

MODELOS MENTALES DE LA ESTRUCTURA Y EL FUNCIONAMIENTO DE LA CÉLULA: DOS ESTUDIOS DE CASOS

(Mental models of cell structure and functioning: two case studies)

M^a Luz Rodríguez Palmero [mrp@step.es]

I.B. Dr. Antonio González.

C/ Felipe del Castillo nº 15. Tejina

La Laguna, Tenerife, Canarias, España.

Marco Antonio Moreira [moreira@if.ufrgs.br]

Instituto de Física, UFRGS

Caixa Postal 15051

91501-970 Porto Alegre, RS. Brasil.

Resumen

Se presentan como estudios de casos las producciones y verbalizaciones de dos estudiantes de Biología de COU –Curso de Orientación Universitaria previo a la Universidad- (17/18 años) relativas a la estructura y al funcionamiento de la célula, analizadas desde la perspectiva de la Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird. Una vez explicitada la justificación teórica y metodológica por la que se ha optado, se lleva a cabo la interpretación de los materiales recogidos, estableciendo deducciones e inferencias sobre los posibles modos de representación construidos por estos jóvenes para el contenido seleccionado y trabajado a lo largo del curso escolar. De su discusión se deriva la viabilidad tanto del planteamiento teórico como de la opción metodológica, así como la potencialidad de este enfoque en el estudio de las representaciones mentales para la investigación y para los procesos de enseñanza/aprendizaje.

Palabras-clave: modelos mentales; estructura y funcionamiento de la célula; enseñanza y aprendizaje en Biología.

Abstract

In this paper students' productions and verbalizations linked to cell structure and its functioning of the Biology course of the “Curso de Orientación Universitaria” previous to the entrance to the university -- 17 to 18 years of age -- are analyzed from the perspective of Johnson-Laird's Mental Models Theory. Once the theoretical and methodological choices have been expressed, the interpretation of the collected material will be carried out, establishing deductions and inferences about the possible ways of representation that had been constructed by these young students for the selected content with which they had worked along the school course. From this discussion, we derive the viability of both the theoretical planning and the methodological choice, as well as the potentiality of this approach in the study of mental representations for research purposes and for the teaching and learning processes.

Keywords : mental models; cell structure and functioning; biology teaching and learning processes.

Representaciones y célula: análisis de la cuestión.

La célula es un concepto-clave en la conceptualización y en la organización del conocimiento biológico, es una entidad compleja y abstracta que se construye en las mentes de nuestros estudiantes, en su conocimiento, a partir del discurso y que se construye como tal entidad compleja y abstracta si bien es cierto que es una entidad física, real, que existe en ese mundo físico,

real. Y es una entidad que determina la estructura y el funcionamiento de todo el mundo vivo; condiciona, por tanto, su comprensión, su interpretación, la representación que del mismo se haga en esas mentes como intermediaria entre ese mundo vivo y el sujeto que pretende acercarse a él para entenderlo y aprehenderlo. Las dificultades de comprensión y de interpretación de ese mundo vivo en función de los problemas de conceptualización relativos a la estructura y al funcionamiento celular se han puesto de manifiesto claramente en abundantes trabajos (dentro de lo que cabe en comparación con los realizados en el ámbito de la Física y la Química) destinados a investigar las representaciones del alumnado en distintos aspectos de la Biología, si bien es cierto que resulta llamativo que en la mayoría de ellos se haya detectado como escollo fundamental este concepto-clave, la célula, y que sea éste el objeto de estudio directo y específico en pocas de esas investigaciones que, además, son recientes en el tiempo.

"Los trabajos consultados justifican la necesidad de abordar el estudio de las representaciones que el alumnado tiene y construye relativas a la célula y a su funcionamiento, así como la forma en la que esos modos de representación evolucionan, como requisito indispensable para entender el funcionamiento de los seres vivos como tales, incluyendo un ser vivo unicelular" (Rodríguez Palmero, 1997, pág. 3)

Pero ¿por qué es tan importante el concepto de célula? ¿De dónde derivan o en qué se apoyan las afirmaciones anteriores? Efectivamente existen evidencias empíricas que justifican dichos comentarios y reflexiones y hacen explícita la necesidad antes reseñada.

- ? *"Son pocos los trabajos que se centran explícitamente en el estudio de estas representaciones; sin embargo, se muestran evidencias de su manifestación en otros trabajos relativos a la Biología.*
- ? *Las representaciones sobre la estructura y el funcionamiento celular suponen un obstáculo epistemológico esencial a la hora de comprender y conceptualizar el funcionamiento de los seres vivos.*
- ? *La investigación educativa muestra que no se tiene asimilada la idea de célula de forma significativa; así mismo, evidencia importantes resistencias para alcanzar un aprendizaje científicamente aceptado relativo a la misma y a su funcionamiento, una vez aplicadas estrategias dirigidas a su superación.*
- ? *Las representaciones relativas a este tema se han tratado hasta ahora explícita o implícitamente, utilizando básicamente como instrumentos cuestionarios, entrevistas o actividades en la mayoría de los casos o, en algunas ocasiones, combinando dos de estas estrategias"* (op. cit. pág. 20).

Parece, pues, evidente, a juzgar por las conclusiones precedentes, la importancia, por una parte, del concepto de célula en sí, como ya se ha justificado, y, por otra, la importancia también, ¡la necesidad!, de llevar a cabo más investigación relativa al tema que nos ocupa. ¿Pero cómo hemos de abordar esa investigación? ¿Qué pautas debemos seguir para obtener una formación y una información más satisfactoria que nos permita superar los obstáculos y las dificultades ya comentadas de nuestros estudiantes?

- ? *"Parece necesario abordar el estudio de las representaciones del alumnado relativas a este tema desde otra perspectiva, ya que lo que se ha desarrollado hasta ahora ha resultado insuficiente, derivándose de los resultados obtenidos la necesidad de proponer modelos más eficaces para tratar estas representaciones.*
- ? *Se sugiere la posibilidad de que estas representaciones respondan a modelos interpretativos más globales en relación con el comportamiento de la célula y de los seres vivos.*

- ? *Se propone la combinación de diferentes estrategias e instrumentos centrados en las elaboraciones y productos del alumnado para acceder a esos modelos interpretativos globales, ya que con el uso de uno o dos instrumentos no se han obtenido resultados suficientemente satisfactorios.*
- ? *En todo caso, se considera muy valiosa la información de la que se dispone pues muestra la importancia de abordar este estudio en la medida en que evidencia que la célula y su funcionamiento resultan conceptos cruciales en la comprensión del mundo biológico". (ibid.).*

Está claro que nadie discute en este momento el papel que ejercen las representaciones en los procesos de enseñanza y de aprendizaje, del mismo modo que es evidente también que se dispone de suficiente documentación como para caracterizarlas en función de una serie de atributos como son su carácter autónomo, su persistencia, su relativa universalidad, su resistencia, su coherencia, su carácter implícito y su funcionalidad. Pero parece ser, según lo expuesto, que el tratamiento que ha tenido la investigación de estas representaciones no se ha mostrado adecuado o, cuanto menos, no ha resultado plenamente satisfactorio por haberse caracterizado por una visión excesivamente descriptiva y, quizás, un tanto simplista. Se observa, pues, la necesidad de un replanteamiento, a partir de la situación descrita, y la posibilidad de que una salida sea considerar dichas representaciones como estructuras mentales con entidad propia, como "modelos mentales".

Necesidad de un consenso: modelos mentales.

"Modelos mentales" es hoy por hoy el principal constructo que dirige y orienta el análisis, el estudio y la investigación de las representaciones mentales y su papel en los mecanismos de procesamiento de la información; y es un constructo al que se llega después de una dilatada historia de investigación educativa, una historia que podríamos admitir que tiene su origen en el reconocimiento explícito que Ausubel (1968) hace del papel que tiene el conocimiento previo en los procesos de enseñanza y de aprendizaje. Este conocimiento previo, como ya se ha expresado, ha recibido un tratamiento básicamente descriptivo y con carácter de catálogo que tuvo pocos frutos en términos de su modificación o sustitución, lo que obligó a buscar otros referentes teóricos más heurísticos, productos de la integración de distintos saberes y aportaciones que hasta ese momento no habían aunado sus esfuerzos, hecho este que ahora resulta evidente y absolutamente necesario para dar una posible respuesta explicativa y predictiva sobre el funcionamiento de la mente.

"En la investigación en la enseñanza de las ciencias, la década de los setenta fue la de las concepciones alternativas y la de los ochenta, la del cambio conceptual. Es muy posible que estemos hoy, en los años noventa, viviendo la década de las representaciones mentales, en particular, de los modelos mentales". (Moreira, 1997, pág. 43).

¿Pero qué son los modelos mentales? ¿Para qué sirven? ¿Cómo actúan, si estamos diciendo que tienen carácter representacional? Los modelos mentales son intermediarios entre el mundo y el individuo y son internos, autónomos y coherentes para la persona, funcionales, ..., es decir, responden a todo aquello que había caracterizado a las representaciones, pero son algo más.

"Las visiones de las personas del mundo, de sí mismas, de sus propias capacidades y de las tareas que se les requiere que ejecuten o los tópicos que se les requiere que aprendan dependen fuertemente de la conceptualización que tienen de la tarea. En interacción con el medio, con otros y con los artefactos de la tecnología, las personas forman modelos mentales internos de sí mismas y de las cosas con las que interactúan. Estos modelos suministran poder predictivo y explicativo para la comprensión de la interacción". (Norman, 1983, en Gentner y Stevens, 1983, pág. 7).

"Modelo mental" es una representación también, pero más global, más heurística, más predictiva y explicativa, como Norman señala, en la medida en que es un modo mental de operar, una forma de actuar frente a la información y con la información, frente al medio y con el medio. "Modelo mental" es un constructo sobre el que hay en este momento un gran consenso, ¡estamos en la década de los modelos mentales!, y ello es así gracias al concurso de distintos ámbitos del conocimiento cuya interacción, digamos en lo que se ha dado en llamar ciencia cognitiva, ha permitido caracterizarlos y mostrar su potencialidad.

"Las teorías sobre modelos mentales (Gentner y Stevens, 1983, Johnson-Laird, 1983) son centrales en la investigación en ciencia cognitiva por los modos en que caracterizan las relaciones entre el pensamiento y sus símbolos. Aprender acerca de algo, llegar a comprenderlo, es, en el modo de hablar normalmente de la ciencia cognitiva, construir un modelo mental". (Resnick, 1989, pág. 4, citado por Gutiérrez, 1996, pág. 75).

De lo anterior deriva su importancia y por lo anterior se hace necesario aclarar cuáles son las características que definen y asignan significado a los "modelos mentales". Para ello, se hace uso del cuadro elaborado al efecto (Tabla 1) por Barquero (1995).

Tabla 1. Esquema de las características definitorias de los modelos mentales. (Barquero, 1995).

	Modelos mentales
Referenciales	Son representaciones simbólicas de los referentes del discurso.
Concretos	Generalmente representan fenómenos o estados de hechos específicos y finitos.
Simplificados e incompletos	Suponen una reducción de la información a los aspectos más relevantes de la situación referida.
Dinámicos y flexibles	Se transforman progresivamente con la aparición de nueva información relevante.
Análogos	Presentan una analogía estructural y funcional respecto al estado de hechos o el fenómeno que representan.
Limitados	Se atienen en su construcción y manipulación a los límites de la memoria de trabajo.

Al hilo de "modelos mentales" se ha construido, como vemos, todo un cuerpo teórico que, como todos, puede ser analizado desde distintos puntos de vista. De hecho, se habla de teorías en plural sobre modelos mentales que pueden englobarse en dos grandes enfoques: uno más descriptivo centrado en la acción y otro más teórico y explicativo en el que se pretende una teoría global del funcionamiento de la mente. La potencialidad predictiva y explicativa, ¡otra vez!, de este último planteamiento justifica su elección como referente teórico de la investigación y, consecuentemente, un análisis más detallado, dentro de la brevedad, en el apartado siguiente.

La Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird.

¿Por qué usar la Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird como marco teórico de referencia del presente trabajo? Porque el constructo "modelo mental" desde esta perspectiva parece más comprensible, plausible y fructífero que otros planteamientos teóricos más simplistas en la medida en que da explicaciones convincentes que nos permiten interpretar de manera más fiable las representaciones del alumnado y, sobre todo, porque en esas explicaciones integra una sólida base proveniente de distintas disciplinas y aportaciones que apoyan dicha validez. Con la consideración de "modelos mentales" como formas de analizar esas representaciones se incardinan y se articulan, se ponen en contacto, conocimientos originados en campos distintos que sustentan y argumentan dichas explicaciones y esto es algo de lo que adolecen otras teorías. De hecho, resulta evidente

ahora que la resistencia al cambio de esas representaciones, su consistencia y su carácter interno guardan relación con su papel de mediadoras entre la realidad y el propio individuo, con "su mundo", y la forma de construir los modelos que postula esta teoría ofrece explicaciones y predicciones convincentes y fiables al respecto.

"Los seres humanos, por supuesto, no aprehenden el mundo directamente; poseen sólo una representación interna del mundo porque la percepción es la construcción de un modelo del mundo. Son incapaces de comparar esta representación perceptual directamente con el mundo -es su mundo". (Johnson-Laird, 1983, pág. 156).

Johnson-Laird plantea que ante la imposibilidad de aprehender el mundo directamente, la mente humana construye representaciones internas que actúan como intermediarias entre el individuo y el mundo, su mundo, y que posibilitan su comprensión y su actuación en él. Para Johnson-Laird el razonamiento se lleva a cabo con modelos mentales, la mente humana opera -trabaja- con modelos mentales como piezas cognitivas que se combinan de diversas maneras y que "re-presentan" los objetos y/o las situaciones captando los elementos y atributos más característicos y esenciales de los mismos. Pero esos modelos mentales se construyen y en ellos intervienen o podemos utilizar otras representaciones: proposiciones e imágenes; con el constructo "modelo mental" Johnson-Laird postula una representación integradora de ambas que supera una vieja polémica mantenida al respecto de sus características definitorias. El autor, por tanto, nos está diciendo que el sujeto -la persona- usa representaciones que son internas (representaciones de las que ya hemos hablado y cuya importancia en los procesos de enseñanza/aprendizaje ha quedado de manifiesto) que pueden ser proposiciones, modelos mentales e imágenes. *"Las representaciones proposicionales son cadenas de símbolos que corresponden al lenguaje natural. Los modelos mentales son análogos estructurales del mundo y las imágenes son modelos vistos desde un determinado punto de vista". (op. cit., pág. 165).* Los modelos mentales y las imágenes constituyen lenguajes, modos de operar, de alto nivel ya que son analógicas -son análogos estructurales internos del mundo-, mientras que las proposiciones no por ser representaciones discretas, abstractas, rígidas, adquiriendo sus condiciones de verdad, su carácter de verdaderas o falsas a la luz de un modelo mental y eso es así porque las proposiciones como tales son representaciones no analógicas.

El autor considera cuatro conceptos-clave en su teoría que son los que fundamentan y justifican el funcionamiento de la mente; su teoría es una teoría psicológica sobre la cognición y pretende ser, desde su punto de vista, una teoría científica adecuada explicativamente de la mente, una teoría explicativa y predictiva como los propios modelos mentales que le dan nombre, pero una teoría explicativa y predictiva sobre una entidad, la mente, que es mucho más que las teorías que genera. Esos cuatro conceptos-clave que justifican este carácter explicativo y predictivo de la teoría son: mente computacional, procedimientos efectivos, revisión recursiva, modelos mentales.

Podemos explicar el comportamiento de la mente considerando que tiene **carácter computacional** en la medida en que es capaz de operar con un conjunto de símbolos que le permiten procesar la información. Johnson-Laird postula que asignar carácter computacional a la mente supone atribuirle una gran funcionalidad y esta característica, ya lo habíamos visto, es definitoria de las representaciones. Teniendo en cuenta que la mente es computacional, en el contexto de la teoría, entenderemos que opera con códigos específicos y característicos, con lenguaje propio y lo hace a través de **procedimientos efectivos** que son procedimientos susceptibles de ser implementados por una máquina; un procedimiento efectivo es un procedimiento previsible o, cuanto menos, sus resultados son previsibles, de modo que se pueden establecer deducciones e inferencias sobre su comportamiento. Los procedimientos efectivos son precisamente eso: efectivos, incluso para evitar en el marco de la fundamentación teórica de la teoría "explicaciones o ingredientes mágicos" de los que Johnson-Laird quiere huir explícitamente. "Mente computacional" y "procedimientos efectivos" nos conducen a la tan traída y llevada

metáfora del ordenador que a la luz de este planteamiento no resulta tan descabellada pues en el fondo no es más que eso: el sujeto se enfrenta a programas codificados en un lenguaje propio que necesita descodificar para asignarle significado en el mundo al que pretende darle respuesta y con el que interactúa. ¿Y cómo hace el individuo todo esto? La respuesta nos la da la **revisión recursiva** que no es ni más ni menos que un procedimiento efectivo que podríamos aceptar que funciona en términos deductivos y que nos posibilita elegir en un mundo una representación, un modelo mental dentro de los posibles. La "revisión recursiva" es un mecanismo según el cual, como acabamos de exponer, la mente contrasta sus modos de enfrentarse al mundo eligiendo aquella representación que le hace factible su interacción con él; pero este mecanismo tiene que ser rápido, versátil, funcional (como habíamos visto que son las representaciones) y para ello resulta aceptable que la "revisión recursiva" sea un "procedimiento efectivo" con el cual opera una "mente computacional". Con esa mente computacional, que actúa o que opera a través de procedimientos efectivos en términos de revisión recursiva construimos **modelos mentales** como análogos estructurales del mundo, como representaciones internas que nos permiten darle respuestas al mismo y, consecuentemente, actuar en él; los modelos mentales son también las entidades que dan nombre a la teoría y que se caracterizan por una serie de principios que tienen su razón de ser, precisamente, en los otros tres conceptos-clave reseñados, algunos de los cuales exponemos a continuación:

- ? Nº 3: *"Principio del constructivismo: un modelo mental es construido por elementos (tokens) dispuestos en una estructura particular para representar un estado de cosas"*. (Johnson-Laird, 1983, pág. 398).
- ? Nº 4: *"Principio de economía en los modelos: una descripción de un estado simple de cosas se representa por un modelo mental simple, incluso si la descripción es incompleta o indeterminada"* (op. cit., pág. 408).
- ? Nº 5: *"Los modelos mentales pueden representar directamente indeterminaciones si y sólo si su uso no es computacionalmente intratable, i.e., no hay crecimiento exponencial en complejidad"*. (op. cit., pág. 409).
- ? Nº 9: *"Principio de la identidad estructural: las estructuras de los modelos mentales son idénticas a las estructuras de los estados de cosas, tanto percibidas como concebidas, que los modelos representan"*. (op. cit., pág. 419).
- ? Nº 10: *"Principio de la formación de conjuntos: si un conjunto ha sido formado por conjuntos, entonces los miembros de esos conjuntos deben especificarse primero"*. (op. cit., pág. 429).

¿A qué conjuntos se está refiriendo Johnson-Laird en este último principio? Si bien es cierto que, a pesar de que él mismo declara que es tentativa, la tipología que establece el autor es insuficiente y parece ser uno de los puntos más débiles de la teoría, podría entenderse como un acierto o, cuanto menos, una posibilidad que puede abrir vías en la interpretación y el análisis de estas representaciones definir esos conjuntos. Johnson-Laird considera:

- ? un conjunto finito de elementos ("tokens") que representan un conjunto también finito de entidades físicas.
- ? un conjunto finito de propiedades de esos elementos ("tokens") que representan propiedades físicas de las entidades.
- ? un conjunto finito de relaciones entre los elementos que representan relaciones físicas entre las entidades.

Es decir, tenemos frente a nosotros un mundo caracterizado por entidades, propiedades físicas de las mismas y relaciones entre ellas y nuestra mente representa cada uno de esos tres conjuntos que se caracterizan por ser finitos, o sea, limitados en el número de elementos constituyentes; pero las relaciones o interacciones entre esos tres conjuntos pueden ser diversas de modo que sólo representemos esos tres conjuntos (modelo relacional simple); establezcamos

relaciones espaciales entre los mismos (modelo espacial); asignemos orden temporal a dichas relaciones entre los tres conjuntos (modelo temporal); incorporemos cambios con carácter de continuidad a ese orden temporal (modelo cinematográfico), establezcamos relaciones causales en esa continuidad y, lógicamente, entre los tres conjuntos definidos (modelo dinámico); o seamos capaces de relacionar esas entidades en nuestra representación de manera concreta, espacial y gráfica (imagen). Vemos que nos referimos a entidades físicas, reales, que se representan como modelos que Johnson-Laird llama físicos y en los que, como vemos, parece imprescindible delimitar los elementos ("tokens") constituyentes de los conjuntos que nos permiten su construcción, una construcción que, según lo expuesto, es evolutiva, nos permitiría desarrollar esa evolución, carácter que es evidente que tiene una gran importancia en los procesos de enseñanza y de aprendizaje. Pero esos conjuntos son también importantes en lo que Johnson-Laird llama modelos conceptuales, que son modelos mentales contruidos para entidades que no son físicas, reales, sino que son abstractas; son, por ejemplo, los modelos contruidos a partir del discurso. También aquí se definen tres conjuntos finitos:

- ? un conjunto de elementos que representan entidades individuales y propiedades.
- ? un conjunto de relaciones binarias (identidad/no identidad).
- ? un conjunto de elementos notacionales para representar la relación establecida.

La sola representación de estos tres conjuntos constituye un modelo monádico; si además somos capaces de establecer un número finito de relaciones, incluso abstractas, estaríamos ante un modelo relacional; si añadimos expresiones lingüísticas que nos permitan operar con relaciones abstractas, hemos contruido un modelo metalingüístico y si, finalmente, nuestros conjuntos representan a su vez conjuntos, estamos ante un modelo conjunto-teórico.

Insistimos en que Johnson-Laird propone esta tipología como un intento de categorización de los modelos mentales y, también, en que es, quizás, uno de los puntos más débiles de la teoría; pero, a pesar de eso:

"La tipología ha revelado un carácter esencial de los modelos mentales: derivan de un conjunto relativamente pequeño de elementos y operaciones recursivas en esos elementos; su poder representacional depende del posterior conjunto de procedimientos para construirlos y evaluarlos -las mayores restricciones de los modelos mentales derivan de la estructura percibida o concebida del mundo, de las relaciones conceptuales que gobiernan la ontología y de la necesidad de mantener un sistema libre de contradicciones". (Johnson-Laird, 1983, pág. 429-430).

Los modelos mentales son representaciones analógicas, son análogos estructurales del mundo contruidos en la mente de las personas para poder interactuar en él y con él, para comprenderlo, para interpretarlo, para descodificarlo y volver a codificarlo dentro del propio modelo; los modelos mentales así contemplados son las estructuras que permiten a nuestra mente establecer deducciones e inferencias, que nos ofrecen poder explicativo y predictivo, que justifican la funcionalidad de nuestras representaciones. La construcción de un modelo mental nos dota, precisamente, de ese poder explicativo y predictivo porque ese modelo es susceptible de ser ejecutado, es previsible el resultado de lo que ocurre cuando lo ponemos en acción, cuando lo ponemos en juego y lo hacemos actuar; eso es rotar el modelo. Y podemos definir "a priori" cómo va a rotar un "modelo mental", cómo se va a ejecutar, podemos asignarle ese carácter previsible porque su construcción y su ejecución responden a un mecanismo básico de "revisión recursiva" que opera por diferenciación/reconciliación como "procedimiento efectivo" que puede justificarse en función de la consideración de una "mente computacional". Una explicación como la expuesta, claro está, evita toda posibilidad de explicaciones sobre la mente apoyadas en ingredientes mágicos y hace de la Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird una teoría científica de la mente

adecuada explicativamente, lo que justifica su elección como marco teórico de referencia, un "modelo" de análisis de las representaciones del alumnado que haremos "rotar" en las páginas siguientes.

Una opción metodológica: estudio de casos.

Pero "modelos mentales" como marco teórico no es la panacea, no lo resuelve todo, no da respuestas a todo, lo que se demuestra con las muchísimas dificultades que entraña su investigación. Estamos ante algo que está en las cabezas de las personas dentro de las que no nos podemos meter; intentamos averiguar qué es lo que ocurre dentro de las mismas y, por lo tanto, nos movemos en un terreno psicológico, en el terreno psicológico de la cognición, lo que significa que lo que podemos hacer es establecer modelos, hacer inferencias que nos permitan explicar y predecir cómo explican y predicen los sujetos con los que trabajamos. Y es para eso para lo que hace falta contrastar y analizar el mayor número de registros posible que dé garantías y asigne validez a las afirmaciones que al respecto se hagan.

"Como científicos que estamos interesados en el estudio de los modelos mentales de las personas, debemos desarrollar métodos experimentales apropiados y descartar nuestra esperanza de encontrar pulcros, elegantes modelos mentales, sino verdaderamente aprender a comprender los desordenados, enlodados, incompletos y estructuras indistintas que las personas actualmente tienen". (Norman, 1983, en Gentner y Stevens, 1983, pág. 14).

Esas representaciones que las personas tienen en su mente son, efectivamente, complejas, son sus estructuras explicativas, son sus teorías que se construyen de modo semejante a como se ha construido el conocimiento científico a lo largo de la historia: a través de aportaciones, de revisiones (¡recursivas!), de incorporaciones que no siempre dan cuerpos teóricos elegantes y precisos sino que, por el contrario, muchas veces están llenos de ambigüedades y contradicciones. No podemos pretender y esperar que vayamos a detectar con claridad y con precisión esos modos que permiten a las personas razonar e interactuar con la realidad, sus modelos mentales, no podemos o no debemos considerarlos con la simpleza y carácter meramente descriptivo con el que hemos tratado hasta ahora las representaciones porque ya hemos visto que no es algo tan simple. Y una entidad que no es tan simple, que tiene una carta de naturaleza tan compleja, no puede ser investigada con protocolos y con instrumentos simples; habrá que buscar "procedimientos efectivos" que nos permitan "revisar recursivamente" los "modelos mentales" de los sujetos con los que trabajemos. Y quizás en este extremo sea aceptable una nueva crítica a la teoría que Johnson-Laird propone: mecanismos que garanticen su validación empírica; de hecho, el núcleo duro de la misma data, como vemos, de 1983 y hoy por hoy son pocas las referencias bibliográficas que remitan a este cuerpo de conocimiento como su fundamentación teórica. Probablemente la razón de ello sea la dificultad que entraña la investigación de modelos mentales como formas de representación y, fundamentalmente, como decía Norman, su interpretación. *"Los modelos mentales están en las cabezas de las personas y la única manera de investigarlos es indirectamente, a través de aquello que externalizan verbalmente, simbólicamente o pictóricamente"*. (Moreira, 1997, pág. 35). Se trata de un ejercicio de introspección, de un proceso de establecimiento de deducciones y de inferencias sobre los posibles modos de representación que tienen nuestros sujetos de investigación, sus modelos mentales, a través de lo que hacen y/o dicen, es decir, a través de lo que han conceptualizado al respecto o en función de la información que han recibido o de la que disponen, en definitiva, a través de los "modelos conceptuales" -en términos de Norman (1983): inventados por profesores, investigadores, ... para facilitar su comprensión o su enseñanza- que explicitan en función de cómo han percibido y/o concebido dicha información, de cómo la han procesado.

Teniendo en cuenta que lo que buscamos es construir modelos interpretativos de los modelos que los jóvenes han construido, en función del proceso mental que han llevado a cabo al

hilo de la información trabajada, del discurso recibido, lo que estamos haciendo es elaborar, construir, inferencias y deducciones basadas en los registros obtenidos, en los datos disponibles. ¿Y cuáles son éstos? No parece fiable, a juzgar por la bibliografía consultada al respecto, utilizar un único instrumento de recogida de información sobre esos modos de operar de nuestros sujetos de investigación, no parece que haya dado resultado considerar esas representaciones de manera simple y simplista, como ya se ha comentado, y pretender que con un cuestionario, una entrevista, un dibujo, una acción puntual, en definitiva, es suficiente para conocer esos modos, esas representaciones mentales que todos ponemos en juego frente a un problema, a una nueva situación, a una nueva información, a un mundo nuevo para el individuo y para el que construimos, según Johnson-Laird, un análogo que nos permita entenderlo, comprenderlo, y eso, claro está, en el mejor de los casos, si no es que nos quedamos en un mero terreno proposicional que no nos facilita esa comprensión. Desde esta perspectiva y no siendo ajenos a las dificultades que ello entraña, se considera idóneo triangular, comparar y analizar las producciones y verbalizaciones que se han recogido de los sujetos seleccionados a lo largo de un curso escolar completo en condiciones naturales de aula, es decir, las habituales (asignación administrativa de alumnos según sus asignaturas optativas, clases ordinarias en periodo, contenido, tratamiento, etc, o sea, lo que es el trabajo diario de una asignatura concreta, con unos alumnos standard y en un centro de condiciones normales) y en el contexto de una asignatura cursada dentro de la enseñanza reglada, como forma de acercarse de manera más eficaz, más fiable, a esas representaciones ambiguas, confusas, poco claras y elegantes con un protocolo también poco preciso, en ese sentido, pero capaz de dar una posible salida a los intentos de una validación empírica que no responde a condiciones de laboratorio y que se reclama para la teoría que nos ocupa.

"Un aspecto particularmente difícil de la interpretación de informaciones es la comparación horizontal de los datos producidos por un mismo sujeto, comparación que es necesaria para evaluar la amplitud, la articulación y la densidad de las representaciones estudiadas. No es fácil comparar productos tan diferentes (diálogos, fichas, dibujos, construcciones) encontrándose categorías, criterios comunes, que permitan comprender las estructuras mentales que las han producido". (Caravitas y Tonucci, 1988, pág. 129).

Como muy bien apuntan estos autores, las dificultades son evidentes y quedarán de manifiesto en las próximas páginas, pero se ha mostrado como algo necesario un planteamiento como el expuesto si lo que queremos es establecer deducciones e inferencias acerca de cómo establecen deducciones e inferencias nuestros alumnos, si lo que estamos haciendo es construir un análogo estructural de cómo construyen nuestros alumnos análogos estructurales de la información, del discurso que trabajamos con ellos, si estamos construyendo un modelo mental de los modos de operar mentalmente que tienen esos sujetos, de sus modelos mentales del mundo que nosotros, la escuela, les ofrecemos. Parece "a priori" aceptable que la fiabilidad y la validez de las afirmaciones que hagamos al respecto será mayor si, a pesar de las dificultades expuestas, somos capaces de establecer esas categorías de análisis que nos permitan contrastar registros, instrumentos, producciones distintas que actúan sobre un mismo contenido para ver cómo se ha representado.

Se está proponiendo, por lo tanto, como un protocolo posible de indagación de modelos mentales un estudio profundo, interpretativo, sistemático, un examen de un caso en acción, una forma concreta de recoger, organizar y analizar la información, los datos de los que se dispone, un examen completo e intenso de un conjunto de acontecimientos que ocurren en un espacio dado y en un tiempo dado; y eso es un estudio de casos (Rodríguez Gómez y col., 1996). El estudio de casos es una forma de investigación cualitativa que se orienta en función de un razonamiento inductivo según el cual se llega a explicaciones y a hipótesis a partir del análisis del material, no siendo necesario, por lo tanto, definir dichas hipótesis "a priori", como tampoco las categorías que, desde esta perspectiva, resultan del propio análisis "a posteriori". En este sentido y en el momento actual de la investigación sobre modelos mentales podría ser idóneo optar por esta vía o manera de

indagación como forma de determinar si efectivamente se construyen esos modelos mentales, con el significado y características asignadas a los mismos por Johnson-Laird, en las mentes de las personas seleccionadas como sujetos de investigación. Estudio de casos es un procedimiento de indagación, es un conjunto de acciones encaminadas a hacer manejable e interpretable la información, pero esa interpretación se ajusta a un marco teórico de referencia que ya hemos explicitado.

"El estudio de caso "cualitativo" o "naturalístico" encierra un gran potencial para conocer y comprender mejor los problemas de la escuela. Al retratar el cotidiano escolar en toda su riqueza, ese tipo de investigación ofrece elementos preciosos para una mejor comprensión del papel de la escuela y sus relaciones con otras instituciones de la sociedad". (Lüdke y André, 1988, pág. 23/24).

El estudio de casos, pues, posibilita la investigación en la medida en que es un procedimiento de una gran riqueza, como las autoras comentan, una riqueza que también caracteriza la construcción de los modelos mentales y, por ello, resulta apropiado abordar éstos últimos desde esa perspectiva porque nos muestra lo cotidiano, lo habitual para los estudiantes, la forma en que se enfrentan a esos mundos que la escuela ofrece para que ellos los representen. Digamos que de este modo y hasta el momento lo que hemos hecho es delimitar a grandes rasgos el dominio conceptual y el dominio metodológico del conocimiento que se pretende producir, las dos vertientes de la V de Gowin (1984) (instrumento heurístico) que se ponen en juego en el problema al que la presente investigación intenta dar respuesta, a saber: ¿Se han construido y, en su caso, han evolucionado los modelos mentales relativos a la estructura y al funcionamiento celular a partir de la información, del discurso, trabajado en el aula?

Descripción de la experiencia.

Explicitadas las opciones teóricas y metodológicas que guían este trabajo en las páginas precedentes, corresponde ahora describir el contexto en el que se ha desarrollado y presentar los datos considerados con objeto de establecer la oportuna discusión al respecto y de llegar, en lo posible, a conclusiones, de producir, en su caso, conocimiento relativo a las representaciones comentadas si es que somos capaces de generar respuestas a la cuestión anterior.

El contexto en el que se ha llevado a cabo la recogida de información es un contexto natural de aula, en la asignatura de Biología de COU (Curso de Orientación Universitaria, previo a los estudios universitarios) cuyos estudiantes tienen 17/18 años, durante el curso escolar 1996/97. La profesora titular de la asignatura ha actuado como investigadora y ha llevado a cabo la recogida de los datos correspondientes. En un proyecto más amplio y general de investigación, se han considerado sujetos de la misma los treinta y seis estudiantes matriculados oficialmente en la asignatura comentada, distribuidos en dos grupos de catorce y veintidós personas en función de criterios administrativos del centro, razón por la que no son similares en número pero sí en características de sus miembros constituyentes. La organización de la asignatura y las estrategias de intervención de la docente han sido las habituales para la misma, es decir, las mismas que en cursos anteriores, lo que demuestra esas condiciones naturales de aula; el objeto de investigación no es esa intervención y, por ello, no se ha controlado como variable, sino los posibles modos que siguen los estudiantes mentalmente en el procesamiento de la información trabajada en el aula a lo largo de un curso escolar completo y en condiciones completamente normales de aula. Por esta razón, los estudiantes en ningún momento a lo largo del curso supieron que eran sujetos de investigación, ya que se pretendía que sus respuestas fueran lo más naturales y ricas posibles. El conjunto de producciones y verbalizaciones producido por cada uno de ellos es lo que constituye los datos a partir de los que se pretende dar respuestas a la cuestión antes planteada. Los instrumentos usados para ello, como se ha comentado, son habituales en la práctica docente de la profesora (mapas

conceptuales, V heurísticas, cuadernos de clase, murales, exámenes) con alguna salvedad (dibujo, cuestionarios inicial y final, entrevista) destinada en estos instrumentos nuevos para esta ocasión a la obtención de una mayor información sobre los estudiantes.

En el presente trabajo se analizan esas producciones y verbalizaciones de dos estudiantes, Alicia y Alberto, que formaban parte del grupo menor (catorce jóvenes) y que se han seleccionado con el único criterio de que "a priori", ya que no hay hipótesis antecedente, pueden haber operado con modelos mentales distintos, pueden haber construido representaciones diferentes. A continuación se presentan las interpretaciones elaboradas para cada uno de ellos "a posteriori" (es decir, una vez reunidos en su conjunto y estudiados los registros correspondientes a la luz del referente teórico por el que se ha optado en fecha posterior a la finalización del curso escolar), o sea, los "modelos mentales" construidos por los investigadores relativos a los modelos mentales que pueden haber construido los dos sujetos de investigación sobre la estructura y el funcionamiento de la célula durante los ocho meses del trabajo desarrollado con la misma.

Alicia:

Comienza el curso operando con ideas sueltas que son producto de repetición mecánica y que son pobres y escasas como muestran las respuestas a las siguientes cuestiones realizadas en un cuestionario escrito el día 18-10-96:

- ? Si tuviéramos que decir con tres frases lo que es una célula ¿qué diríamos?
 - *constituye la base de la vida, dando lugar a organismos unicelulares o más complejos (pluricelulares).*
 - *constituida por tres partes (o en algunos casos dos) que serían: la membrana, el citoplasma y el núcleo.*
 - *en el citoplasma contiene orgánulos que hacen una función concreta para ella indispensable.*
- ? ¿Y si tuviéramos que decir cómo funciona?
 - *funciona gracias a orgánulos que posee en el citoplasma.*
 - *para su funcionamiento es necesario oxígeno y nutrientes y expulsar CO₂ y desechos.*
 - *su funcionamiento es organizado por los ácidos nucleicos contenidos en el núcleo de la célula.*

Estas frases, como decíamos, son repetitivas y responden bien a información contenida en los libros y trabajada en cursos anteriores, o bien a información discutida y comentada en las clases previas a la fecha señalada. De hecho, la única respuesta a la pregunta:

- ? ¿Qué le hace falta a una célula para serlo? ¿Qué le hace falta para ser físicamente una célula? ¿Y qué le hace falta para funcionar como una célula?

pregunta que también forma parte del mismo cuestionario, es:

para funcionar le hace falta energía, la cual la obtiene después de transformar nutrientes,

lo que se corresponde con explicaciones y conclusiones anteriores (llevadas a cabo en clase), respuesta en la que, como vemos, no se incorporan elementos de las respuestas a las preguntas anteriores. En estos momentos, Alicia muestra dificultades para plasmar de manera gráfica tanto la estructura de la célula como su funcionamiento, lo que se interpreta como una consecuencia de ese modo de operar con frases sueltas que se ha comentado. A la pregunta:

- ? Si lo siguiente fuera una célula ¿qué pondrías dentro?

planteada en el mismo cuestionario, responde con el siguiente dibujo (Fig. 1):

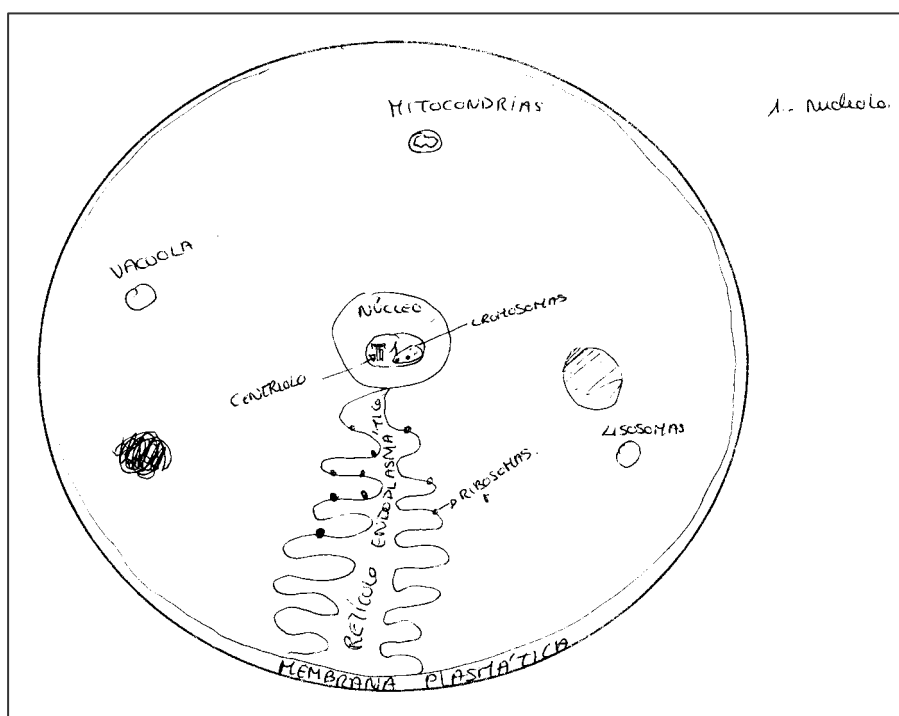


Fig. 1. Dibujo elaborado por Alicia en el cuestionario inicial. (octubre, 1996).

Vemos que en él identifica de manera muy pobre sólo algunas estructuras y que no establece relaciones entre ellas, así como tampoco relaciona las funciones que realizan; su dibujo es muy simple y responde a los habituales de los libros de texto. Curiosamente, cuando se le pregunta en el mismo cuestionario:

? ¿Y si tuvieras que dibujar cómo funciona?

muestra la misma dificultad para plasmar de manera gráfica (no hace ningún dibujo) pero es capaz de establecer una analogía relacionada con ese funcionamiento celular; se recordará que la analogía, su establecimiento, supone una manera de operar con la información, una forma de procesarla que se interpreta como un modelo de trabajo, como un intermediario entre la realidad y la representación que es de alto nivel. Veamos la respuesta de Alicia:

Su funcionamiento sería difícil de representar, debido a que hay que tener muchas cosas en cuenta. Básicamente su funcionamiento podría (ser) semejante al funcionamiento de un taller, donde se elaboran coches, donde a partir del esqueleto del coche conseguimos un coche como resultado. Para conseguir dicho resultado, hace falta la intervención de personas donde tengan una función concreta en el taller. Dichas funciones son indispensables, ya que todo ha de ser perfecto. Todo el proceso estaría supervisado por los "maestros" (ác. nucleicos), que dan las órdenes precisas para el correcto funcionamiento en el taller y para que el resultado sea brillante.

Vemos en esta analogía que hay una idea de engranaje y de cierta jerarquía de procesos que es muy global y en la que hay poca interacción estructura/función; es una analogía, y eso es importante en términos de representación, pero lo es con el establecimiento de pocas inferencias y deducciones que sean biológicamente válidas, destacando en este sentido solamente la referencia a los ácidos nucleicos como elementos (¡sin determinar su nivel de organización!) que dirigen todo el

proceso celular. En un contexto completamente diferente y doce días después, la corrección de su libreta refleja, dentro de una serie de actividades para realizar como tarea en casa, lo siguiente:

? ¿Cómo se te ocurre que puede ser la célula?

Como una especie de taller, en el que cada elemento realiza/está encargado de realizar una función concreta. // Una estructura redonda, pequeña, con parte diferenciada, con núcleo, citoplasma, aunque puede variar.

Como vemos, repite la analogía, aun con más simpleza, y, en la segunda parte de su respuesta, manifiesta una estructura celular muy libresca y pobre en la que no aplica dicha analogía; las dos partes de la respuesta son claramente diferenciadas, no mostrando nada en común.

Lo anterior contrasta con la respuesta dada en un examen (18-11-96) a la pregunta:

? ¿Consideras que la presencia en un tubo de ensayo de todas las moléculas de la materia viva nos daría como resultado una célula?. Explica las razones en las que fundamentas tu opinión utilizando, al menos, cuatro de los ocho o diez posibles argumentos que hemos trabajado.

Yo pienso que no daría una célula ya que la célula es una unidad anatómica fundamental dotada de vida. Si metiésemos las moléculas de la materia viva, es decir, materia orgánica en un tubo de ensayo, sólo tendríamos materia viva que reacciona pero nada más.

La célula es el resultado de una organización interna ya que la célula se organiza interiormente por unos orgánulos, los cuales tienen una función determinada dentro de la célula, mientras que no hay organización en la probeta.

La célula posee vida debido a las reacciones que se dan dentro de ella, mientras que si metemos materia orgánica no se produce la vida.

La célula necesita nutrirse para tener dentro de ella unos cambios de energía para que se produzca la vida y haga sus funciones vitales.

Amén de los problemas de expresión y de algún error biológico (no considera la materia inorgánica) es evidente que la respuesta anterior supone un discurso articulado, eso sí, en forma de frases sueltas, argumentos no hilvanados en función de un hilo conductor claro, pero un discurso que responde a un procesamiento de la información recibida y estudiada que permite el establecimiento de las inferencias que Alicia elabora en el mismo. Cuando también en este mismo examen se le pide que explique "célula", vuelve a una idea muy simple repitiendo mecánicamente una frase libresca:

Es la unidad anatómica y biológicamente fundamental, ya que ella está dotada de vida.

que, como se muestra, no es más que una pobre definición. Esta pobreza vuelve a manifestarse, fundamentalmente en términos de argumentos, a la pregunta formulada en el examen siguiente (9-12-96):

? ¿Podría una célula funcionar como tal o serlo sin la presencia de los glúcidos? Razona la respuesta.

Alicia contesta:

No, porque no poseería el aporte energético para realizar sus funciones, ósmosis, formación de estructuras, ..., etc.

El examen incluía el contenido relativo a qué son, cómo son, dónde están y cómo funcionan los glúcidos y, por lo tanto, entre otros contenidos, el metabolismo energético, por lo que, en función de eso, la riqueza de argumentos para razonar la respuesta era importante y, como hemos visto, sólo se usa una frase que tiene su origen en repetición mecánica de lo trabajado en clase. En el examen destinado a los lípidos (26-2-97) se vuelve a pedir que se explique el concepto "célula". La respuesta es la siguiente:

Unidad mínima de materia viva. Ésta se puede diferenciar de dos tipos: células procariotas y eucariotas. Generalmente, dentro de su estructura se divide en tres partes fundamentales: membrana, citoplasma y núcleo. Dentro de la célula eucariota diferenciamos orgánulos o estructuras orgánicas con determinadas funciones que son necesarias para el normal funcionamiento de la célula. La célula necesita del medio para conseguir nutrientes y reducir su entropía.

Nuevamente vemos frases sueltas propias de repetición y con poco grado de elaboración y procesamiento de la información en un esquema o modelo global, como muestra la nula aplicación del concepto "procariota" al definir como parte fundamental el núcleo en la frase siguiente.

El examen de proteínas (14-3-97) incluyó un texto que planteaba el problema de la catálisis en la materia viva; la pregunta formulada fue:

? ¿Cómo crees que funcionan las células para resolver esto?

La única argumentación ofrecida por Alicia dice así:

Las células lo resuelven con el uso de enzimas, las cuales aceleran estas reacciones sin la necesidad de aumentar la temperatura.

Nuevamente nos encontramos ante una simple frase que, a juzgar por lo expresado, no muestra que se haga referencia a una explicación más global o a que esta nueva información, este nuevo contenido, se haya incorporado e integrado en la misma; no parece que Alicia disponga en este momento de un bagaje conceptual suficiente como para dotarla de poder o capacidad explicativa y predictiva relativa a la estructura y, sobre todo, al funcionamiento de la célula, en este caso, como muestra su respuesta a una pregunta que es claramente de razonamiento.

El último examen del curso, cuyo contenido incluía todo lo relativo a los ácidos nucleicos (12-5-97) formulaba la pregunta:

? ¿En qué medida la estructura y el funcionamiento de la célula dependen de los ácidos nucleicos?

La respuesta es:

La célula podría decirse que depende por completo de los ácidos nucleicos. Son ellos quienes se encargan de todo el funcionamiento de la célula. El ADN contiene la información genética. Dicha información contiene todo tipo de órdenes vitales para la célula (síntesis de proteínas, secuencias de órdenes, transporte, ...). El ARN, con sus diferentes tipos, son así mismo indispensables porque se encargan de transportar el mensaje del código genético que le viene tras la síntesis del ADN (ARNm) y lo lleva a los ribosomas, otros tipos de ARN (ARNt, ARN ...) se ocupan de otras funciones igualmente trascendentales para la célula.

Si bien es cierto que el discurso mantiene algo más de coherencia en términos de la calidad de sus párrafos, éstos son simples y, sobre todo, en lo que al uso de la información se refiere, sigue manteniendo un esquema de repetición mecánica en el que no hay una organización autónoma de la información y no se detectan aplicación o relaciones con otros contenidos ya trabajados, no se recurre a conceptos ya vistos que justificarían esas explicaciones, no se lleva a cabo una reconciliación integradora de todo lo estudiado, no se hacen referencias a la estructura de la célula y al papel que en ella tienen los ácidos nucleicos o al metabolismo y a la imposibilidad de llevarlo a cabo sin los mismos.

Todos los exámenes incluyeron cuestiones destinadas a la aplicación de los conocimientos adquiridos; Alicia, en caso de hacerlas, establece inferencias y deducciones pobres en la mayoría de las ocasiones, lo que se interpreta como una capacidad explicativa y predictiva baja, limitada, como hemos mostrado en la pregunta relativa a enzimas, capacidad baja generada, desde nuestro punto de vista, por la construcción de una representación también limitada de la célula.

Se elaboraron tres mapas conceptuales (Novak, 1984) (8-1-97, 2-4-97 y 19-5-97) todos ellos en hora normal de clase y sin que se supiera previamente la tarea que se iba a asignar en la misma. Estos mapas conceptuales no han constituido instrumentos de calificación del alumnado, extremo este conocido por el mismo, por lo que se han realizado sin la presión que ello supone. En los que ha elaborado Alicia se observa, desde nuestro punto de vista, una selección arbitraria de los conceptos pues no responden a conceptos-clave o ni siquiera selecciona conceptos, como ocurre en el primero de ellos, que, además, se han unido por relaciones simples; las proposiciones han resultado ser nada significativas en su mayoría, es decir, ha plasmado proposiciones que no tienen significado o ha unido tres conceptos para que dichas proposiciones tengan algún sentido incluso semántico, lo que muestra sus dificultades para asignarle significado a las mismas. Estos mapas, por otra parte, adolecen de jerarquización, lo que corrobora los problemas ya comentados en la atribución de significados. Como ejemplo exponemos el segundo de ellos (Fig. 2).

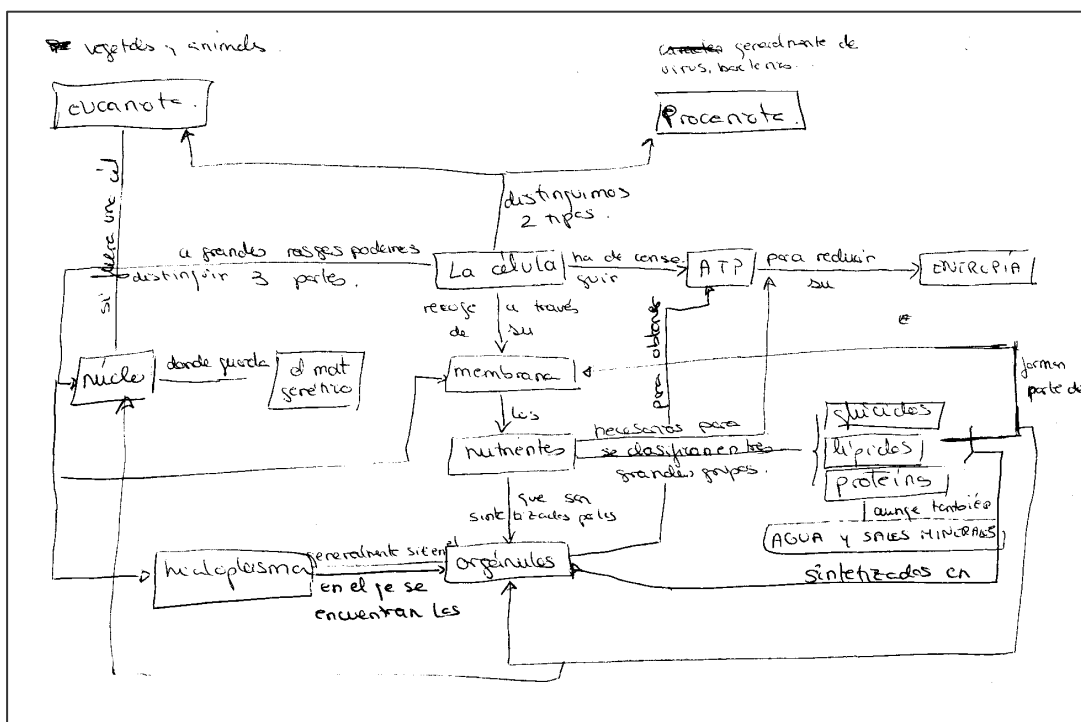


Fig. 2. 2º Mapa conceptual elaborado por Alicia para la estructura y el funcionamiento celular. (abril, 1997).

Las dificultades y los problemas de conceptualización encontrados en los mapas de Alicia guardan relación, a nuestro entender, con lo que ya se ha comentado en relación con los exámenes o con el cuestionario inicial. El procesamiento de la información que está llevando a cabo a lo largo del curso la conduce a asignarle escaso significado biológico a lo que estudia, incorporándolo, en el mejor de los casos, de manera repetitiva. De hecho, llama la atención que en los dos últimos mapas conceptuales sólo selecciona conceptos relacionados con composición y con estructura, pero no selecciona ninguno relativo a funcionamiento o a metabolismo; esta elección, en todos los casos, era completamente libre y el requerimiento que se hacía era: Haz un mapa conceptual que exprese lo que sabes sobre la estructura y el funcionamiento de la célula y explícalo (con la única salvedad de que en el segundo de ellos se limitaba el número a quince).

También son tres a lo largo del curso los murales solicitados al alumnado para explicar la estructura y el funcionamiento de la célula, pero en esta ocasión el trabajo se ha realizado organizando a los estudiantes en grupos. Los pósters o murales tienen la finalidad de observar de qué manera sistematizan los estudiantes la información y la manejan, es decir, cómo elaboran o construyen una síntesis de la información trabajada y la plasman gráficamente. La organización en grupos permite, además, la interacción entre los jóvenes y, consecuentemente, la necesaria negociación de los significados que cada uno de ellos ha asignado, de modo que se potencia la estructuración y reestructuración, en su caso, de sus ideas, lo que justifica la elección de dicha tarea como actividad de aprendizaje. En las tres ocasiones el peso del trabajo se ha desarrollado fuera de las horas de clase. Una vez calificados dichos murales, la profesora ha entrevistado al grupo completo, siguiendo en las tres ocasiones, aunque con flexibilidad, el mismo guión. Los grupos han sido variables a lo largo del curso; las entrevistas de los mismos se desarrollaron en horario de recreo en un ambiente distendido y de todas ellas se dispone de registro escrito (directo en las dos primeras ocasiones y grabado y transcrito en la tercera). Algunos de los argumentos de Alicia en estas entrevistas son los siguientes:

? Primer mural (11-11-96):

- ML: ¿Ha cambiado algo la idea de célula? [al hacer el mural]
- Alicia: *no; es más o menos igual pero añadiendo teoría celular y técnicas de observación.*

? Segundo mural (3-3-97):

- ML: ¿Cómo creen ustedes que es y que funciona una célula a partir de esto?
- Alicia: *hemos estado dos trimestres con explicaciones y ahora, de repente, usted pretende que lo expliquemos.*
- ...
- ML: ¿cómo lo expresarían?
- Alicia: *unidad mínima de materia viva.*
- ...
- ML: ¿Ha cambiado algo el concepto de célula desde el principio de curso?
- Alicia: *antes sólo sabías que había unos orgánulos y sabías su función y ahora te das cuenta de que está todo relacionado entre sí.*

? Tercer mural (20-5-97):

- ML: ¿Y qué podríamos decir de esa cosa llamada célula?
- ...
- Alicia: *y no complicada, ... lleva demasiado ... no sé ...*
- ...
- Alicia: *que al ser tan chiquitita hace cosas tan grandes.*
- ...

- Alicia: *podría decir, es que es lo que dicen, es que es tan ..., ..., es la unidad mínima; a partir de ella se forma todo ... para mí. Lo que dice Carmen, a partir de las necesidades de ella vienen las nuestras y ...*
- ML: *¿En qué medida esto (el mural) representa el funcionamiento?*
- ...
- Alicia: *está ... escrito pero no relacionado.*
- ML: *a ver, explícate Alicia.*
- Alicia: *sí, que hemos puesto, por ejemplo, que la célula ... ¿sabes? que por ejemplo en la mitocondria hacen ...*

Estas respuestas, estos diálogos, reflejan las dificultades de argumentación que está teniendo esta alumna, sus problemas para recuperar la información y para aplicarla en un contexto diferente, para utilizarla en términos explicativos, muestran un panorama cognitivo limitado a frases hechas que han seguido una evolución pobre y una reestructuración, una diferenciación y una reconciliación insuficientes, una revisión recursiva lenta, limitada también, y poco eficaz.

Con objeto de valorar la capacidad de plasmar de manera gráfica la información trabajada, se solicitó realizar un dibujo que reflejara la estructura y el funcionamiento de una célula (16-5-97). Nuevamente se trataba de un trabajo individual hecho en una hora de clase y tampoco en esta ocasión suponía la tarea asignada un instrumento de calificación. Alicia construye el siguiente dibujo (Fig. 3):

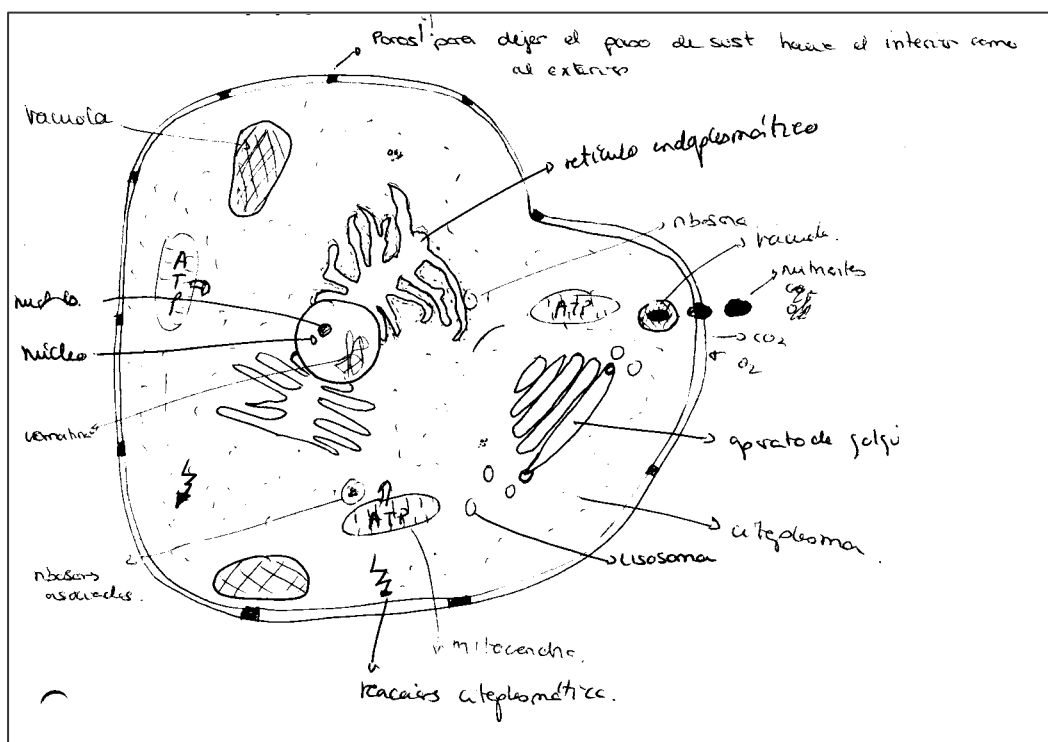
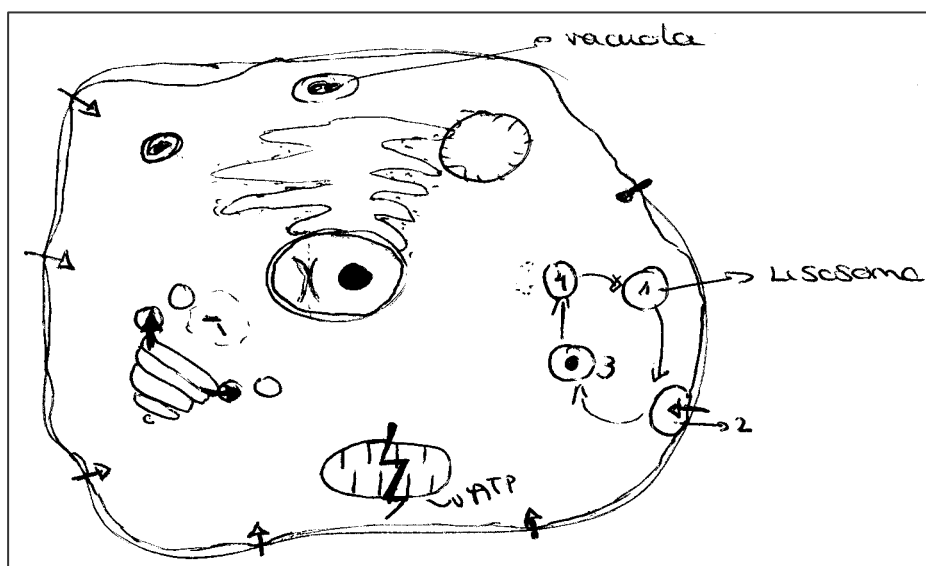


Fig. 3. Dibujo elaborado por Alicia para reflejar la estructura y el funcionamiento de la célula. (mayo, 1997).

Como vemos, hay una cierta elaboración personal y lo que destaca, básicamente, es la identificación de algunos orgánulos, no advirtiéndose información significativa relativa al funcionamiento celular. El dibujo responde en gran medida a las imágenes de los libros, si bien es cierto que si comparamos este dibujo con el realizado en el primer cuestionario (Fig.1) se observan diferencias importantes que muestran un modelo más rico, la construcción de una representación más ajustada a la realidad biológica, más completa y compleja.

La encuesta final (28-5-97) es igual a la inicial (18-10-96). Las frases que utiliza Alicia son similares o aún más pobres (unidad mínima de vida, funcionamiento ordenado y sincronizado). En esta ocasión no aparecen analogías y en la misma pregunta en la que al principio se relacionaba a la célula con un taller, ahora aparece el siguiente dibujo (Fig. 4):



Se muestra un diseño limitado en estructuras pero al que Alicia le imprime un cierto dinamismo a través de las flechas que usa.

Se realizó una entrevista final (12-6-97) individual que duró aproximadamente media hora. Estas entrevistas no se planificaron como entrevistas clínicas sino como conversaciones en las que se estableciera un consenso entre entrevistadora y entrevistados; el objeto de las mismas fue, precisamente, compartir significados entre ambas personas y por ello son, incluso, reiterativas. De hecho, con la intención de confirmar dichos significados y si realmente se compartían, se sugirieron y contrastaron algunas ideas para ver si lo que la entrevistadora había captado era realmente lo que la persona quería decir; el esquema de la entrevista es similar para todos los estudiantes. Las calificaciones finales del curso ya se habían entregado, por lo que de ningún modo eran decisivas en ese aspecto; de esta manera, el clima fue, como en las realizadas con los grupos, distendido y cordial. Las entrevistas fueron grabadas y transcritas. Al hilo del concepto "célula" Alicia responde:

ML: ¿qué piensas tú sobre esto?

Alicia: *nues célula es no sé. la unidad mínima aue nuede tener vida. aue dentro de ella tiene*

Fig. 4. Dibujo elaborado por Alicia para reflejar el funcionamiento de una célula. (mayo, 1997)

utilizo para

amunuir mi entropia ¿no?

Se observa, como vemos, una cierta elaboración personal en la información, si bien es cierto que tiene componentes librescos de repetición de información de manera mecánica. A la petición de que se describa la imagen que genera en la mente una serie de conceptos biológicos, se observa que en la mayoría de ellos no se hacen referencias a célula como imagen central, no construye o visualiza los elementos nombrados en función de una imagen global de célula, lo que muestra una baja conceptualización biológica. En sus respuestas utiliza frases cortas no articuladas como párrafos, no estructuradas en un discurso coherente y, básicamente, son producto de repetición mecánica, no observándose una incorporación significativa de la información. Puede servir de ejemplo el siguiente extracto:

ML : lo primero que ves es eso. Célula ¿qué ves?

Alicia : *la célula la eucariota.*

ML : la eucariota, ¿Me la describes?

Alicia : *pues es redondita, con el núcleo ... bien diferenciado, ... que se ven todos los orgánulos alrededor.*

ML : ¿qué ves, qué ves ? vete contándome.

Alicia : *pues la membrana plasmática ... redondita, yyy pues la mmm que tiene los poros de la membrana, loos, el hialoplasma que está allí, jeh ! la mitocondria, las vacuolas y todos los orgánulos y luego el retículo endoplasmático que está unido a, como si fuera una pelotita jajaj !*

ML : ¡mj !

Alicia : *que es el núcleo.*

ML : vamos a ver, esa imagen que me acabas de describir ¿es plana o tiene volumen?

Alicia : *tiene volumen.*

ML : tiene volumen.

Alicia : *volumen pero...*

ML : no, la que tú estás viendo ... la que tú estás viendo.

Alicia : *más bien plana.*

ML : la que tú has visto es plana. (...) La que tú has visto es plana.

Alicia : *sí.*

ML : ¿y la que tú has visto es una imagen fija, estática o tiene movimiento ?

Alicia : *estática.*

ML : estática.

Alicia : *aunque tiene movimiento.*

ML : ... ¿aunque tiene movimiento, es estática ?

Alicia : *sí ¿no ? jeh ! la imagen es.*

ML : tu imagen.

Alicia : *mi imagen, claro ; entonces está, es estática.*

ML : la tuya es estática. Catabolismo ¿qué imagen te sugiere ?

En la misma entrevista, se muestra una foto de microscopía electrónica para comparar la imagen personal con dicha foto y, también, para interpretarla con objeto de registrar, observar, la forma de establecer inferencias y deducciones desde la propia representación hacia la foto; cuando ésta se le muestra a Alicia, reconoce que es una imagen de una célula pero no se parece a la suya. El diálogo que se desarrolla es el siguiente:

ML : ¿un montón de diferencias ?

Alicia : *sí.*

ML : ¿me las vas diciendo ?

Alicia : *... pueees la membrana que yo había puesto que era redondita pues se ve que tiene como ... no es re , no es totalmente redonda ... ni ... ovalada siquiera, sino ... con, como en una estructura ¿no ? que encaja justamente de, de algo ... todos los dobleces.*

ML : ¿y aquí no ?

Alicia : *no, ésta es ... ésa ; la mía es ... redondita, la típica redondita.*

ML : ¡aja ! ... ¡ya ! ¿qué más diferencias hay ?

Alicia : *el color, la forma ... ¡mmm ! todo ¡mjhmjh !*

ML : ¿en interior ?

Alicia : *todo.*

ML : ¿todo ?

Alicia : *todo porque la fórmula de la mitocondria es la típica ¡chos ! del trabajo ... y aquí pues no.*

ML : aquí no. ... ¿Qué más diferencias hay, Alicia ?

Alicia : ..., ... *no sé, demasiadooo, demasiados puntitos negros yo qué sé qué representa ahí, el hialoplasma ¿no ?*

ML : demasiados puntitos negros, ¿la tuya no tiene todo esto ?

Alicia : *la mía se da por ... ¡jjjj ! supuesta.*

ML : se da por supuesta. ¿pero qué es ? ¿más dispersa ?

Alicia : *sí.*

ML : más dispersa. Vamos a ver, ¿esto es real ?

Alicia : *sí.*

ML : esta sss, esta foto es real.

Alicia : *sí.*

ML : ... ¡eeehhh ! pero no tenemos aquí una célula ni la célula tiene este tamaño. (..) no tenemos una célula ni la célula es de este tamaño ¿no ?

Alicia : *¡mj !*

ML : entonces, ¿esto podríamos decir que es un análogo, estructuralmente es un análogo a una célula ? ¿a la célula que representa ?

...

ML : similar.

Alicia : *similar, sí*

ML : esto es algo similar a la célula que representa.

Alicia : *no, a la, a la imagen de, de la célula ¿no ?*

ML : a la imagen de la célula. Yyy el modelo que tú tienes, la imagen que tú tienes ¿es análogo o similar a lo que es de verdad una célula ?

Alicia : *¡mmm ! sería un modelo ¿no ?*

ML : ¡ah ! sería un modelo ¿por qué un modelo ?

Alicia : *... porque estaría nada más que ... una mitocondria, una vacuola, looo, lo que hay realmente dentro de la célula pero nada más que habría uno o dos de cada cosa y poniendo comooo ... un dibujo que no corresponde, correspondería a la realidad pero nooo, no sería ... igual sino parecido.*

Alicia manifiesta tener un modelo en su mente para representar la estructura de la célula que es análogo a la misma, es más simple; pero cuando hablamos de un posible modelo para funcionamiento, cae en una contradicción: tiene el mismo modelo pero no sabría representarlo.

ML : esta foto es de estructura de una célula. ¡Eh ! si yo te dijera qué modelo tienes para ¡aaahhh ! explicar el funcionamiento de una célula ¿qué me dirías ?

Alicia : *¿qué modelo ? ... pues el mismo, lo que, lo que pasa es que para el funcionamiento ... es más difícil porque no sabría ... representarlo.*

ML : no sabes representar el funcionamiento de una célula.

Alicia : *no sabría representarlo eeennn ..., no sabría representarlo en, en un dibujo, yo qué sé, a la mitocondria a lo mejor ponerle la ... como un trono ¿no ? que pone energía para no sé qué, pero representarlo paso por paso no sabría.*

ML : no, ¿pero tú tienes en tu mente un modelo de cómo funciona la célula ?

Alicia : *sí, más o menos.*

ML : ¿cómo es ?

Alicia : *pues.*

ML : sí, más o menos, me acabas de decir.

Alicia : *sí.*

ML : ¿cómo es ?

Alicia : *pues las vacuolas serían como ¡mmm ! almacenes donde vas poniendo los nutrientes o yo qué sé, cualquier cosa que la célula le interese y cuando necesita, pues van al almacén y lo sacan; laaa mitocondria sería una central eléctrica ¿no ? que produce energía necesaria*

... el núcleo, pues no sé, sería también otra especie de almacén ¿no? donde tienen guardados los ... computadores o, o algo ¿no?

ML : eso lo estás viendo, cuando me estás hablando, estás viendo esa imagen en tu mente.

Alicia : sí.

Obsérvese cómo recurre a distintas analogías para los diferentes orgánulos pero por separado, no integrándolas en un funcionamiento global; además, son analogías muy similares a las surgidas en una actividad desarrollada en clase. Muestra dificultades en la organización de la información relativa a la fisiología celular, pero organizaría una exposición de la misma en función del orden temporal de los procesos celulares. Cuando hablamos de la evolución de su modelo, comenta lo siguiente:

***Alicia** : pueees en 3º lo que se daba era el modelo que yo tengo ¿no? el ... el, el modelo que en el que está la mitocondria, la vacuola y aquí te das cuenta de que ... hay bastantes más de, de una o dos que tú sueles poner, de que ... es más pequeña de lo que, de lo que yo tenía idea, de queee tiene el funcionamiento es más complejo de lo que yo creía*

Su modelo no es el mismo que el que tenía al principio de curso, pero es un modelo que no está aumentando en gran medida su poder explicativo y predictivo; es curioso que cuando habla en términos genéricos de la célula, siempre nombra los mismos elementos estructurales (mitocondrias, vacuolas). ¿Por qué para ella tiene poco poder explicativo y predictivo? Al final de la entrevista, se le enseña a Alicia todo el material que ha generado a lo largo del curso; la conversación que se produce es la siguiente:

ML : ¿demuestra que realmente has aprendido más de lo que piensas ?

***Alicia** : supongo ¡mjmj! ... yo todavía no, no sé, yo pienso queee lo que yo he estudiado en Biología ya ha sido en el momento porque yo, a mí luego se me olvida ... y ahora mismo estoy cero, o sea que verlo, para mí ... no sé.*

ML : ¿qué ha supuesto ?

***Alicia** : pues ¡ajhahj! primero darme cuenta de la mala memoria que tengo ... y yo qué sé, ... relacionar lo que de momento sí soy capaz de relacionarlo todo cuandooo lo estudio yyy sé más o menos de lo que va, pero ya luego.*

A juzgar por estos comentarios, no parece que se haya "guardado" nada, no parece que haya nada que Alicia pueda recuperar de su memoria a largo o a medio plazo; este diálogo muestra las dificultades que hemos detectado en esta alumna a lo largo del curso para ir diferenciando progresivamente el contenido trabajado y para ir reconciliando, también poco a poco, la nueva información, para ir integrando esos nuevos conceptos, ¡muchos, sin lugar a dudas!, en una representación coherente, en un modelo explicativo y predictivo. De este modo, claro está, con esta forma de operar mentalmente, Alicia puede llevar a cabo poca revisión recursiva y la que su estructura mental -cognitiva- le permite es claramente insuficiente como ella misma detecta y reconoce.

Si hacemos uso de los tres conjuntos que Johnson-Laird definía para los modelos físicos, podríamos admitir para la célula:

- ? un conjunto finito de elementos ("tokens") celulares que representan un conjunto finito de los elementos o estructuras celulares como entidades físicas; estaríamos haciendo referencia en este conjunto (tanto en términos reales como de representación) a los orgánulos celulares.
- ? un conjunto finito de propiedades de esos elementos, es decir, un conjunto que representa la composición y la estructura de cada uno de los elementos ("tokens") que, en nuestro caso, serían los orgánulos. Por lo tanto, estaríamos re-presentando la constitución físico-química y estructural de esos orgánulos.

- ? un conjunto finito de relaciones entre los elementos articuladas como la representación de las funciones de los orgánulos y de los procesos celulares que realizan, así como de las que lleva a cabo la célula; esta representación de relaciones entre los elementos de los conjuntos anteriores da cuenta de las interacciones entre los elementos que guardan relación con las interacciones físico-químicas reales entre aquellas entidades.

A juzgar por los datos obtenidos de Alicia, parece detectarse que ha operado prioritariamente con elementos que podríamos incluir en los dos primeros conjuntos; de hecho, se produce un enriquecimiento a lo largo del curso de elementos o estructuras celulares representadas por esta joven, así como un aumento, también, aunque menos significativo en su uso, de propiedades de esos elementos en la medida en que es capaz de determinar de mejor manera la composición y la estructura de distintos elementos celulares, lo que se muestra, por ejemplo, en sus últimos dibujos, y esto se supone que es así porque los representa de manera más rica, más compleja. Pero parece evidente que donde está teniendo mayores dificultades es en establecer relaciones entre estos conjuntos y los procesos celulares, en definitiva, en representar lo que hemos considerado como tercer conjunto, lo que la lleva a mostrar serios problemas para establecer deducciones e inferencias, a tener poca capacidad explicativa y predictiva, a no recuperar, o a hacerlo con dificultad, información ya trabajada, ¡a no recordarla!, y a acudir a repetición mecánica, al uso de frases sueltas, a operar sólo con proposiciones ante elementos que suponen dar cuenta del funcionamiento de la célula; ha construido una representación en la que incorpora como elementos sueltos los diferentes orgánulos como si de una suma o adición se tratara.

Si tuviéramos que decantarnos, en términos de la tipología de Johnson-Laird, por alguno de los modelos que él define, diríamos que esta alumna ha construido un modelo físico de la célula porque es una estructura real, física, si bien es cierto que en su mente opera como un ente abstracto que ha construido a partir del discurso y que ella misma no puede verificar, lo que puede ser un indicio, como ya se ha expresado, de la necesidad de profundizar en esta clasificación; un modelo físico que básicamente es relacional simple ya que, a lo sumo, establece algunas relaciones espaciales entre los elementos ("tokens") que considera, y es un modelo que atiende fundamentalmente a la estructura de la célula y muy poco a su funcionamiento.

Como síntesis, podemos decir que Alicia comienza operando con ideas sueltas que son producto de repetición mecánica y que son pobres y escasas; tiene muchas dificultades para plasmar en una imagen su célula -su estructura-. A lo largo del curso logra identificar algunos elementos estructurales más; maneja profusamente conceptos pero esos conceptos no están integrados en un modelo -son producto de repetición mecánica- que siguen siendo difíciles de plasmar en una imagen, si bien en este aspecto, aunque tímido, se ve un avance en su representación. Se observa cierta organización en la información, a pesar de esa repetición, lo que se manifiesta en un establecimiento pobre de inferencias y deducciones, en un discurso algo más coherente y con cierta aplicación o en el establecimiento de proposiciones (en los mapas conceptuales) poco significativas pero con algo de significado, a diferencia de sus producciones de comienzos de curso. Muestra y usa un modelo para estructura que ella misma considera más simple que la célula real, pero confiesa no tener un modelo para funcionamiento; esta ausencia de modelo para funcionamiento se corrobora con el uso y el manejo que hace de los conceptos relativos al metabolismo. En suma, se observa una evolución en su representación que parte de proposiciones simples y aisladas y con una imagen también simple que atiende a estructuras y, al final de curso, llega a otra representación bastante más articulada y compleja en términos de estructura celular, pero igualmente simple en lo relativo a su funcionamiento; esta evolución es similar a lo que nos muestra la historia de la Biología en este tema, ya que las primeras imágenes de célula son, como se sabe, estáticas y muy simples y se tarda ¡dos siglos! en asignarle significado biológico a partir de la Teoría Celular y en imprimir a esa entidad de un funcionamiento característico, ¡en construir los otros dos conjuntos de Johnson-Laird!. No parece, pues, preocupante la evolución seguida por Alicia ya que, por el proceso mental que ha recorrido, está en condiciones de construir un modelo mental más complejo y único sobre la célula que atiende tanto a su estructura como a su funcionamiento.

De los datos expuestos de Alicia se desprende que la organización de la asignatura no responde al esquema general de los libros de texto y de los programas oficiales articulado en torno a los niveles de organización de la materia viva, sino que sigue una secuencia convergente según la cual, una vez que se hace una introducción general, se estudia cada principio inmediato orgánico en términos bioquímicos, citológicos y fisiológicos, lo que “a priori” potencia una integración estructural/funcional de la entidad célula que se estudia.

Ejecutar un modelo, una representación como la que ha construido Alicia, hacerlo rotar, supondría que respondería de manera más o menos predecible a cuestiones sobre la estructura y el funcionamiento celular. Como se recordará, los modelos mentales son modelos de trabajo, tienen poder predictivo y explicativo; por lo tanto, desde esa perspectiva, tendríamos que ser capaces de prever cuáles podrían ser las respuestas en función del modelo construido. Alicia daría respuestas poco articuladas e, incluso, con una relación no directa con la pregunta, es decir, daría respuestas articuladas como frases sueltas que no resuelven o dan una cuenta coherente del problema planteado. Si nos centramos en la célula, establecería deducciones e inferencias muy pobres entre estructuras y funcionamiento, que serían algo más consistentes al final de curso, en las que haría comentarios muy generales sobre ese funcionamiento. Con una representación como la expuesta, no debe haber una incorporación significativa en términos de aprendizaje en una explicación global de los conceptos metabólicos, lo que conducirá a errores conceptuales y concepciones no científicamente válidas al explicar distintas vías y procesos metabólicos por no asignarle el significado biológico a los mismos, por no poder establecer inferencias y deducciones válidas sobre su trascendencia y sus interacciones. Veamos si Alicia efectivamente rota así su modelo al analizar las Vs epistemológicas que ha desarrollado (17-2-97 y 21-5-97) y veamos, con ello, si nuestro modelo sobre su representación rota como lo habíamos previsto (Figs. 5 y 6).

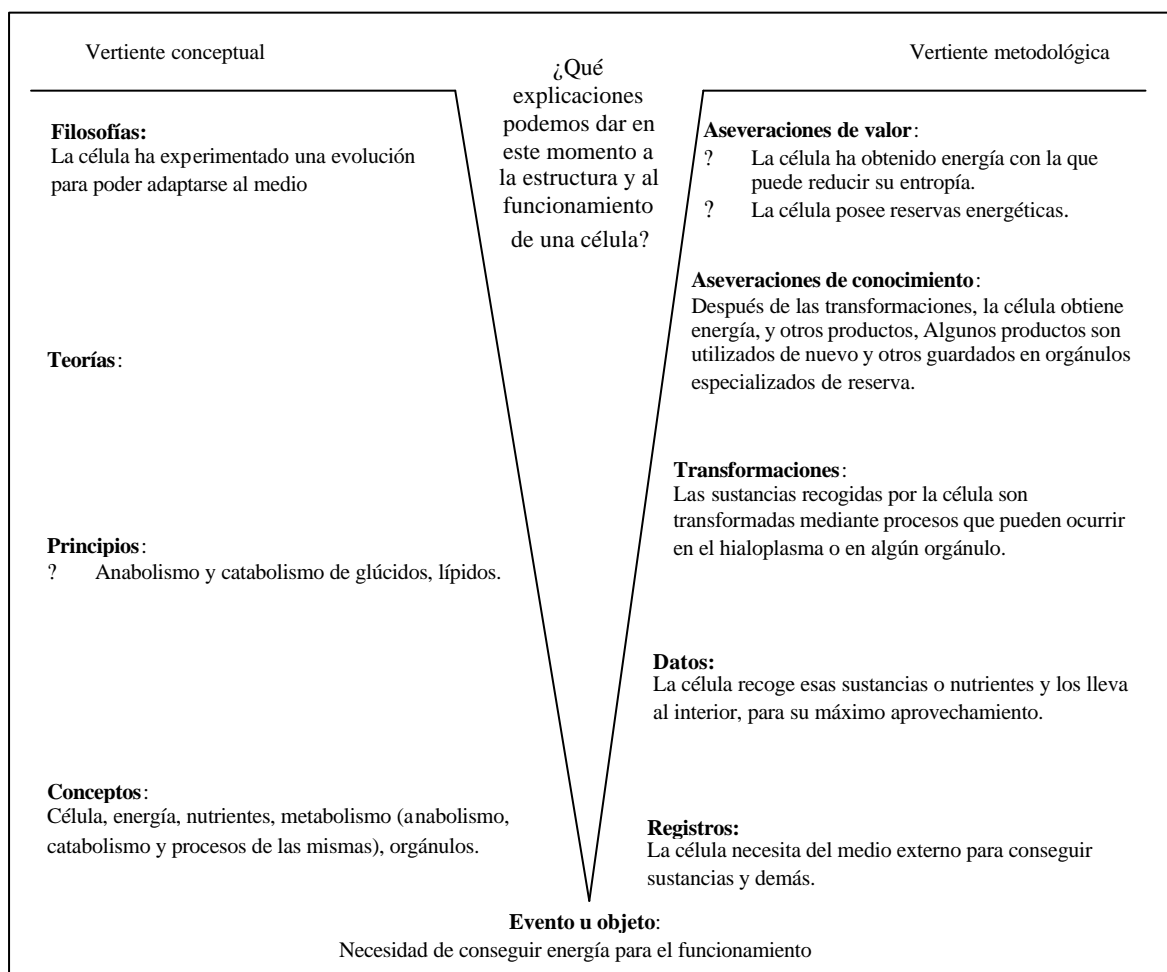


Fig. 5. V epistemológica elaborada por Alicia para estructura y funcionamiento celular. (febrero, 1997).

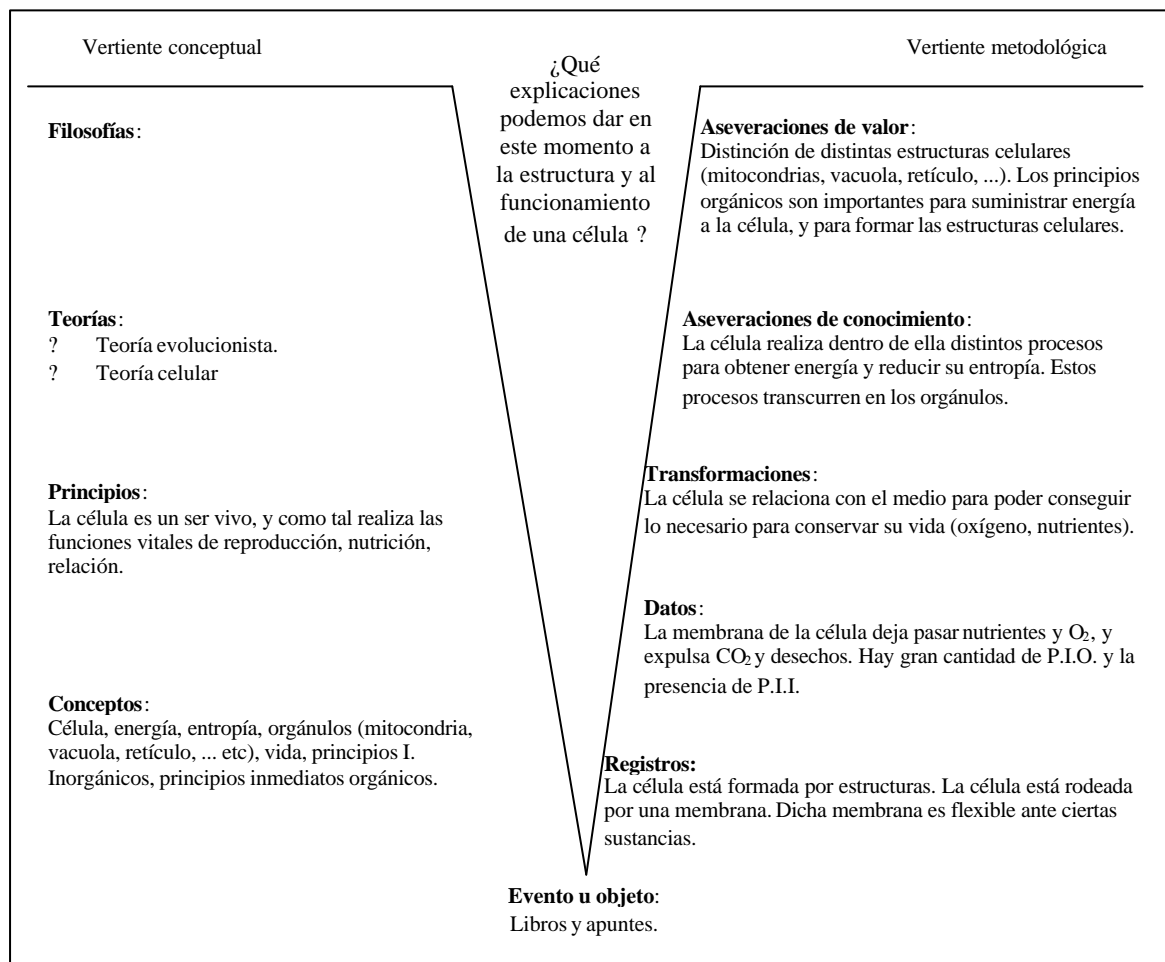


Fig. 6. V epistemológica elaborada por Alicia para estructura y funcionamiento celular. (mayo, 1997).

Observando las V heurísticas anteriores vemos que, efectivamente, Alicia ha mostrado los problemas que "a priori" habíamos determinado en función de cómo rotaría su modelo de la célula, su representación, una representación que, como puede verse, incorpora más elementos estructurales que funcionales y lo hace de forma limitada; de hecho, lo que primero llama la atención es la dificultad que tiene incluso para determinar las categorías de contenido, los elementos de la V, y la simplicidad e inconsistencia de sus respuestas. Vemos, también, que, como estaba previsto, hay una diferencia entre los dos momentos señalados, como ya habíamos comentado. Nuestro modelo, pues, en relación con el modelo de célula de Alicia, ha rotado como se preveía, tiene poder explicativo de la forma en la que ha operado mentalmente esta alumna a lo largo del curso y, también, predictivo en términos de sus posibles dificultades y respuestas.

Alberto.

Comienza el curso operando con un modelo bastante completo y compacto en lo que se refiere a estructura y a orgánulos celulares y flojo/débil en lo relativo al funcionamiento de la célula; este joven lleva a cabo una organización autónoma de la información, desde octubre, con establecimiento de deducciones e inferencias. No se detectan en estos primeros momentos muchas analogías, aunque sí algunas, y el uso de imágenes es limitado, pero es capaz, como decíamos, de establecer inferencias. No opera sólo con proposiciones aisladas sino que hay relaciones coherentes entre ellas articulando un discurso organizado en el que aplica los diferentes conceptos con soltura. No parece haber una integración consistente entre estructura y función pero tampoco es del todo ausente. Hace conexiones entre distintos elementos pertenecientes a lo que hemos caracterizado como los tres conjuntos (estructuras celulares, composición y estructura de las mismas, relaciones e

interacciones entre ellas -procesos). A lo largo del curso va integrando la nueva información, el nuevo contenido, estableciendo mayores y mejores conexiones entre los distintos conceptos que dan explicación a la estructura y al funcionamiento de la célula. Al final del mismo opera con un único modelo para ambos aspectos; ese modelo lo plasma en una imagen dinámica que tiene muchos más elementos tanto estructurales como funcionales, que al principio de curso. Establece relaciones estructura/función dentro del mismo modelo; de hecho, se observan conexiones que son causales entre elementos trabajados en diferentes momentos y contextos y lo hace, también, en diferentes situaciones y contextos, lo que se interpreta como la construcción de un modelo complejo en el que pone en juego y recupera los elementos que le son necesarios, independientemente de las condiciones en las que los aprendió. Desarrolla a lo largo del curso una progresiva diferenciación ya que integra los procesos metabólicos, por ejemplo, de manera significativa, asignándole significado biológico científicamente coherente, y eso lo hace reconciliando esta nueva información para él con lo que ya posee desde el principio de curso, centrada en estructuras celulares. De este modo, como se comentaba, adquiere la capacidad de recuperar la información adecuada en el momento adecuado, independientemente del contexto y de la demanda, y esto lo hace con fluidez y naturalidad. En lenguaje de Johnson-Laird, Alberto lleva a cabo una revisión recursiva y podríamos entender que desarrolla esa revisión recursiva de modelos dentro de modelos si aceptamos que para cada unidad de trabajo de la asignatura (referida a cada uno de los principios inmediatos orgánicos) ha construido un modelo. De este modo, este estudiante dispone de una representación eficaz que le permite, por esa misma revisión recursiva, incorporar un mayor número de elementos a cada uno de aquellos tres conjuntos de los que ya hemos hablado y, en esa misma medida, establecer más y mejores deducciones e inferencias, plantear más analogías, determinar más relaciones causa/efecto y plasmar esa representación en una imagen dinámica, como hemos dicho, o, para ser más rigurosos, en varias imágenes que también maneja de manera recursiva.

Veamos los datos en los que se apoyan las afirmaciones anteriores.

En el cuestionario inicial, a la pregunta:

? Si lo siguiente fuera una célula ¿Qué pondrías dentro?

responde del siguiente modo (Fig. 7):

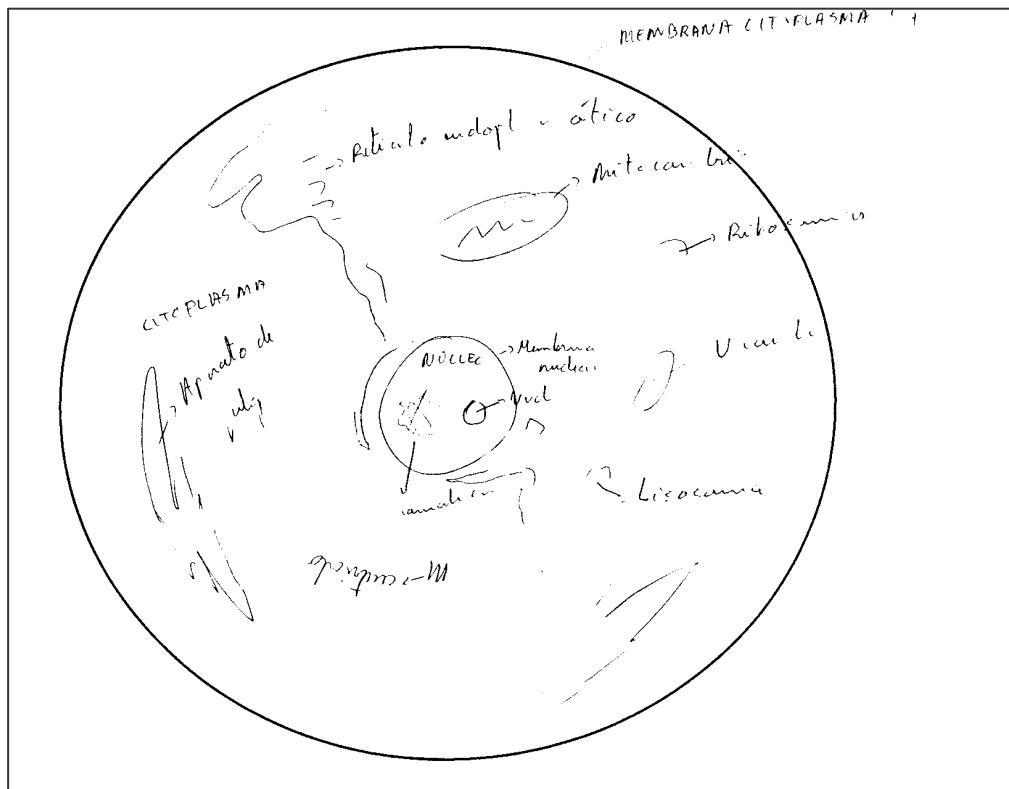


Fig. 7. Dibujo elaborado por Alberto en el cuestionario inicial (octubre, 1996).

Se observa que relaciona muchos orgánulos si bien no delimita bien sus estructuras. En el mismo cuestionario y cuando se pregunta:

- ? Si tuviéramos que decir con tres frases lo que es una célula ¿qué diríamos?
- la unidad mínima de los seres vivos estructurada y organizada.
 - obtiene energía y materia orgánica por una serie de procesos químicos a partir de nutrientes.
 - se compone de membrana, citoplasma (donde están los orgánulos) y núcleo (donde está la información genética).
- ? ¿Y si tuviéramos que decir cómo funciona?
- obtiene energía y materia orgánica e inorgánica por medio de procesos químicos en el citoplasma, yendo así a favor de la entropía del mundo (degradando).
 - se reproduce gracias a la información genética que hay en el núcleo que le permite copiarse.
 - se relaciona con el medio externo por la membrana citoplasmática.

Estas frases no son habituales en los libros de texto para definir célula ni tampoco son producto de repetición mecánica de información trabajada en clase; responden a una elaboración personal del contenido llevada a cabo por este estudiante. En el mismo cuestionario ya comentado se observan las dificultades que muestra para plasmar el funcionamiento celular en un dibujo; básicamente responde con texto -articulado como frases sueltas- y hace unos dibujos extraordinariamente simples de una célula y de la división celular (Fig.8 y 9):

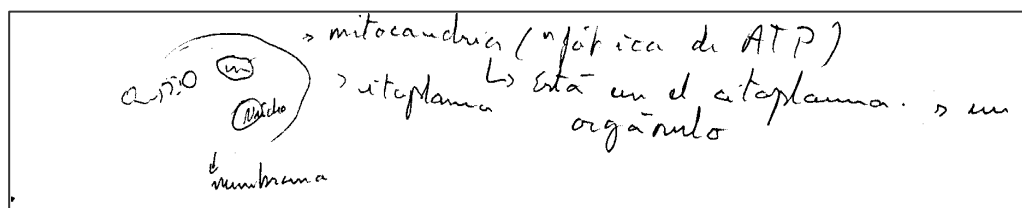


Fig. 8. Dibujo elaborado por Alberto en el cuestionario inicial para reflejar el funcionamiento. (octubre, 1996).

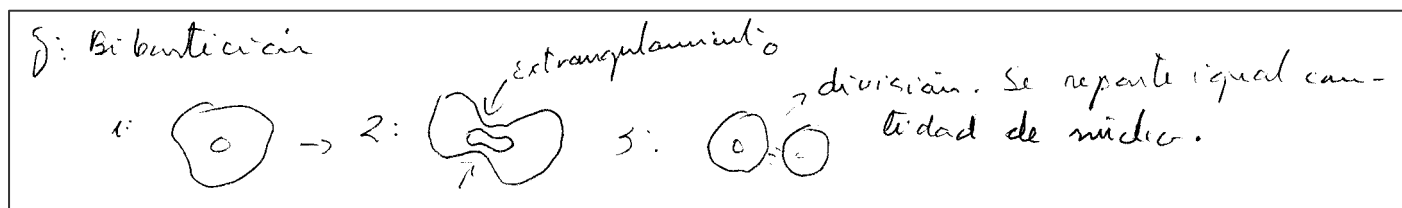


Fig. 9. Dibujo elaborado por Alberto como segunda parte de su respuesta para reflejar el funcionamiento celular en un dibujo. (octubre, 1996).

Como se observa en el primer dibujo (Fig. 8), establece una analogía entre la mitocondria y una fábrica. En su libreta (corregida el día 28-10-96) Alberto realiza una actividad asignada como tarea para elaborar en su casa, en la que se demanda:

- ? ¿Cómo se te ocurre que puede ser una célula?

su respuesta es:

microscópica, una estructura tan compleja que resulta fundamental en la vida. Poseen la información genética [al margen: posee membrana, citoplasma, núcleo], se dividen (por mitosis, meiosis, bipartición, ...). No sé la forma. A veces redonda, aplanada (etc) y posee una membrana

que la aísla del exterior. Posee diferentes orgánulos: mitocondrias, vacuolas, lisosomas, ribosomas, centrosoma, ap. de Golgi, retículo endoplasmático, (Es lo que me acuerdo).

Como ya se había comentado, vemos que efectivamente "recuerda", recupera información pero que está referida a la estructura celular solamente, no haciendo referencia a nada relativo a su funcionamiento. La célula, en este momento, para Alberto es un conjunto de orgánulos, estructuras. Cuando se le pregunta en la misma actividad cómo cree que puede ser el funcionamiento de esa célula, su primera frase es:

Con lo que yo sé ahora me sería casi imposible.

Acaba su párrafo así:

Una célula es una superestructura interrelacionada con funcionamiento muy complejo.

lo que evidencia que en su representación prima el componente estructural.

En el primer examen del curso (que incluía origen de la vida, niveles de organización, teoría celular y principios inmediatos inorgánicos) se observa en la respuesta de este estudiante a la explicación de la célula un uso de la información que muestra organización autónoma de la misma en un discurso coherente y articulado (si bien confunde progenitor/descendiente):

Según la moderna teoría celular, es la unidad vital -el ser vivo más pequeño y sencillo-fisiológica -posee los mecanismos biológicos para permanecer con vida-morfológica -todos los seres vivos se componen por células- y genética -posee los mecanismos de transmisión de herencia a los progenitores, y todas las células proceden de otras ya preexistentes-. Una célula tiende a disminuir su entropía y aumentar y mantener el grado de complejidad que ha alcanzado. Realiza además las funciones vitales en las que obtiene materia y energía del medio para evitar la degradación local, renovar su composición química, aumentar su complejidad, etc (NUTRICIÓN); obtiene información del medio que le ayuda a sobrevivir (RELACIÓN) y tiene mecanismos de transmisión de herencia a los progenitores (REPRODUCCIÓN =encaminada a perpetuar la especie). Tipos de célula: procariota, eucariota -animal, vegetal-.

Cuando se hace la entrevista de grupo del primer mural de la célula (12-11-96) y a la pregunta:

? ¿En qué medida ha modificado la idea de célula este póster?

Alberto responde:

No podemos acabar diciendo que la célula es la unidad anatómica, fisiológica y de comportamiento de los seres vivos; la célula tiene un amplio repertorio, es más que esa unidad. Hay que tener en cuenta más aspectos.

Se muestra una idea, una representación que no responde a una simple proposición, a una definición que tenga su origen en repetición mecánica y pasiva de la información; en la misma entrevista, comenta este alumno que no tenía ni idea de la teoría celular.

El examen destinado a los glúcidos, como ya vimos al interpretar el material de Alicia, incluyó la pregunta:

- ? ¿Podría una célula funcionar como tal o serlo sin la presencia de los glúcidos? Razona la respuesta.

Alberto muestra en este momento una evolución en su representación pues, si bien hay dos partes delimitadas en su respuesta, considera tanto la estructura como el funcionamiento de una célula.

No; la célula necesita el aporte glucídico para realizar sus funciones vitales con la energía que extrae de degradar sus enlaces, tales como construir materia propia, evitar degradarse, Además ciertas estructuras relacionadas con el movimiento, crecimiento, funciones específicas (orgánulos) tienen los glúcidos como componentes estructurales y no pueden prescindir de ellos. Para mí, personalmente, son esenciales. Sin ellos no "viviríamos".

Como se recordará, todos los exámenes han incluido preguntas relacionadas con procedimientos (en términos de categoría -tipo- de contenido). En el mismo examen de glúcidos se incluyó:

- ? Una investigación reciente ha puesto de manifiesto que las mujeres modifican sus gustos en la fase de ovulación, teniendo grandes apetencias por alimentos o nutrientes dulces.
- ¿Cómo podrías explicar lo que plantea el texto?

La respuesta de Alberto es como sigue:

En la fase de ovulación se da mayor apetencia a (por) las sustancias dulces (monosacáridos, ciertos disacáridos, ...) tal vez por un cambio en su organismo que requiere el aporte de estas sustancias. También las embarazadas tienen "antojos" y puede ser por un cambio químico que es necesidad para ajustar los mismos. -Mi hipótesis: la ovulación supone un gasto de energía enorme (transporte y expulsión del óvulo) y las reservas se gastan. El organismo crea en el subconsciente un estímulo de apetencia para reponer el gasto lo antes posible y lo mejor posible (glúcidos energéticos por excelencia).

El extracto anterior nos muestra inferencias y deducciones en las que se aplican los contenidos trabajados de forma fluida con un discurso coherente y articulado y con una organización autónoma de la información.

En la entrevista de grupo del segundo mural se pregunta si ha cambiado algo el concepto de célula desde el principio de curso; en su respuesta, Alberto también muestra que efectivamente su representación de esta entidad ya no es sólo estructural ya que le asigna significado biológico a través de los procesos que realiza:

Hay procesos que yo no conocía. La fotosíntesis, por ejemplo, yo la había visto relacionada con los vegetales, pero no con las células; pero todo es a nivel celular. Ahora lo tengo claro, son las células las que hacen todo.

En la misma entrevista, insiste varias veces en que han querido reflejar la relación estructura/función y comenta la importancia de las relaciones entre distintos elementos, tanto internas como con el exterior.

El examen de proteínas que hace Alberto es un claro ejemplo de elaboración personal en el que usa un discurso fluido articulado en torno a párrafos largos coherentes en los que aplica con naturalidad y de manera cómoda los distintos conceptos y en el que muestra una organización autónoma de la información; todo ello le permite establecer deducciones e inferencias que son

realmente elaboradas. Un ejemplo es la respuesta a la pregunta planteada al hilo de un texto sobre combustión de la glucosa, cuestión que ya comentamos en el caso de Alicia:

Las células, esos minúsculos seres vivos, siempre tienen una carta bajo el brazo. Las elevadas temperaturas provocan alteraciones en su funcionamiento (cuando hay fiebre, por otro lado, es una señal de que algo no va bien), y si son muy altas, una combustión completa. La disminución de la temperatura en las reacciones se produce gracias a la acción enzimática. La temperatura elevada para iniciar la reacción de combustión de la glucosa es debida a que necesita mucha energía de activación y la obtiene de ella así: al estar a una temperatura muy alta, las moléculas vibran más y aumentan considerablemente la energía cinética (Eso es lo que buscan). Los enzimas disminuyen esta energía de activación con una unión específica, en este caso, con la glucosa. Así, necesitan menos energía para llegar al complejo activado, por lo que la temperatura de la reacción disminuye. (¿Es o no lista la célula?). Si no fuera por eso ¿qué sería de nosotros?. Bueno, eso es lo que creo.

El segundo mapa conceptual individual que elabora este estudiante se muestra en la figura 10.

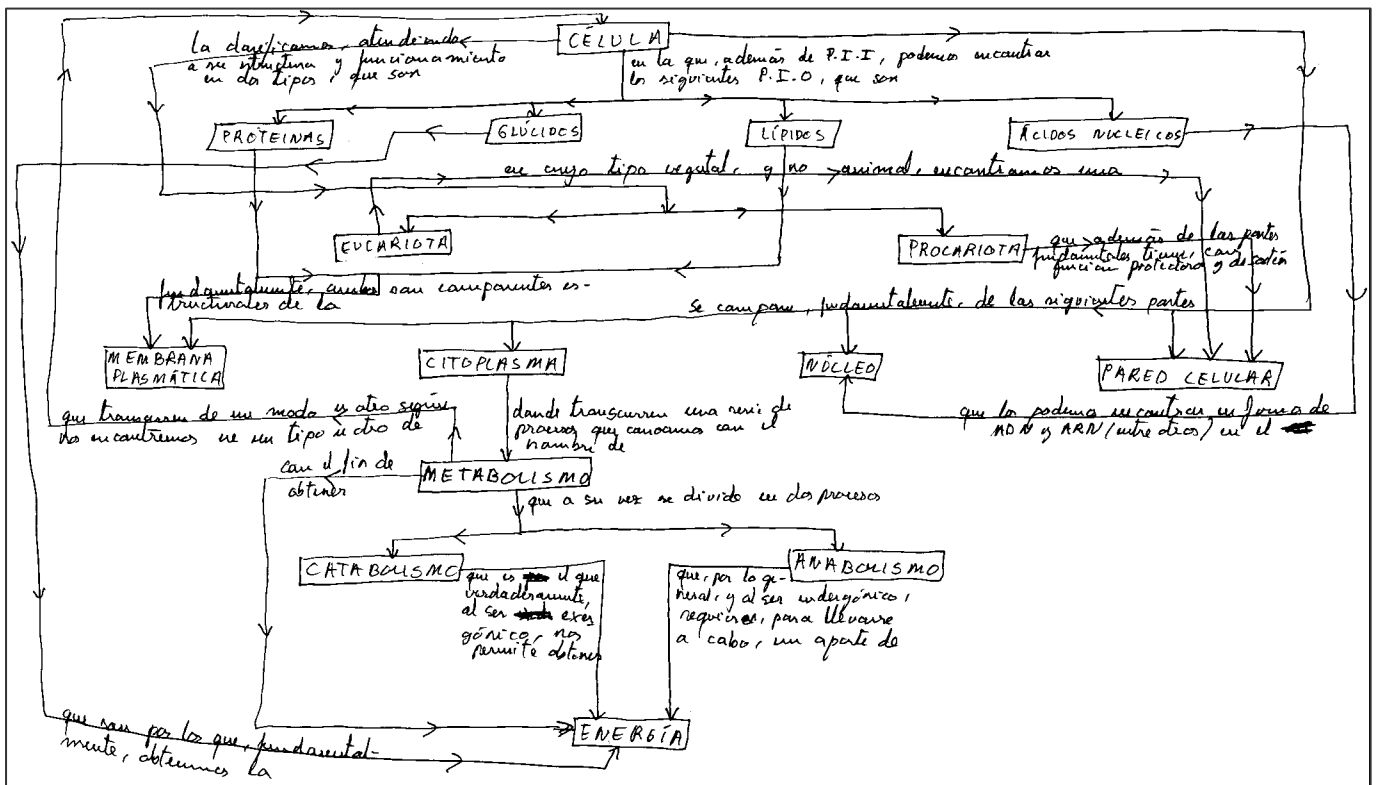


Fig. 10. 2º mapa conceptual elaborado por Alberto para la estructura y el funcionamiento celular (abril, 1997).

Como se recordará, se solicitó su realización sólo con quince conceptos. Muestra un alto grado de profundización con proposiciones coherentes y elaboradas y con relaciones cruzadas explicativas; con todo, lo más interesante de esta actividad como dato de la forma en que procesa Alberto la información, no es tanto el mapa en sí como la explicación que hace del mismo que, si bien es larga, merece una lectura detenida pues muestra lo que ya habíamos comentado relativo a la incorporación del metabolismo a un modelo de célula que comenzó siendo básicamente estructural. El discurso seguido vuelve a ser un ejemplo de coherencia, aplicación, organización autónoma, significatividad y establecimiento de deducciones e inferencias.

Estos conceptos son para mí la clave de la verdad (aunque con cada uno de ellos podría hacer otro mapa, y de hecho, lo hice ya). Tuve que eliminar algunos que creía necesarios (si hubieran sido 18 conceptos hubiera incluido: fotosíntesis, respiración y fermentaciones, ya que son unos procesos que creo resumen bien lo que ocurre en la célula; pero al ser 15, puse sólo (me decidí) por anabolismo y catabolismo.

*El mapa lo "encabecé" con **célula**, el que es sin duda concepto clave de la Biología de COU, según mi opinión (y no es la única). Luego coloqué los P.I.O. que considero tan importantes ya que a partir de ellos (que por otro lado, pueden existir fuera de la célula) se "obtienen" los demás; o dicho de otro modo, son los cimientos a partir de los cuales se edifican las estructuras celulares.*

Ya que no todas las células son iguales, a continuación coloqué los tipos de células (las más importantes) y, a renglón seguido, las estructuras fundamentales, que relacioné con los tipos de célula. Por eso lo puse así.

Más abajo, por seguir una cierta jerarquía, coloqué al metabolismo y sus tipos (como es lógico, subordinados al tipo principal), que traté de conectar con el resto de conceptos con relaciones cruzadas (los puse debajo porque tenían lugar en una estructura). El hecho de que energía lo haya colocado ahí abajo es simplemente porque creo que (sé que habrá quien discrepe) que es un producto de todo el desarrollo que puse. Quiero decir que: gracias a los P.I.O. y la célula en general (estructura, mecanismos metabólicos, ...) es por lo que obtenemos la energía. Ella es capaz de obtenerla a partir de lo que va colocado antes del concepto de energía. Por eso lo puse ahí abajo (es la discusión de siempre del ATP, pero esto es lo que creo yo). (Estoy satisfecho con el mapa que me ha salido. Creo que engloba lo más importante).

Si observamos el dibujo que elabora para dar respuesta a la estructura y al funcionamiento de una célula, vemos que, efectivamente, está operando mentalmente con un modelo complejo que integra perfectamente ambos aspectos y que lo hace utilizando varias imágenes que compara (procariota/eucariota) e, incluso, manejándolas como si de un zoom se tratara, revisando recursivamente diferentes niveles de organización. Las interacciones que establece son abundantes si contrastamos con los primeros dibujos que elaboraba, lo que muestra una evolución espectacular en su modelo (Fig. 11).

El grupo del que forma parte Alberto para hacer el tercer mural decide elaborar una V epistemológica (¡que este alumno rechazó a lo largo de todo el curso!). La importancia de la imagen para él es evidente en el siguiente diálogo:

Alberto : *¿empezamos desde el principio ? Los registros son los dibujos porque nosotros a partir de los dibujos que hemos hecho, bueno, que hemos hecho no, que tenemos en ... la idea ... de lo que es una célula, las partes que contiene, una imagen vale más que mil palabras y los registros que hemos visto nosotros son una parte y un dibujo ...*

ML : *¿Cómo es eso, cómo es eso, Alberto ? Una ima, una imagen vale más que mil palabras ; entonces, ¿para ustedes los registros son las imágenes que tienen de lo que es una célula ?*

Alberto : *los registros es lo que, lo que ... nos ... plasma ...*

Gloria : *en lo que nos basamos para hacer todo el estudio.*

Alberto : *es que primero, ¡eh !, nosotros lo vimos ya en clase, que la teoría celular no sé qué, primero se empezaron a ver las células en (...) con microscopio.*

Gloria : *primero vieron la célula y luego, ya, ...*

Alberto : *lo primero que se vieron fueron las fotos y después se empezaron a interpretar las fotos ; eso es lo que hacemos nosotros.*

Gloria : *a estudiar todos los orgánulos ...*

Alberto : *tenemos los dibujos y después los interpretamos.*

Gloria : *... y las funciones ...*

Alberto : *como podemos.*

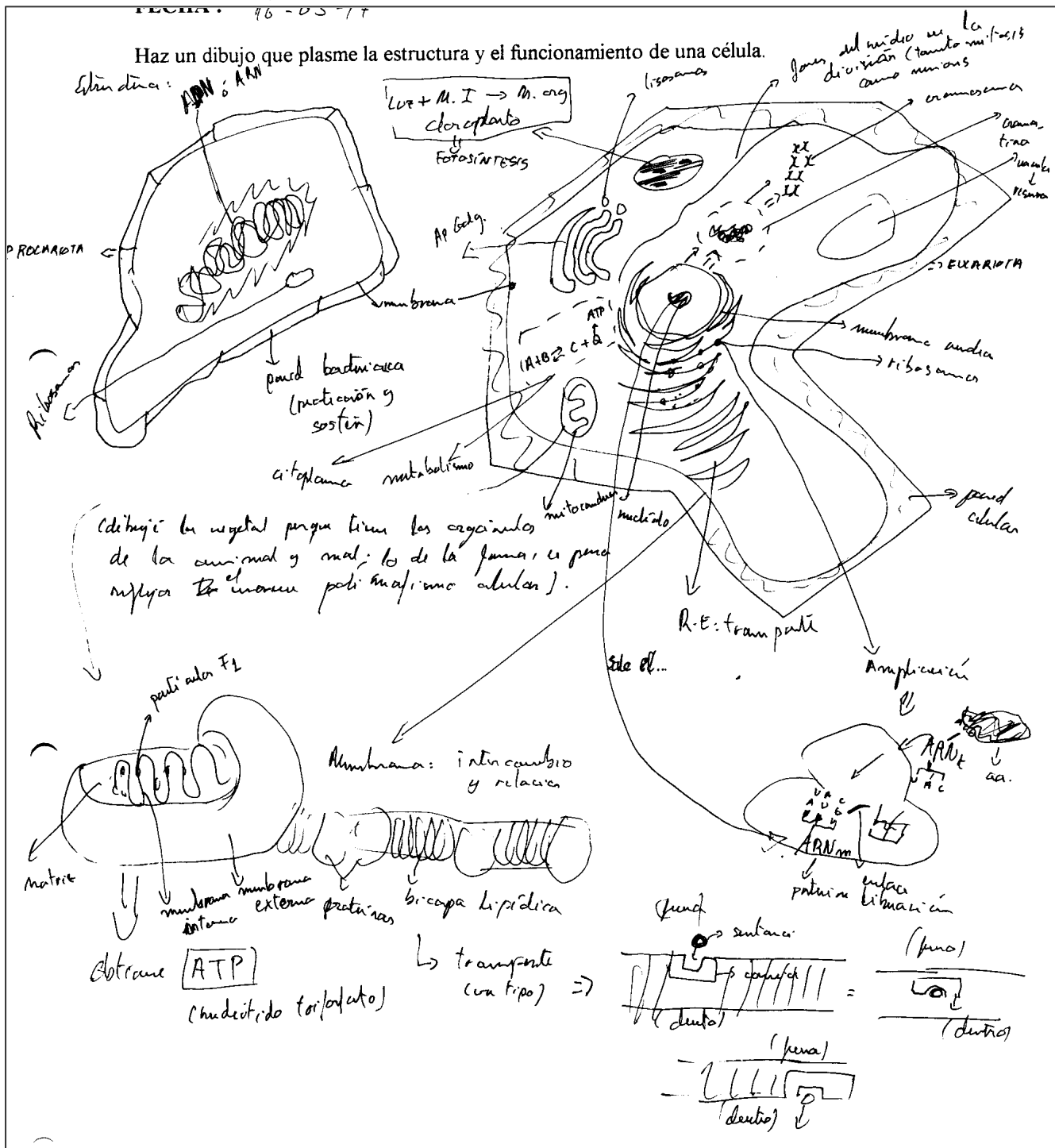


Fig. 11. Dibujo elaborado por Alberto para representar la estructura y el funcionamiento celular (mayo, 1997).

Pero lo que más ha llamado la atención en esta entrevista de grupo es la causalidad que establece Alberto, una causalidad que concuerda perfectamente con el dibujo antes mostrado (Fig. 11). Uno y otra son formas de plasmar la representación que Alberto ha construido de la célula, una representación, un modelo, que en este momento es global, único, y que lo ha dotado de capacidad explicativa y predictiva. Veamos un fragmento de esa entrevista que muestra dicha causalidad:

Alberto: íbamos a poner un dibujo de, ... de los registros, lo que tú puedes ver y los cromosomas son visibles ¿no?, entonces íbamos a poner un dibujo de las fases que toma el núcleo cuando se desintegra el ADN nuclear, pasa la cromatina así tal, y todo eso.

ML: vale. ¿Más cosas que me quieran decir?

Alberto : *que ... lo que dice ella es verdad ; aquí en los registros teníamos que haber puesto ..., no sé pero ... lo del funcionamiento de la célula nosotros lo conocemos, se supone, porque lo han estudiado ; primero ven la célula cómo es y luego intentan interpretar, vamos a ver : si ves que la membrana ... empiezan a entrar ... moléculas , que las ven por el microscopio y luego ves que aquí no están esas moléculas, entonces ya ahí ha pasado alguna transformación.*

ML : ¡ya ! ¡Bueno !

Alberto : *es interpretar lo que, lo que hay antes, lo que hay después de la célula, la pones en contacto con otras y ver en qué varía el contenido y luego te pones, bueno, pues entonces, si está cerca de este orgánulo, pues entonces sacas este orgánulo, además lo estudias, estudias la ultraestructura ...*

ML : sí.

Alberto : *qué puede hacer, qué clase de moléculas, qué puede hacer este orgánulo, cuáles son las características ; todo está relacionado con las características ; a lo mejor, la mitocondria puede hacer la respiración celular porque tiene las partículas esas para después el ATP, las vacuolas no porque no tienen eso, entonces tú tienes que ir interpretándolo ; yo tengo esto de esta cosa y esto de ésta - si la célula necesita esto y esto, entonces esto tiene que ser de aquí y esto de aquí - porque es lo que concuerda con las características de cada uno.*

ML : ¡ya !

Ese modelo único complejo y dinámico que integra estructura y función se refleja también en el siguiente fragmento de la entrevista individual desarrollada en junio, una vez terminadas las sesiones de clase y entregadas las calificaciones, como ya se ha comentado. Se recordará que no respondía a una entrevista clínica y que su objeto era buscar consenso en los significados asignados por las dos personas que intervenían en la conversación, lo que hacía que en unos casos fueran más reiterativas que en otros.

ML : ¿"catabolismo" qué imagen te sugiere ?

Alberto : *... glucólisis, respiraciones, fermentaciones, todos los procesos, después ... entra la glucosa, sale pirúvico, después el pirúvico pasa por la membranaaa acetil ¡eh ! acetil CoA, entra dentro del ciclo de Krebs, luego está ... las fermentaciones que ssson menos ..., son procesos degradativos me, me, ¡mmm ! obtención de energía a partir de materia orgánica, como nosotros.*

ML : ¿pero qué ves ? estás viendo.

Alberto : *reac, reacciones y veo llos lugares en donde tienen lugar y todo el proceso, tom, comemos un alimento ¿no ?, lo degr, al, lo digerimos, lo pasamos a través de la membrana dentro donde en el hialoplasma la glucólisis, se degrada a pirúvico, ... lo.*

ML : ¿o sea que estás viendo como si fuera una película ?

Alberto : *sí, lo que pasa ... desde que comes hasta queee.*

De hecho, cuando se le pedían las descripciones de sus propias imágenes al hilo de varios conceptos biológicos, las referencias de las mismas a una imagen de célula fueron abundantes. La causalidad, así como la consideración que hace Alberto de su modelo como análogo útil para explicar y predecir se ponen de manifiesto en el siguiente extracto de la misma entrevista:

ML : probablemente ésta sea ... la conexión de las dos membranas. ¿m ? Vamos a ver, tú me decías antes : mi modelo es mucho más simple, es un análogo, estructuralmente es un análogo pero yo puedo con mi modelo utilizar ¡eeehhh ! lo que tiene ese modelo para entender esto. Entonces, ¿lo que tú has hecho es aplicar tu modelo a la interpretación de esta foto ?

Alberto : sí.

ML : has aplicado tu modelo a la interpretación de esta foto. ¿Tu modelo, entonces, sólo atiende a la estructura ? ... ¿o es que en este momento sólo has aplicado la estructura ?

Alberto : sólo la estructura, porque si ... bueno, también lo de la función, si guarda cosas o ... esto ... debería ser para transportar cosas de un lado de la célula.

ML : ¿de un lado ?

Alberto : a otro, entre células parece que, como están unidas así.

ML : sí.

Alberto : por la membrana, como que están muy cerca y pueden realizar, relacionarse unas con otras a través de la membrana, transporte de sustancias.

ML : transporte de sustancias ; entonces me estás queriendo decir que tu modelo es un modelo que no sólo atiende a la estructura.

Alberto : ... no

ML : bueno, a ver, si yo te pidiera ¡aaahh ! dime cómo es, hazme un análogo a cómo funciona la célula y descríbemelo ; ¿mentalmente tienes una forma análoga del funcionamiento de la célula ?

Alberto : lo que dije antes de eso de las reacciones, pero sucesivas que están como formando, no como una cadena sino los productos de una son los reactivos de otra, después, por otro lado, ... cómo era lo de la ?-oxidación que su, el acetil CoA después se podía formar en ácidos grasos en el ciclo de Krebs, luego estaba lo de laaa

ML : ¿en ácidos grasos en el ciclo de Krebs ?

Alberto : no, lo de que loos restos de ¡mmm ! de acetil CoA que podían quedar libres, se podían encadenar y junto con glicerina formar ácidos grasos.

ML : ahora sí.

Alberto : ¿y qué más ? lo de los aminoácidos que también pueden entrar en el ciclo de Krebs, no me acuerdo cómo pero sé que sí.

ML : ¡jajaja ! o sea que tú tienes un modelo en tu mente que responde de manera análoga al funcionamiento de una célula.

Alberto : ¡ah ! y también lo de la síntesis proteica lo de la tra, laaa descondesación del ADN, hacer una copia, con el ARN mensajero, mandarlo, después llegar a lo del ribosoma, que se va acoplando con la secuencia de bases, lo del código genético.

ML : todo eso forma parte de tu modelo. ... ¿Ese modelo es gráfico o es básicamente textual ?

Alberto : no, yo tengo los dibujos y con los dibujos lo veo.

ML : ¡ah ! entonces vamos a ver, tú tienes una imagen en tu mente que es análoga a cómo funciona la célula

Alberto : ¡shshsh !

ML : ¿y eso es lo que me estás explicando en este momento ?

Alberto : sí. Es que ... yo para estudiar no me podría estudiar todo el texto porque es imposible, no puedo ; tengo que ver lo que estoy haciendo porque si no ... nooo, por ejemplo, cuando lo la síntesis proteica y eso, si yo no veo cómo es un ribosoma y cómo pasa eso del análisis y tal, lo que después nooo.

ML : ¿cómo pasa es de qué ?

Alberto : *deee el análisis ¡mi madre !, la unión de que llega el ARN mensaj, ¡eh ! transferente se une a un aminoácido ¿no ? y luego, está unido específicamente y luego con las bases que tiene, el anticodón se une con el codón del ARN mensajero y todo eso.*

ML : sí.

Alberto : *pero es que va llegando y luego se acopla aquí uno con un enlace peptídico, se va ése, viene otro ARN transferente, o sea, se desplaza así, viene otro ; y tengo más o menos la idea de secuencia así, que se va formando una cadena.*

ML : sí, entonces vamos a ver, lo que estás queriendo decir es que tú para estudiarte, para construirte tu propio modelo de cómo funciona la célula, has utilizado imágenes para ir explicando el funcionamiento.

Alberto : *sí, bueno, me ayudo de eso.*

Es un fragmento largo que nos sirve para corroborar algunas de las afirmaciones ya hechas como, por ejemplo, la importancia que le asigna este alumno a la imagen o la integración estructura/función que ha desarrollado a lo largo del curso.

Comenzábamos el caso de Alberto al contrario de lo que la lógica aconsejaría. Hicimos en un primer momento "su historia" a lo largo del curso, nuestra interpretación de sus producciones y verbalizaciones, nuestro modelo de sus modelos de célula a lo largo del mismo y procedía, a continuación, justificar dicho modelo; para ello, se han adjuntado algunas de esas producciones y verbalizaciones, algunos registros cuyas transformaciones (¡la interpretación en nuestro caso!) nos han llevado a dar, para Alberto también, una respuesta a aquella pregunta que nos habíamos planteado sobre la construcción y evolución, en su caso, de modelos mentales relativos a la célula. Si volvemos a la tipología de Johnson-Laird, estamos nuevamente ante un modelo mental físico ya que atiende o responde a una entidad física (entidad que, por otra parte, es compleja y muy abstracta para el alumnado, como ya hemos expresado), un modelo dinámico puesto que se establecen relaciones causales entre sus elementos constituyentes , que son los elementos de aquellos tres conjuntos (orgánulos, composición/estructura, relaciones entre ellos -procesos), habiéndose enriquecido todos ellos en términos de los "tokens" que Alberto incluye en los mismos al finalizar el curso; y es un modelo dinámico que, como hemos visto, no está restringido o limitado a una única imagen, sino que es plural y diverso en esas vistas, en esas visiones hechas, como dice el autor, desde ángulos particulares. De este modo, un único modelo para estructura y funcionamiento tiene para este alumno un alto poder predictivo y explicativo.

El carácter predictivo y explicativo que tienen los modelos mentales hace que sean, precisamente, eso, modelos de trabajo, es decir, estructuras cognitivas o mentales que se construyen en el momento en el que se solicitan y que se ponen en funcionamiento, que "rotan"; este funcionamiento se supone que es predecible en términos de procedimiento efectivo que puede formularse como un programa de ordenador. De aquí deriva la validez de las previsiones de la Teoría sobre los modelos mentales de los sujetos investigados. Rotar el modelo que ha construido Alberto supondría "a priori" que nos encontraríamos con un modelo que se ejecutaría para dar respuesta a preguntas sobre la célula, estableciendo un discurso conciso, coherente y sintético en el que se integra tanto la estructura como el funcionamiento, tanto los orgánulos como su papel biológico, tanto las moléculas constituyentes como su función en esa compleja estructura. Habría, pues, una integración de los diferentes niveles de organización celulares. Comprobemos la validez de esta previsión en la V heurística que este alumno hizo cuando ya se estaba acabando el curso (mayo, 1997) (Fig. 12).

Parece que el modelo construido por Alberto ha rotado como estaba previsto y parece, también, que nuestro modelo sobre su modelo tiene el carácter explicativo y predictivo asignado a los modelos mentales desde la perspectiva de Johnson-Laird.

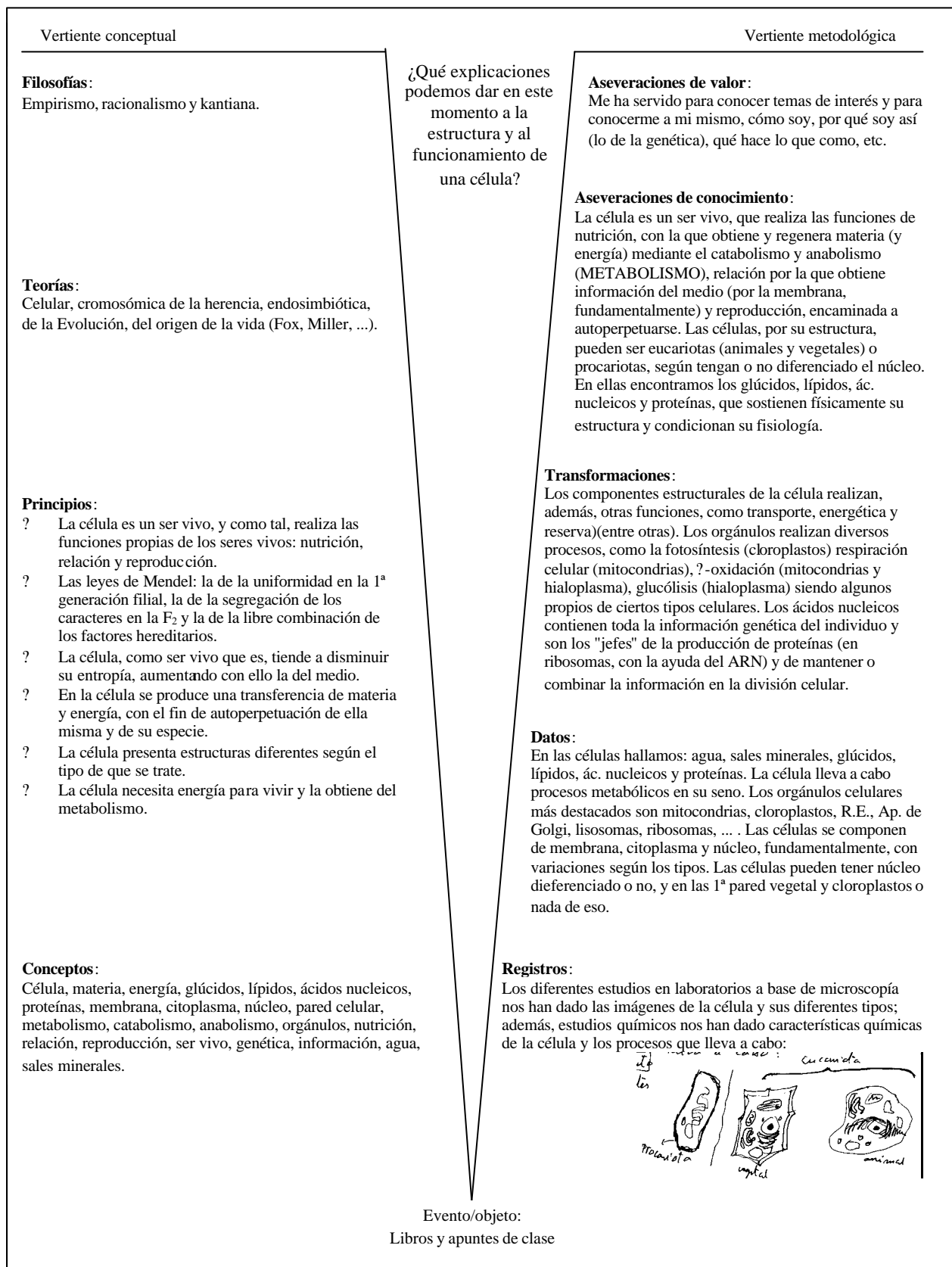


Fig. 12. V heurística elaborada por Alberto para la estructura y el funcionamiento celular (mayo, 1997).

Discusión y conclusiones.

Presentados los dos estudios de casos seleccionados, corresponde ahora hacer una valoración de conjunto, una discusión que nos permita, en la medida de lo posible, establecer comparaciones y que nos dé pautas para valorar la aplicación de la fundamentación teórica a casos concretos.

"El pensamiento acerca y en términos de una teoría necesita la construcción de modelos mentales. Mientras los conceptos científicos pueden ser codificados proposicionalmente, su comprensión implica interpretación, i.e., construcción de un modelo mental de las entidades o procesos que ellos representan. Así, lo que los filósofos han venido llamando "significado" y "referencia" (i.e., interjuego entre palabras, mentes y mundo) es, en esta visión, mediado por la construcción de modelos mentales que relacionan el mundo de maneras específicas". (Nersessian, 1992, pág. 10).

De los modelos mentales es de lo que nos hemos ocupado, los modelos mentales de dos personas es lo que hemos analizado porque, efectivamente, los conceptos científicos pueden ser codificados proposicionalmente, podemos operar, incluso de modo inmediato, sólo con proposiciones sueltas, aisladas, que no podemos integrar en una comprensión global de los fenómenos estudiados, de la teoría estudiada, -analizada- (en nuestro caso, la estructura y el funcionamiento de la célula) porque ello implica interpretación, porque ello supone el establecimiento de deducciones y de inferencias, la asignación de atributos referenciales, de significados a esas palabras que operan en nuestra mente, en las mentes de nuestros sujetos de investigación -de nuestros alumnos- con objeto de aprehender el mundo, de re-presentarlo, de hacerlo semejante a su modo de comprensión; en definitiva, esto es construir un modelo mental que nos permite hacerle frente a esa información nueva, expresada en un discurso codificado que esas mentes tienen que descodificar para comprender y volver a codificar para preservarla, para construir un modelo mejor, una representación que les permita asimilarla y utilizarla en la mejor y mayor medida posible. Y, precisamente, en estos términos, si esa mente sólo es capaz de operar con proposiciones sueltas, aisladas, con poco poder predictivo y explicativo, tendrá menos y peores posibilidades de recuperar dicha información y de usarla en situaciones y en contextos nuevos, diferentes a aquellos en los que se construyeron. Esto es lo que parece que se pone de manifiesto al comparar los modos de operar mentalmente con el mismo contenido de los dos estudiantes que hemos mostrado; es evidente, también, que ello se debe a dos formas distintas de procesar esa misma información, lo que muestra que, efectivamente, la mente humana construye modos de representación diferenciados que ejercen una influencia decisiva en los procesos de aprendizaje, como ya se ha comentado, en la medida en que determinan el procesamiento de la información, del discurso recibido.

Como se recordará, Barquero (1995) planteaba que los modelos mentales son referenciales, concretos, simplificados e incompletos, dinámicos y flexibles, análogos y limitados y son éstas características de los mismos que, a nuestro entender, se han puesto claramente de manifiesto en los dos casos comentados. Ambos estudiantes, por ejemplo, reducen la información de manera distinta en función de la relevancia que le asignan. Y esta relevancia asignada depende del modelo mental construido, de manera que si es muy explicativo incorpora más información y de manera más significativa como una representación simbólica del discurso recibido; si es pobre, simple, poco explicativo, asigna menor relevancia y significado, o no asigna, a la misma información, mostrando dificultades para interpretarla en el propio modelo, en la medida en que éste es simple y poco predictivo y explicativo. Para Alicia, por ejemplo, no es relevante la oxidación, transferencia de energía o entropía, cadena transportadora de electrones, etc, porque no puede serlo con el modelo que tiene de célula, ya que atiende fundamentalmente a la estructura y, sin embargo para Alberto, según su modelo, esto es relevante. En este sentido, Alberto le da importancia a estos conceptos y le

asigna significado (incluso biológico y coherente desde este punto de vista) mientras que Alicia no. Según Barquero (1995), los modelos mentales “*se transforman progresivamente con la aparición de nueva información relevante*”, de modo que son esos modelos los que asignan o permiten esa relevancia. Los modelos mentales, así, resultan primordialmente idiosincráticos y manifiestan su carácter psicológico, como muestran Alicia y Alberto, dos personas que, trabajando con el mismo material, en el mismo contexto, han construido modelos mentales marcadamente diferentes, modelos que están en la base de sus respuestas y actuaciones y, consecuentemente, de sus concepciones, entendidas éstas como elementos a partir de los que se debe construir el aprendizaje. Desde esta perspectiva, la relevancia del estudio de modelos mentales es muy grande y, por ello, abre vías futuras de investigación ya que la resistencia a una evolución o cambio de las mismas encuentra su justificación en el marco de la psicología de la cognición.

Habíamos destacado cuando planteamos la teoría algunos de los principios que Johnson-Laird le había asignado a los modelos mentales. Según el principio de la identidad estructural (nº 9) que hace referencia a que la estructura de los modelos es idéntica a la de los estados de cosas que éstos representan, ya sea percibidos o concebidos, parece evidente que Alberto y Alicia han percibido y concebido células distintas; la misma información se ha procesado de manera diferente, atribuyéndole, por tanto, una y otra persona elementos (“tokens”) diferentes. Según el principio del constructivismo (nº 3), “*un modelo mental es construido por elementos (tokens) dispuestos en una estructura particular para representar un estado de cosas*”. (Johnson-Laird, 1983, pág. 398), las representaciones de estos dos estudiantes son personales y muy diferentes, como ha quedado de manifiesto. En aplicación del principio de economía de los modelos (nº 4), “*una descripción de un estado simple de cosas se representa por un modelo mental simple, incluso si la descripción es incompleta o indeterminada*”. (op. cit., pág. 408), se observa cómo ambos sujetos construyen un modelo mental como única salida o solución posible a la interpretación del discurso que reciben y que procesan, precisamente, con el concurso de ese modelo mental construido; pero es un modelo diferente en uno y otro caso. Del mismo modo que Alberto representa las indeterminaciones estableciendo causalidad y, de esa manera, haciendo simple, más simple para él por una cuestión de economía mental, una entidad compleja y abstracta como es la célula, Alicia, por la misma economía mental y ante la imposibilidad de establecer esa causalidad entre los elementos (tokens), construye un modelo mucho más simple, una representación de esa misma entidad compleja y abstracta que posee más indeterminaciones y que es bastante más incompleta, hasta el extremo de dificultarle el establecimiento de inferencias, la causalidad. Y una explicación posible a esto guarda relación con otro principio de los que ya hemos reseñado, principio de la formación de conjuntos (nº 10): “*si un conjunto ha sido formado de conjuntos, entonces los miembros de esos conjuntos deben especificarse primero*”. (op. cit., pág. 429). Alicia no delimita bien los conjuntos de entidades físicas de la célula, de propiedades y características de esas entidades y de relaciones entre ambos, en otras palabras, opera en un terreno relacional en el que, a lo sumo, es capaz de relatar los elementos (¡y no todos!) de esos tres conjuntos, pero muestra serias dificultades para llevar a cabo sus interrelaciones, para el establecimiento de inferencias, para la causalidad, en suma, lo que la lleva a construir un modelo mental que refleja la estructura de la célula y otro, y como mucho, para un funcionamiento de la misma que es pobre e insuficiente en términos explicativos y predictivos.

Como nos decía el principio nº 5 (principio al que Johnson-Laird, como hemos visto, no le asigna un nombre específico, a diferencia de lo que hace con los demás), un modelo mental no puede soportar muchas indeterminaciones, sólo aquellas que sean computacionalmente tratables. Si la información recibida se procesa como un conjunto de indeterminaciones que el modelo no puede integrar, no puede tratar porque no se le asigna significado, no se construye un modelo mental para la misma y el sujeto se queda operando, dentro de sus posibilidades, con proposiciones que son verbalmente expresables, que actúan como frases sueltas que sí puede recordar porque las representa como tales proposiciones pero en un corto espacio de tiempo, no permitiéndole integrar una forma explicativa y predictiva de esa información, con lo cual, no lo capacitan para establecer

deducciones e inferencias; no ha construido un análogo estructural del mundo que se le ofrece. Descripciones verbalmente expresables y sin posibilidad de recordar, de recuperar, es lo que parece haber desarrollado Alicia en lo relativo al metabolismo, al funcionamiento celular en definitiva, observándose, como hemos visto, que para su estructura opera de hecho con un modelo que aplica, y lo hace de la misma manera, en diferentes contextos y situaciones. No ha podido construir un modelo mental más elaborado, más consistente, más próximo a lo que Norman (1983) considera modelo conceptual (inventados por los profesores e investigadores para facilitar su comprensión o su enseñanza), más explicativo y predictivo de la estructura y el funcionamiento de la célula como un todo porque el principio de formación de conjuntos que comentábamos, digamos, no se está cumpliendo en su construcción mental de esa entidad compleja y abstracta, sobre todo para ella, que es la célula. Sin embargo, como se ve, Alberto parece tener desde un primer momento bien delimitados esos tres conjuntos, bien definidos sus miembros constituyentes, lo que le permite, por una parte, ampliar dichos conjuntos incorporando a los mismos elementos ("tokens") nuevos y, por otra, establecer un mayor número de conexiones entre ellos en la medida en que construye una representación cada vez más completa y más determinada, tan determinada que es capaz de plasmarla desde diferentes puntos de vista en las distintas imágenes que construye, una representación en la que las inferencias y deducciones son cada vez más evidentes y más consistentes desde el punto de vista biológico, una representación más versátil en términos de causalidad que tiene para él un mayor poder predictivo y explicativo; es, consecuentemente, un modelo mental más elaborado, más evolucionado. Alberto re-presenta la célula a partir de una serie de elementos ("tokens") que se correlacionan con la célula como entidad real -(¡mundo!) - que él dispone de una manera particular, es decir, construye con esos elementos ("tokens") su propio modelo, un modelo que hace rotar con fluidez y que le es útil a pesar de que trabaja, también, como Alicia, con indeterminaciones, si bien es cierto que con pocas pues puede manejarlas haciendo uso del propio modelo, como se ha visto, por ejemplo, en los fragmentos seleccionados de la entrevista; es un modelo que responde al principio de identidad estructural pues concibe y percibe esa unidad de vida, esa estructura dinámica, elaborando una representación que incluye todos sus elementos (de los tres conjuntos) aunque de manera más simple, lo que guarda relación con el principio de economía de los modelos mentales. Es un modelo que a él le permite enfrentarse a nueva información, a un mundo nuevo sobre este tema, y operar/actuar en el mismo en tanto que tiene una representación compleja y completa que actúa como intermediaria, lo que le permite, entre otras cosas, recuperar esos elementos que precisa a través de la revisión recursiva que pone en juego; esto es, precisamente, lo que Alicia no podía hacer, según ella misma confesaba, fundamentalmente para funcionamiento, porque "no podía recordar", operando en este aspecto en un terreno proposicional.

Como hemos mostrado en los párrafos precedentes, se han aplicado a casos concretos, a sujetos concretos, algunos de los principios que Johnson-Laird le atribuye a los modelos mentales y, al hacerlo, se ha puesto de manifiesto que no son principios teóricos que no sean aplicables sino que, todo lo contrario, son, precisamente, principios prácticos, en la acción, que nos permiten delimitar criterios que faciliten la interpretación de lo que son modelos mentales como mecanismos de representación que la mente humana pone en juego como intermediarios en el procesamiento de la información, una información que es percibida o concebida de diferentes maneras en función de cómo operan esos criterios, de cómo actúan esos principios, y que hacen de "modelos mentales" en la perspectiva de Johnson-Laird un constructo plausible, un modelo mental aplicable como intermediario para interpretar las representaciones que el alumnado construye para "representar" la información recibida.

Esa forma de representar, como hemos tenido ocasión de mostrar, es producto de un proceso mental complejo, proceso de cognición que es extraordinariamente rico como rico debe ser el procedimiento que aporte los datos que nos permitan, si no determinarlo, sí hacer inferencias de cómo se produce; y el enfoque de estudio de casos, como hemos tenido ocasión también de observar, se ha mostrado fructífero en este sentido. A pesar de la dificultad que Caravitas y

Tonucci (1988) expresaban y de la que el presente trabajo es un ejemplo, es posible encontrar criterios comunes en esos productos elaborados por los estudiantes, categorías de análisis que faciliten la comprensión, como investigadores y como docentes, de sus estructuras mentales; esos criterios comunes, esas categorías de análisis guardan relación con la significatividad en el uso de los conceptos, con la utilización mecánica o autónoma de los mismos, con la calidad del discurso y, consecuentemente, de la información, con el establecimiento de deducciones e inferencias, con la organización, etc, y esto es aplicable a diferentes producciones y actuaciones de los estudiantes, de las personas. De este modo, y usando el referente teórico expuesto, hemos encontrado aquellas pautas que buscábamos para obtener una formación y una información más satisfactoria sobre las representaciones del alumnado que nos permita superar los obstáculos y las dificultades de nuestros estudiantes frente al aprendizaje. Hemos trabajado en el terreno psicológico, corresponde ahora aplicarlas en los procesos de enseñanza y de aprendizaje, tener en cuenta este bagaje para articular la organización del contenido y las estrategias más adecuadas para conseguir que estos jóvenes construyan en la escuela las representaciones mentales que el sistema educativo pretende, o sea, pensar y repensar desde esta perspectiva pero como paso posterior, en el nivel pedagógico. Los datos expuestos no dejan lugar a dudas sobre el papel que estas representaciones tienen en esos procesos de aprendizaje y su influencia en los mismos, su carácter idiosincrático. Disponer de esta información para articular la docencia y tratar en la misma con esas diferentes formas de pensamiento es crucial si lo que se pretende es desarrollar aprendizajes significativos científicamente aceptados y en las páginas precedentes se ofrecen indicios y pautas para llevar a cabo esta tarea. Como investigadores y como docentes estamos obligados a conocer esas representaciones y estudiarlas bajo la forma de estudio de casos parece abrir una vía utilizable para abordar esta tarea.

Resulta comprensible, pues, a raíz del análisis de los estudiantes presentados, la dificultad que entraña la entidad "célula" y su papel vital en la conceptualización biológica, así como la construcción de una representación más coherente y explicativa que favorezca un aprendizaje significativo científicamente aceptado de la misma, un aprendizaje que no puede producirse, que no puede vencer las concepciones erróneas, incompletas y no aceptadas si no se atiende a esos modos de representación que están detrás de las mismas como sustrato psicológico del proceso de cognición. Y "modelos mentales" como forma de explicar esas representaciones resulta un constructo comprensible, plausible y fructífero porque explica y fundamenta ese proceso de la cognición humana y ofrece pautas sobre cómo desarrollarla, cómo hacer que ésta evolucione, en definitiva, cómo, a partir de su conocimiento, generar aprendizaje, un aprendizaje que, efectivamente, sea significativo y cuya significatividad está psicológicamente argumentada. Nuevamente, nos planteamos la necesidad, pues, de dar el siguiente paso y pasar a la acción, al día a día del aula, como consecuencia del conocimiento obtenido, abordando a partir de aquí y de ahora las estrategias pedagógicas necesarias y suficientes para ello. Los procesos psicológicos de procesamiento de la información cuya interpretación se ha descrito en las páginas precedentes dan algunas pautas al respecto, por ejemplo, en lo que se refiere a la necesidad de construir ciertos conceptos antes que otros, pero, en todo caso, eso supone líneas de trabajo posteriores que se espera que se desarrollen en el futuro para conectar la investigación educativa con la labor profesional docente.

A raíz de lo expuesto, ¿se han construido y, en su caso, han evolucionado los modelos mentales relativos a la estructura y al funcionamiento celular a partir de la información, del discurso trabajado en el aula? ¿Le hemos dado respuesta en estas páginas a esta cuestión? Si es así, habremos favorecido que se generara algún conocimiento en estos estudiantes, en nuestros sujetos de investigación, y habremos generado, también, conocimiento acerca de sus modos de operar mentalmente, de sus modelos mentales, construyendo nuestros propios modelos sobre los mismos. ¿Supone esto alguna validación empírica a la Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird?

Ese modelo mental construido como investigadores y como docentes al interpretar los casos presentados así parece indicarlo.

Bibliografía

AUSUBEL, D. P. (1968). *Educational Psychology: a cognitive view*. New York, Holt, Rinehart and Winston.

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.

CARAVITAS, S. y TONUCCI, F. (1988). Problemas metodológicos en la investigación de las representaciones mentales referidas a temas biológico-naturalistas en los niños de la escuela primaria. *Enseñanza de las Ciencias*, Vol, 6, nº 2. Pág. 126-130.

GENTNER, D. y STEVENS, A.L. (1983). *Mental Models*. LEA. New Jersey. 348 pp.

GUTIÉRREZ, R. (1996). Modelos mentales y concepciones espontáneas. *Alambique*. Didáctica de las Ciencias Experimentales. N. 7, pp. 73-86.

JOHNSON-LAIRD, P. (1983). *Mental Models. Towards a Cognitive Science of Language, Inference, and Consciousness*. Harvard University Press. Cambridge. 513 p.

LÜDKE, M. e ANDRÉ, M. E.D.A. (1988). *Pesquisa em Educação: abordagens qualitativas*. Temas Básicos de Educação e Ensino. EPU. São Paulo. 99 pp.

MOREIRA, M.A. (1997). Modelos Mentais. *Investigações em Ensino de Ciências*. Vol. 1, n. 3 ([http:// www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm](http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm)).

NERSESSIAN, N. (1992). How Do Scientist Think? Capturing the Dynamics of Conceptual Change in Science. En Gere, R.N. (Ed): *Cognitive models of science*. Vol. XV. Minnesota Studies in the Philosophy of Science. Minneapolis, Univ. Minnesota Press. pp. 3-44.

NORMAN, D.A. (1983). Some Observations en Mental Models. En Gentner, D. y Stevens, A.L. *Mental Models*. LEA. New Jersey. pp 7-14.

NOVAK, J. D. y GOWIN, D. B. (1984). *Learning how to learn*. Cambridge: Cambridge University Press.

RESNICK, L. B. (ed). (1989). *Kowing, Learning and Instruction*. LEA. Hillsdale, N.J.

RODRÍGUEZ GÓMEZ, G.; GIL FLORES, J. y GARCÍA JIMÉNEZ, E. (1996). *Metodología de la investigación cualitativa*. Ediciones Aljibe. Málaga. 378 pp.

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, nº 2. Porto Alegre. (<http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>)

Recebido em: 27.09.98

Aceito em: 30.09.99