N. (1984). Discusión general de los resultados. En La construcción de la inteligencia en la interacción social. Madrid. Visor.
- RINCÓN, J (1998) Cooperación del Personal Académico: Mecanismo para la integración del Sistema Universitario Nacional. Universidad Simón Rodríguez San Fernando de Apure. Venezuela.
- RODRÍGUEZ PALMERO, M.L. (1997) Revisión bibliográfica relativa a la enseñanza/aprendizaje de la estructura y del funcionamiento celular. Investigações em Ensino de Ciências, vol 2, N° 2. Porto Alegre. <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>
- RODRÍGUEZ PALMERO, M.L; MOREIRA, M.A. (1999) Modelos mentales de la estructura y el funcionamiento de la célula: Dos estudios de casos. Investigações em ensino de ciencias, 4(2). Versión electrónica. <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista>
- RODRÍGUEZ PALMERO, M L (2001) Revisión bibliográfica relativa a la enseñanza/aprendizaje de la estructura y del funcionamiento celular. Investigações em ensino de ciencias, 2(2). Versión electrónica. <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista>
- SEFERIÁN, A. (2002). Aplicación de un análogo concreto en situación de modelo didáctico analógico (MDA) para el estudio de la teoría cinético molecular de los gases. Tesis de Licenciatura en Enseñanza de las Ciencias, Universidad de General San Martín, Buenos Aires, Argentina.
- SIERRA DÍEZ, B. (1995). Cap. 9 Solución de problemas por analogía ,en el libro de Carretero, M. Almaraz, Razonamiento y Comprensión. Editorial Trotta, Madrid, España.
- UTGES, G. y PACCA, J.L.A. (1997). Modelos y analogías en la comprensión de la noción de onda. Enseñanza de las ciencias, Número extra. V Congreso. Pág. 227.
- VOGEL, G. y ANGERMANN, H. (1979). Atlas de Biología. Ediciones Omega, S.A. España. Pág.36.
- VYGOTSKI, L. S. (1977). From the notebooks of L.S.Vygotski, Moscou University Record. Psychology. Series XV. Abril -Junio. Pág. 89-95. Citado por Riviere, A. 1988. op. cit. pág.43.
- WONG, E.D. (1993). Self-generated analogies as a tool for constructing and evaluating explanations of scientific phenomena. Journal of Research in Science Teaching, 30 (4), 367-380. Citado por ARAGÓN, M.M., BONAT, M., CERVERA,J., MATEOS, J. E OLIVA, J.M. 1997. Las analogías como estrategia didáctica en la enseñanza de la física y de la química. En Enseñanza de las ciencias, número extra V Congreso, 235.

Anexo: Tablas y cuadros.

Tabla 1. Tabla base del juego de naipes. Relaciones entre las estructuras y las funciones de una fábrica genérica.

ESTRUCTURA (correspondiente a cada uno de los naipes)	FUNCIÓN (consensuada en el aula)	FUNCIÓN (respuesta esperada)
Edificio o construcción donde están los equipos necesarios.	Espacio físico- Protección. Organiza. Se desarrolla el proceso de producción.	Protege las estructuras de la fábrica, separando lo que está dentro de lo que está afuera. Posee espacios en donde es posible el intercambio entre lo que está adentro y lo que está afuera.
Lugares para la entrada de materia prima.	Selecciona, clasifica, separa la materia. Lugar de ingreso y control.	Sistema que permite y controla la entrada de materia prima.
Materia prima.	A partir de ella se obtiene el producto. Es indispensable para que se lleve a cabo el proceso. Son los insumos. Compone la base del producto.	A partir de ella se puede elaborar un producto.
Programa de fabricación.	Instructivo. Orden que se da a la producción.	Contiene las instrucciones necesarias para que se puedan manejar las máquinas y elaborar un determinado producto.
Maquinarias de producción.	Elaboran, transforman la materia prima. Tecnología que permite la producción en masa. Facilita el trabajo y acorta el tiempo.	Combinan y procesan la materia prima, para obtener un producto.
Producto elaborado.	Producto final que se obtiene a partir de materia prima. Meta de la fábrica. Es lo que se vende. Resultado de la producción.	Satisface las demandas internas o externas.
Grupo electrógeno y distribución de la energía.	Otorgan energía para la producción y funcionamiento de las máquinas. Hace posible el producto.	Brinda energía para que funcionen las máquinas.
Sistema de transporte de la materia y el producto dentro de la fábrica.	Distribución del producto a las diferentes áreas. Facilita el transporte. Mantienen el orden.	Transporta tanto la materia prima, la materia elaborada, o los desechos por el interior de la fábrica a los lugares donde son requeridas o están destinadas.
Depósito de materia prima y del producto elaborado.	Almacenamiento, conservación.	Guarda la materia prima o el producto elaborado hasta que fuese necesario su consumo o exportación.
Lugares de salida para los productos y para el material de descarte.	Distribución del producto. Lugar de eliminación de desechos.	Sistema de control de salida del producto elaborado y de los desechos.

Tabla 2. Cuadro comparativo entre la analogía de la fábrica y el hombre.

FÁBRICA	HOMBRE (ideas previas)	HOMBRE (consenso grupal, luego de la lectura del texto informativo)	HOMBRE (respuestas esperadas)
ESTRUCTURA		ESTRUCTURAS Y FUNCIONES ESPECÍFICAS	
Edificio o construcción donde están los equipos necesarios.	El Esqueleto, las articulaciones, los músculos (protegen, dan fuerza y movimiento). El sistema digestivo y respiratorio, los alvéolos (intercambio CO ₂ -O ₂) En la boca entran los alimentos. La piel y las mucosas. Cuerpo humano. Membrana nuclear (separa los órganos).	El Esqueleto, las articulaciones, los músculos (protegen, dan fuerza y movimiento). La piel y las mucosas. Cuerpo humano.	Piel, esqueleto, músculos.
Lugares para la entrada de materia prima.	En el cuerpo humano entran productos , no materia prima . Boca (entran los alimentos y una enzima comienza la digestión) La materia prima son los alimentos, agua, aire. Ingresan por boca, nariz.	En el cuerpo humano entran productos, materia prima. boca (entran los alimentos), sistema digestivo. La materia prima son los alimentos, agua, aire. Ingresan por boca, nariz (sistema respiratorio) Pueden entrar microorganismos por la piel. Los órganos de los sentidos y el sistema nervioso nos permite percibir el medio externo.	Aparatos respiratorio, digestivo.
Materia prima.	Ingerimos materia prima a través de los productos . Nutrientes en general, aminoácidos, O ₂ , glucosa. Los alimentos. De los alimentos obtenemos energía.	Ingerimos materia prima a través de productos. Nutrientes en general, aminoácidos, O ₂ , glucosa. Los alimentos. De los alimentos obtenemos energía.	Agua, iones, sales, moléculas biológicas, oxígeno. Alimentos complejos. Provee los nutrientes necesarios para que el cuerpo produzca sus propias moléculas y realice todas las actividades.
Programa de fabricación.	ADN . Sistema digestivo (ordenamiento de los órganos, procesos que modifica y clasifica) Enzimas. Cerebro (dirige a los órganos)	ADN, tiene instrucciones para sintetizar enzimas que controlan el funcionamiento del cuerpo. Cerebro (dirige a los órganos), sistema neuroendocrino.	Sistema neuroendocrino. Información genética hereditaria. Coordina el funcionamiento de todos los órganos y la relación con el medio interno y externo.
Maquinarias de producción.	Sistema digestivo. Las células. Los órganos. Estómago Esófago, hígado, intestinos.	Sistema digestivo. Las células. Los órganos. Estómago Esófago, hígado, intestinos.	Glándulas y órganos del cuerpo. Enzimas y órganos.

Producto elaborado.	<u>Alimentos. Nutrientes.</u> Energía. CO ₂ . <u>No producimos nada.</u>	Nutrientes. Energía. CO ₂ . ATP. Calor. Agua. Nuevas células y nuevos individuos.	Hormonas, enzimas, proteínas y lípidos en general.
Grupo electrógeno y distribución de la energía.	Los alimentos. Glucosa. <u>Corazón.</u> Células. ATP.	Glucosa. Células. ATP. Mitocondrias.	En todas las células del cuerpo. Las estructuras específicas son las mitocondrias. La energía química de los alimentos se transforma en otros tipos de energía. Moléculas de ATP. La energía fluye entre las diversas transformaciones químicas y parte se disipa como energía calórica.
Sistema de transporte de la materia y el producto dentro de la fábrica.	Sangre. Vía venosa. <u>Sistema digestivo.</u> Sistema circulatorio.	Sangre. Vía venosa. Sistema digestivo. Sistema circulatorio, respiratorio, excretor, endocrino.	Entre los sistemas están las venas y arterias del sistema circulatorio. Las vías respiratorias. Relacionan a todos los órganos del cuerpo humano, llevando los nutrientes necesarios y transportando los productos elaborados a diferentes estructuras en donde son utilizadas.
Depósito de materia prima y del producto elaborado.	Tejidos, sangre, paredes de los órganos. Células. Estómago. Tejidos adiposos. No tenemos depósito.	Tejidos, paredes de los órganos. Células. Tejidos adiposos. Hígado.	Dentro de cada célula del cuerpo se almacenan los productos elaborados, como también en algunos tejidos adiposos, hígado. Se acumula grasas o hidratos de carbono complejos. Reservan los productos para utilizarlos según los requerimientos metabólicos del organismo.
Lugares de salida para los productos y para el material de descarte.	Intestino grueso. Sistema excretor y urinario. Pared celular. Movimientos corporales producen gasto de energía. Ano. Sistema respiratorio.	Intestino grueso. Sistema excretor y urinario. Movimientos corporales producen gasto de energía. Ano. Sistema respiratorio. Piel.	Aparato excretor. La piel, aparato digestivo y respiratorio. Elimina de las células primero y luego del cuerpo después aquellos desechos que no son utilizables.

Nota: Los conceptos subrayados fueron las ideas previas erróneas o imprecisas que requirieron ser discutidas en la puesta en común.

Tabla 3. Cuadro comparativo entre la analogía de la fábrica y el árbol.

FÁBRICA	ÁRBOL (ideas previas)	ÁRBOL (consenso de la discusión grupal luego de la lectura del texto informativo)	ÁRBOL (respuestas esperadas)
ESTRUCTURA		ESTRUCTURAS Y FUNCIONES	
Edificio o construcción donde están los equipos necesarios.	Tronco. Raíces. Copa. Todo el organismo. Corteza.	Corteza, tronco, raíces, hojas, tejido de sostén, Todo el organismo.	Corteza, tejidos epidérmicos, cutícula.
Lugares para la entrada de materia prima.	Raíces, hojas, Ingresan microorganismos por el tronco, la corteza.	Hojas, raíces.	Tejido epidérmico, estomas en las hojas, pelos absorbentes en las raíces. Permite el ingreso de agua, sales, iones, gases (CO ₂ y O ₂).
Materia prima.	CO ₂ . H ₂ O. Luz solar. Materia inorgánica. Sales del suelo. Humus. Minerales. O ₂ . Alimentos. Madera.	Agua, sales, iones, gases (CO ₂ y O ₂). Luz solar, materia inorgánica.	Agua, sales, iones, gases (CO ₂ y O ₂ , luz). Se utiliza para la elaboración de glucosa, fuente primaria de energía.
Programa de fabricación.	<u>En las raíces está almacenada la información. Sistema circulatorio del árbol. Conductos por donde circulan los nutrientes.</u> Fotosíntesis. ADN (orden genético). <u>Existe un sistema más sencillo que el cerebro. Respiración. Transpiración. Las células.</u>	Tejido clorofílico y almacenador. Hojas, órganos reproductores, flores, frutos, semillas.	Tejido clorofílico y almacenador. Contiene las instrucciones necesarias para la producción de biomoléculas en las células.
Maquinarias de producción.	Corteza. Hojas. Células fotosintéticas. Hojas (órganos). Raíces. Copa de los árboles. Frutos. Cloroplastos.	Tejido clorofílico (hojas, tallos verdes, órganos de almacenamiento en general), raíces.	Tejido clorofílico (hojas, tallos verdes, órganos de almacenamiento en general) Se encargan de la elaboración de todas las moléculas biológicas, principalmente glucosa.
Producto elaborado.	Energía. O ₂ . Savia. H ₂ O. Proteínas vegetales. Glucosa. Almidón. <u>Alimentos para otros seres vivos.</u> CO ₂ . Nuevos individuos (reproducción asexual). Madera. Frutas. <u>Savia bruta</u> y savia elaborada.	Elabora glucosa, proteínas, energía química, oxígeno, savia, agua, CO ₂ , nuevos individuos (Reproducción sexual y asexual): Nuevas células, tejidos, frutos.	Elabora glucosa, proteínas, lípidos Consumo interno. Realiza las funciones metabólicas básicas.
Grupo electrógeno y distribución de la energía.	Fotosíntesis. <u>Nutrientes</u> (O ₂ , H ₂ O, Mat. Inorgánica.)	Tejidos clorofílicos. Y Organelas mitocondriales. Respiración celular.	Tejidos clorofílicos y Organelas mitocondriales. Los cloroplastos de los

	Energía solar. Células, cloroplastos, fotosíntesis. Raíces donde se acumula el agua. Se obtiene energía por hidrólisis del agua y al romper las moléculas de glucosa. Energía calórica. Energía química. Nutrientes. Tallo. Hojas. Reserva de almidón.		tejidos clorofílicos, transforman la energía lumínica en química. Las mitocondrias transforman la energía química en otro tipo de energía útil para las células y los tejidos
Sistema de transporte de la materia y el producto dentro de la fábrica.	Savia, por ella se hace la transmisión a través de la corteza. Sistema circulatorio. Vasos leñosos. Corteza. Ramas. Tallo. Tronco. Capilares. Conductos internos. Xilema y Floema. Hojas.	Vasos de conducción, xilemas y floema. Capilares.	Vasos de conducción. Transportan el agua y las sales desde las raíces hacia toda la planta y las moléculas elaboradas, desde los tejidos clorofílicos a toda la planta.
Depósito de materia prima y del producto elaborado.	Tronco. Raíces. Hojas. Tejidos. Células. Ramas. La Glucosa se almacena en células y tejidos. Almidón. En todo el árbol.	Raíces, tallos y hojas.	Raíces, tallos y hojas. Reserva de materia elaborada para utilizar cuando los requerimientos metabólicos lo exijan.
Lugares de salida para los productos y para el material de descarte.	Hojas (transpiración). H₂O y O₂ . Poros. Ramas. Poros. Savia. Caída de hojas.	Estructuras estomáticas de las hojas. Transpiración. Caída de las hojas.	Estructuras estomáticas de las hojas. Eliminación de gases - CO ₂ y O ₂ – agua y otras sustancias elaboradas.

Nota: Para organismos unicelulares y ecosistemas no se evaluaron “ideas previas” por considerárselos conceptos aprendidos escolarmente.

Tabla 4. Cuadro comparativo entre la analogía de la fábrica y los organismos unicelulares.

FÁBRICA	ORGANISMOS UNICELULARES (consenso grupal luego de la lectura del texto informativo)		ORGANISMOS UNICELULARES (respuestas esperadas)	
	HETERÓTROFO	HETERÓTROFO	AUTÓTROFO	AUTÓTROFO
ESTRUCTURA FUNCIÓN	ESTRUCTURA	FUNCIÓN	ESTRUCTURA	FUNCIÓN
Edificio o construcción donde están los equipos necesarios.	Estructura celular toda. Contiene a todas las organelas y moléculas que hacen posible el metabolismo.		Membrana, pared celular (autótrofos – bacterias), Citoplasma, exoesqueleto, citoesqueleto.	Contiene a todas las organelas y moléculas que hacen posible el metabolismo.
Lugares para la entrada de materia prima.	Membrana celular. Cítoplastomas.	Membrana celular. Permite la entrada de materia prima.	Membrana (poros) y pared celular.	Membrana y pared celular. Permite la entrada de materia prima.
Materia prima.	O ₂ , H ₂ O, iones, sales, moléculas biológicas. Microorganismos.	O ₂ , H ₂ O, iones, sales, moléculas biológicas. Controlar la entrada de materia prima.	CO ₂ , O ₂ , H ₂ O, iones, sales.	CO ₂ , O ₂ , H ₂ O, iones, sales.
Programa de fabricación.	Núcleo, ADN, ARN, Ribosomas, R.E.R . Contiene la información necesaria para la síntesis de biomoléculas (proteínas) que intervienen en el metabolismo celular.		Núcleo, nucleolo, cromatina (ADN) , ARN, Ribosomas, R.E.R . Síntesis de biomoléculas (proteínas, hidratos de carbono, lípidos) ADN mitocondrial y del cloroplasto.	Contiene la información necesaria para la síntesis de biomoléculas (proteínas) que intervienen en el metabolismo celular.
Maquinarias de producción.	Cloroplastos, núcleo (ADN, ARN), ribosomas, enzimas. Síntesis de biomoléculas; glucosa, proteínas, lípidos.		Núcleo (ADN, ARN), ribosomas, aparato de Golgi, enzimas. Síntesis de biomoléculas; glucosa, proteínas, lípidos.	Cloroplastos (autótrofos) núcleo (ADN, ARN), ribosomas, enzimas. Síntesis de biomoléculas; glucosa, proteínas, lípidos. Mitocondrias (energía). R.E.L. (lípidos) y Rugoso (proteínas). Lisosomas (biomoléculas simples). Reproducción celular (formación de otras células).

Producto elaborado.	Biomoléculas. Provee a la células de las biomoléculas necesarias para el metabolismo celular.		Energía calórica, química, moléculas intermedias. Biomoléculas. Otras células.	Provee a la células de las biomoléculas necesarias para el metabolismo celular.
Grupo electrógeno y distribución de la energía.	mitocondrias transforman la energía química en energía útil para la célula.	Mitocondrias. Las mitocondrias transforman la energía química en energía útil para la célula	Los cloroplastos (autótrofos) transforman la energía lumínica en energía química y las mitocondrias transforman la energía química en energía útil para la célula. Fermentación en células anaeróbicas.	Cloroplastos transforman la energía lumínica en energía química. Mitocondrias transforman la energía química en energía útil para la célula.
Sistema de transporte de la materia y el producto dentro de la fábrica.	Retículo endoplasmático, liso y rugoso. Transportan y distribuyen la materia elaborada por el interior de la célula y hacia el exterior.		Retículo endoplasmático, liso y rugoso.	Transportan y distribuyen la materia elaborada por el interior de la célula y hacia el exterior
Depósito de materia prima y del producto elaborado.	Vacuolas, cristales citoplasmáticos. Almacena la materia elaborada.		Vacuolas (autótrofos), citoplasma, vesículas (heterótrofas).	Almacena la materia elaborada.
Lugares de salida para los productos y para el material de descarte.	Membrana y pared celular. Controla la salida de los productos elaborados y los materiales de desecho.	Membrana. Controla la salida de los productos elaborados y los materiales de desecho.	Membrana y pared celular. Exocitosis, Energía calórica. Biomoléculas (alcohol, ácido láctico, acético) Toxinas. Agua, CO ₂ , O ₂ .	Salida para los productos y para el material de descarte.

Tabla 5: Cuadro comparativo entre un ecosistema y la fábrica a partir de la aplicación de un texto y la discusión en clase.

FÁBRICA	ECOSISTEMA	
ESTRUCTURA	DISCUSIÓN GRUPAL	RESPUESTAS ESPERADAS
Edificio o construcción donde están los equipos necesarios.	Hábitat (seres vivos). Ambiente. Ecotono, Espacio físico, Biosfera (La Tierra). Límite indefinido.	Espacio físico dentro de un ambiente. En él se encuentran las poblaciones de los seres vivos que componen ese ecosistema.
Lugares para la entrada de materia prima.	Plantas (luz solar), Heterótrofos, microorganismos del suelo (fijadores de nitrógeno)	Organismos productores. Producción de biomasa.
Materia prima.	Luz, agua, CO ₂ , O ₂ , sales minerales, iones. Vegetales (moléculas biológicas). Heterótrofos.	H ₂ O, CO ₂ , O ₂ , sales, iones. Son los insumos básicos para la producción de biomasa de los productores.
Programa de fabricación.	Existen tantos programas de fabricación como poblaciones. Las condiciones del ambiente interactúan con los programas y de esta relación surge la evolución.	Los programas de fabricación están dentro de cada población que compone al ecosistema. El conjunto de información genética de una población permite que éstas evolucionen o se extingan dentro del ecosistema.
Maquinarias de producción.	Descomponedores. Autótrofos. Consumidores. Seres vivos.	Organismos productores consumidores y descomponedores. Todos los organismos producen moléculas biológicas. Los principales productores de biomasa son los autótrofos.
Producto elaborado.	O ₂ . Energía Química. Calórica. CO ₂ . Nuevos seres vivos. Biomoléculas (glucosa, lípidos, hidratos de carbono, proteínas) Contaminantes.	Biomoléculas que forman la biomasa del ecosistema. Permiten la subsistencia de las comunidades dentro del ecosistema.
Grupo electrógeno y distribución de la energía.	Energía lumínica (Plantas, cloroplastos, fotosíntesis). Energía química. Mitocondrias (seres vivos no bacterias).	Productores. Transforman la energía lumínica en energía química útil para todas las poblaciones heterótrofas.
Sistema de transporte de la materia y el producto dentro de la fábrica.	Ciclos, flujos, Relaciones Inter. e intraespecíficas.	Organismos productores, consumidores y descomponedores. Relaciones intra e interespecíficas. Ecosistema todo. Circulación de materia y energía por los diferentes niveles.
Depósito de materia prima y del producto elaborado.	Factores abióticos. Seres vivos.	Productores. Son la fuente de materia de todo el ecosistema.
Lugares de salida para los productos y para el material de descarte.	Energía calórica. Continuum. Reciclado de materia. Migraciones. Muerte o extinción de una población.	La materia no se elimina, se recicla, todas las comunidades realizan esta función principalmente los descomponedores. Reciclado de la materia.

5.

6. **Cuadro 1:** Encuesta entregada a los estudiantes al finalizar la unidad didáctica.

Encuesta anónima

Edad: Sexo:

Por favor, escribí todo lo que piensas.

	interesante	novedoso	aburrido	Exigente
1. El trabajo de integración que realizamos te resultó...				

Justifica tus elecciones:

	Mucho	Algo	Poco	Nada
2.- Tu grupo trabajó..... Justifica:				
3. Vos trabajaste..... Justifica:				
4. ¿Entendiste qué es un sistema biológico?				
5. ¿Podrías explicarle a un compañero como funciona un sistema biológico?				
6. ¿Consideras útil escuchar las reflexiones de cada grupo? Justifica:				

¿Qué puedes decir acerca de la relación entre las respuestas que elegiste para las preguntas 2 y 3?

7.- ¿Qué es lo que más te gustó?

8.- ¿Qué no te gustó?

9.- ¿Qué te dio mucho trabajo?

10.- ¿Qué te resultó fácil?

11.- ¿Te sirvió haber utilizado la analogía de la fábrica? ¿Por qué? ¿Para qué? ¿Cuándo?