

MODELOS MENTALES DE CÉLULA. EL CASO DE GENOVEVA

María Luz Rodríguez Palmero

RESUMEN

Se presenta el informe que se deriva del proceso seguido para analizar las producciones y verbalizaciones de una estudiante relativas al contenido celular trabajado en el aula, contemplado desde la perspectiva de estudio de casos. Estos materiales aportados por la misma como representaciones externas se observan desde la óptica de la Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird como forma de analizar y conceptualizar las representaciones mentales —internas— que esta joven ha generado sobre este contenido curricular. Se desprende del proceso seguido la idoneidad del mismo para identificar dichos modos internos de representación, así como la importancia de su conocimiento para la docencia y su estrecha relación con la selección, el análisis y la organización del contenido que la escuela presenta al alumnado.

PALABRAS CLAVE: representación, modelo mental, conocimiento.

ABSTRAC

The report derived from the process followed to analyze the productions and verbalizations concerning the cellular content worked in the classroom of a female student is presented, from the case study perspective. The materials given by the student as external representations are observed from the optics of the Theory of the Mental Models of Johnson-Laird, as a way to analyze the mental representations —internal— that this student has produced over the curricular content. The process followed has been very useful to identify those internal ways of representation, whose knowledge is so important to the teaching process and its close relationship with the selection, analysis and organisation of the contents the school presents to the students.

KEY WORDS: representation, mental model, knowledge.

INTRODUCCIÓN

La investigación de las ciencias ha aportado una gran documentación relativa a los problemas y procesos inmersos en la transmisión del saber científico y ha evidenciado la importancia que en ellos tiene el conocimiento del que disponen los estudiantes y que aportan al aula. De ese modo, se han llegado a delimitar las características básicas de ese «contenido personal» y se ha derivado hacia la idea de representación como modo de expresarlo. Se entiende por representación *cualquier nota-*

ción, signo o conjunto de símbolos que representa (vuelve a presentar) algún aspecto del mundo externo o de nuestra imaginación, en su ausencia (Eysenck y Keane, 1991, p. 202); esas representaciones pueden ser externas e internas y las que realmente deben ser objeto de estudio, desde esta perspectiva, son las internas, las que se generan en la mente del alumnado ya que, como se expuso, son las que ejercen una influencia directa en la adquisición y asimilación de la cultura e información que se trabaja en la escuela para que estos jóvenes la aprehendan. A ellas podremos llegar, como hipótesis, a través de las representaciones externas que expresan los procesos cognitivos que las soportan como sustrato y, en este sentido, habremos de ocuparnos también de las mismas como instrumentos que nos permitan acceder a esos modos de pensar y de procesar la información y los contenidos con los que operan.

Una forma de estudiar esas representaciones internas es considerarlas como modelos mentales, un constructo que en los últimos tiempos ha cobrado una gran relevancia por cuanto nos permite comprender las estructuras cognitivas que la persona pone en juego en interacción con la información y con el mundo que la rodea. Son esos modelos mentales los que nos dotan de poder predictivo y explicativo y, consecuentemente, de comprensión. Pero la idea de modelo mental no es única ni general; existen diferentes formas de contemplarlos y entre ellas parece comprensible, plausible y fructífera la consideración que hace Johnson-Laird (1983, 1988, 1993, 1996) al respecto como una teoría adecuada de la mente explicativamente. Para Johnson-Laird,

los seres humanos, por supuesto, no aprehenden el mundo directamente; poseen sólo una representación interna del mismo porque la percepción es la construcción de un modelo del mundo. Ellos son incapaces de comparar esta representación perceptual directamente con el mundo —es su mundo (Johnson-Laird, 1983, p. 156).

Es éste uno de sus más destacados rasgos: los modelos mentales son representaciones internas que actúan como puentes entre el sujeto (la mente) y ese mundo con el que interactúa. Este autor considera un modelo mental como sigue:

Es ahora plausible suponer que los modelos mentales juegan un papel central y unificador en la representación de objetos, estados de los asuntos, secuencias de eventos, la manera de ser del mundo, y las acciones sociales y psicológicas de la vida diaria. Capacitan a los individuos para hacer inferencias y predicciones, comprender los fenómenos, decidir qué acción tomar y el control de su ejecución y sobre todo para la experiencia de eventos por aproximación; reconocen el lenguaje que debe usarse para crear representaciones comparables con aquéllas de las que derivan por conocimiento directo con el mundo; y relacionan palabras del mundo a través de la concepción y de la percepción (*op. cit.*, p. 397).

Los modelos mentales resultan ser, así, extraordinariamente funcionales y es eso lo que les imprime su potencialidad. Son representaciones internas, son correlatos mentales de la realidad, de nuestro mundo. Si atendemos a su carácter representacional, el constructo de modelo mental es muy fuerte y ofrece una profunda carga

explicativa. Ese modo de contemplar y de explicar las representaciones mentales es lo que justifica su elección como marco teórico de referencia.

Según Johnson-Laird (1987, 1989), la mente opera con un triple código de proposiciones, modelos mentales e imágenes y utiliza esas representaciones como intermediarias entre el sujeto y la realidad, ante la imposibilidad de aprehenderlo directamente. El objeto del presente trabajo es presentar una forma de reconstruir un caso, una explicación sobre cómo se genera un modelo mental sobre los posibles modelos mentales construidos por el individuo, Genoveva en este ejemplo, a lo largo de un curso escolar completo, usando para ello sus producciones y verbalizaciones analizadas a la luz de la teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird.

¿CÓMO IDENTIFICAR MODELOS MENTALES (REPRESENTACIONES INTERNAS) USANDO PRODUCCIONES Y VERBALIZACIONES DEL ALUMNADO (REPRESENTACIONES EXTERNAS)?

Los modelos mentales son representaciones internas, son construcciones que se generan en la estructura cognitiva de las personas y se elaboran en el momento de hacerle frente a un mundo nuevo o a una nueva información o contenido, como intermediario entre el sujeto y el entorno exterior al mismo. No es posible, por tanto, entrar en esos procesos y mecanismos que permiten comprender y aprehender esa información que se les presenta, pero sí que podemos establecer deducciones e inferencias sobre cómo todo eso es posible (Johnson-Laird, 1990, 1998).

Los registros que se han usado para intentar dar respuesta a la cuestión planteada están constituidos por las producciones y verbalizaciones generadas a lo largo de un curso escolar relativas al contenido de Biología Celular trabajado. Estos registros son los siguientes: *cuestionarios* inicial y final (el mismo en ambas ocasiones); los cinco *exámenes* elaborados a lo largo del curso; los tres *mapas conceptuales* solicitados también en momentos diferentes; interpretación de un *símil* de la célula; elaboración de un *dibujo* relativo a su estructura y funcionamiento; *entrevista* final.

Proposiciones, modelos mentales e imágenes son las formas distintas de representación con las que trabaja la mente humana que se toman como referencia para el análisis de las representaciones del alumnado en este estudio. Interesa averiguar cuáles se generan y para ello tendremos que atender en términos genéricos a la *selección y uso* que se hace de los conceptos que se emplean en esas representaciones, lo que nos permitirá determinar en qué medida se opera sólo con proposiciones aisladas o se articulan en forma de un modelo coherente, y a la *imaginabilidad*, a la capacidad de plasmar en imágenes, de usar en sus explicaciones y predicciones esas imágenes. Atendiendo a lo expuesto, se diferencian, por tanto, tres niveles distintos de análisis:

- La selección de conceptos que se lleva a cabo, ya que nos dará información sobre los conceptos a los que se les da relevancia y, por tanto, en este aspecto habremos de atender a si se usan conceptos relativos tanto a estructura como a funcionamiento celular.

- El uso de aquéllos, de lo que se derivará la capacidad explicativa y predictiva que se ha generado y, consecuentemente, el grado de comprensión.
- Uso y, en su caso, calidad de las imágenes y dibujos (o indicios de su uso en el razonamiento), de tal manera que se detecte si se razona la célula con el uso de imágenes en ese proceso cognitivo o si no se recurre a ellas, bien porque no se generan o bien porque son simples, estáticas y parciales.

Estos tres niveles globales de análisis de esas producciones y verbalizaciones se abordan de manera diferenciada a través de tres subesquemas constituidos por:

- El discurso: subesquema de análisis que nos permite atender como criterios a la selección de conceptos, a su uso a través de la calidad del discurso plasmado, el uso de la información utilizada, el establecimiento de deducciones e inferencias, la manifestación de analogías y la utilización de imágenes en esas composiciones.
- Los mapas conceptuales: que muestran la selección conceptual, las relaciones establecidas entre dichos conceptos, la naturaleza de las proposiciones construidas y la jerarquización del contenido llevada a cabo, así como la posible presencia de analogías y referencias a imágenes en los nexos establecidos.
- Los dibujos, cuyo análisis como subesquema permite abordar los conceptos seleccionados, el diseño elaborado, la delimitación de identificación estructural, identificación funcional y/o interacción entre ambos aspectos, o sea, integración estructura/función, así como la complejidad plasmada.

Lo que se plantea es un proceso de interpretación de esas distintas producciones y verbalizaciones con la finalidad de extraer una predicción y una explicación relativa a cómo puede haberse operado mentalmente; por lo tanto, lo que se hace es interpretar, deducir, establecer inferencias, postular analogías sobre cómo se piensa que se han generado esas representaciones. Atender a estos tres aspectos supondrá el soporte sobre el que indagar y explorar la construcción de modelos mentales relativa a un concepto tan complejo y altamente estructurado como es la célula en este nivel. Se está procurando explorar la forma de generar un modelo sobre esas representaciones que son internas y está claro que no podemos saber cómo funciona la mente, sino solamente intentar plantear algunas explicaciones sobre cómo puede ser eso posible; no se trata más que de una aproximación. Esto conduce a buscar categorías de análisis, criterios comunes que permitan contrastar y comparar producciones tan distintas como un mapa conceptual, un dibujo, un examen o una entrevista. De acuerdo con Norman (1983), buscamos las estructuras indistintas, incompletas y desordenadas que las personas tienen en sus cabezas y se ha optado por hacerlo usando como material de referencia para la interpretación todo lo que el alumnado ha hecho a lo largo del curso, sus producciones y verbalizaciones, analizadas desde la perspectiva de estudio de casos. Por ello y para ello esa definición de criterios comunes es crucial en la triangulación de los materiales recogidos. La selección y el uso de los conceptos, por una parte, y el uso, en su caso, de imágenes en el razonamiento, bien porque se realicen los dibujos o bien porque se utilicen como



referencia en el discurso, constituyen la base del análisis e interpretación del caso.

Una vez perfilado el esquema de análisis se establecieron cuatro fases:

- Una primera en la que se han cumplimentado los cuadros aplicando los criterios y categorías comentados.
- Una segunda, posterior en el tiempo algunos meses, en la que se delimitaba la naturaleza de los conceptos utilizados en cada registro por categorías, atendiendo a los tres conjuntos de elementos, propiedades/características de los mismos y relaciones planteados por Johnson-Laird y redefinidos para el contenido celular.
- Una tercera fase de elaboración de las categorías de tipificación de las representaciones de célula que es consistente con la forma de seleccionar y usar los conceptos y las imágenes y que se apoya, también, en la delimitación de la naturaleza conceptual de la fase anterior. Esto permitió distinguir y diferenciar los distintos modos de representación de la célula observados, al tiempo que delimitarlos con mayor nitidez.
- Una cuarta y última fase en la que se ha llevado a cabo un informe interpretativo, un modelo mental de la investigadora, sobre los modelos mentales que cada sujeto ha ido desarrollando a lo largo del curso escolar que, consecuentemente, da cuenta también de su evolución.

De este modo, utilizando como esquema de análisis el expuesto (Rodríguez, 2000; Rodríguez, Moreira y Marrero, 2001), se fueron encontrando coincidencias que dieron como resultado cuatro formas diferentes de pensar en la célula que se han definido como modelos mentales relativos a la misma; estos modelos se caracterizan del siguiente modo:

- Modelo mental A o estructural: construcción de un modelo de estructura celular pero no de funcionamiento. Imagen única y estática (en caso de que se genere). No establecimiento de inferencias y deducciones.
- Modelo mental B o dual: construcción de un modelo de estructura de la célula y otro de su funcionamiento, ambos independientes, o sea, un doble modelo. Imagen estática. Establecimiento de pocas y pobres inferencias y deducciones entre estructura y funcionamiento.
- Modelo mental C o causal discursivo: construcción de un modelo integrado estructura/funcionamiento de la célula. Establecimiento de inferencias y deducciones elaboradas entre estructuras y procesos. Causalidad. No uso o no generación de imágenes o, en caso de generarlas, éstas son estáticas y simples.
- Modelo mental D o causal imagístico: construcción de un modelo integrado estructura/funcionamiento de la célula. Establecimiento de inferencias y deducciones elaboradas entre estructuras y procesos. Causalidad. Imagen dinámica-compleja y/o uso de varias imágenes.

De lo expuesto se deriva que se han detectado regularidades que se corresponden con los modos de pensar del alumnado con respecto a la célula; se observa

que estos modos comunes en la forma de procesar el contenido trabajado y de plasmarla se relacionan con la forma de manejar la información y de exteriorizar lo que de la misma se ha comprendido, es decir, con las representaciones externas que se han aportado que constituyen los registros obtenidos. Son estos registros los que han permitido inferir que mentalmente son los cuatros modelos mentales que se han tipificado las representaciones que se han puesto en juego como intermediarias entre sus estructuras cognitivas y el contenido que se presentaba.

Esa forma de reconstruir un caso, ese modo de interpretar y de sistematizar la información ofrecida por el alumnado para comprender cómo pensó la célula es lo que se ejemplifica a continuación como un caso concreto que nos permite ver el proceso seguido y evaluar su eficacia para los fines propuestos.

MODELOS MENTALES DE CÉLULA CONSTRUIDOS POR GENOVEVA

Se presenta, como ya se dijo, el proceso seguido con las producciones y verbalizaciones (representaciones externas) de Genoveva, relativas al contenido celular trabajado en el aula. A ellas se les ha aplicado el protocolo que se ha definido al efecto para determinar e intentar identificar sus modos de pensar relativos a dicho contenido, es decir, sus representaciones internas analizadas desde la perspectiva de los modelos mentales que Johnson-Laird postula.

En primer lugar se exponen los cuadros que han permitido sistematizar la información ofrecida por esta alumna (tablas núms. 1, 2, 3 y 4) y, posteriormente, el informe interpretativo que se basa en los mismos, lo que ha dotado de comprensión sobre la forma en la que se deduce y se infiere que ha procesado dichos contenidos.

¿Qué hace Genoveva cuando piensa en la célula? El primer registro formal que se obtiene de ella es el cuestionario inicial (18-10-96); en él, esta alumna muestra un alto grado de elaboración personal en las frases que usa, ya que las articula coherentemente en un discurso bien estructurado en el que organiza autónomamente la información que selecciona y plasma. Sus deducciones e inferencias son también elaboradas, mostrando una capacidad de razonamiento biológico aceptable. Parece manejar cuando se enfrenta a este cuestionario imágenes, más de una, a juzgar por lo que nos responde, imágenes que dan cuenta de la diversidad celular pero que sólo atienden a su estructura, lo que se corrobora con la selección conceptual que lleva a cabo que básicamente es estructural, no incorporando ningún concepto metabólico y haciendo referencia en el terreno comportamental solamente a las funciones vitales; no obstante, ante demandas explícitas de plasmar gráficamente esa célula, Genoveva recurre al discurso, usando dibujos sólo en una de las tres ocasiones en las que se le solicita. Ante la pregunta:

¿Cómo podemos representar una célula? ¿Cómo haríamos un dibujo de la misma?, su respuesta es la siguiente:

Hay diferentes tipos de células, y por tanto diferentes maneras de representarla. Tendemos (h)a dibujar la célula con su núcleo y orgánulos correspondiente; el

TABLA 1. DATOS RELATIVOS A DISCURSO NO FORMAL

CRITERIOS	CUESTIONARIO INICIAL	CUESTIONARIO FINAL	ENTREVISTA
<i>Conceptos</i>	Célula, ser vivo, núcleo, orgánulos, animal, vegetal, procariontita, membranas, vacuolas, mitocondrias, citoplasma, vida, información genética, energía, materia, retículo endoplasmático, nucleolo, aparato de Golgi, plasma, membrana nuclear, nutrientes, relación, reproducción, organismo, nutrición, ácidos nucleicos, proteínas.	Célula, vida, eucariota, animal, membrana nuclear, nucleolo, núcleo, cromatina, aparato de Golgi, orgánulos, cloroplastos, vacuola, ribosomas, retículo endoplasmático rugoso, mitocondria, ser vivo, funciones vitales, nutrición, relación, reproducción, almacén, información, transmisión, enzimas, proteínas, información genética, vegetales, anticuerpo, antígeno, lípidos, glucólisis, β -oxidación, respiración celular, ATP, reacciones, metabolismo, principios inmediatos, glúcidos, herencia.	Funciones vitales, ser vivo, reproducción, relación, nutrición, entropía, células, reacciones, metabolismo, energía, materia, complejidad, ATP, anabolismo, catabolismo, vida, mitosis, meiosis, principio inorgánico, principio orgánico, enzimas, sistema inmunitario, ADN, mitocondria, animal, eucariota, núcleo, orgánulos, nucleolo, invaginación, membrana, retículo endoplasmático, ribosomas, interfase, vacuolas, citoplasma.
<i>Frases</i> (de libro o elaboración personal)	Elaboración personal	Elaboración personal	Elaboración personal
<i>Calidad del discurso de los párrafos</i> (simple y pobre o coherente y con aplicación)	Coherente y con aplicación (Ej. preg. 4 y 6)	Coherente y con aplicación	Coherente y con aplicación
<i>Uso de la información</i> (repetición mecánica u organización autónoma)	Organización autónoma (Ej: preg. 6)	Organización autónoma	Organización autónoma
<i>Plasmar imágenes en diseños</i> (no uso/uso)	Uso (3º) No uso (1º y 2º)	Uso	<ul style="list-style-type: none"> - Glúcido: caramelo. - Proteína: enzima. - Lípido: grasa. - Ácido nucleico: ADN. - Energía: mitocondria. - Entropía: mesa desordenada. - Célula: imagen típica, dinámica. - Catabolismo: algo que se va haciendo cada vez más pequeño. - Meiosis: célula en división (libros) - Ser vivo: yo. - Nutrición: comer algo (un animal). - Relación: invaginación de la membrana.
<i>Inferencias y deducciones; interpretación</i> (establecimiento/no; pobre/elaborada)	Elaboradas	Elaboradas	Elaboradas
<i>Analogías</i> (extrabiológica, biológica —nivel—, repetición de clase/ autónoma)	Tendríamos que idealizar sus componentes, asemejarlos a un sistema o mecanismo donde todo lo que lo compone está relacionado. Aunque no sería un ejemplo no muy correcto, podríamos compararlo quizás con la maquinaria de un reloj o quizás con una comunidad de hormigas, donde cada componente realizara su función. Sería muy difícil dibujarlo tal y como es. Extrabiol/autónomas.	No se detectan	No se detectan (sólo lo que se deriva de las imágenes)
	Hay diferentes tipos de célula y por tanto diferentes maneras de representarlas: tiene varias representaciones/imágenes.	Hay, como sabemos, diversos tipos de célula, pero como más representativa escogeré...: varias representaciones/imágenes	

- P. 4: imagen dinámica de una célula que se mueve, junto a otras células.

- P. 5: anotación hecha en la primera lectura: varios conceptos los visualiza en relación o en función de una célula —una imagen de célula.

- P. 6: imagen integrada pero más simple: si lo acoplo todo, yo sé cómo está relacionado pero no la veo tan clara como una foto.
- P. 6B: «no es que yo, yo me imagino la célula ¿no? entonces ya yo dentro de esa célula pues sitúo todos los orgánulos y sé más o menos cómo están relacionados entre ellos pero no lo hago así tan... no está tan compacto». Modelo más simplificado —se reafirma—, y también, interpretación estructura/función porque sabe «cómo están relacionados entre ellos»; establece relaciones.
- P. 8A: importante: modelo estable estructura/funcionamiento.
- P. 9A: «...más complejo».

TABLA 2. DATOS RELATIVOS A DISCURSO EN CONTEXTO FORMAL

CRITERIOS	SÍMIL	EX. OV	EX. GLÚC	EX. LÍP	EX. PROT	EX. AN
<i>Conceptos</i>	Vida, orgánulos, célula, membrana, núcleo, informaciones genéticas, mitocondria, reacciones, metabolismo, catabolismo, glúcidos, energía, retículo, transporte, proteínas, vacuola, digestión, lisosomas.	Célula, reacciones, enzima, ser vivo, transmisión, gen, energía, fotosíntesis, organismos, heterótrofos, aerobios, agua, sales minerales, eucariota, procariota, orgánulos, vida, respiración celular, vegetales, animales, núcleo, ósmosis, funciones vitales, orden, organización, principios inmediatos, medio, plasmólisis, materia, turgencia.	Principios inmediatos, lípidos, proteínas, glúcidos, reacciones, seres vivos, anabolismo, energía, destrucción, catabolismo, síntesis, cloroplasto, fotosíntesis, células, vegetales, fermentación, anaerobio, fotorrespiración, respiración celular, animal, autótrofos, heterótrofos, glucólisis, hialoplasma, enzimas, ATP, organismos, ciclo de Calvin, neoglucogénesis, función vital, monosacáridos, grana, medio, membrana, reserva.	Célula, seres vivos, vida, organismo, materia, membrana, lípidos, proteínas, núcleo, nucleolo, citoplasma, orgánulos, energía, cloroplastos, fotosíntesis, citosol, matriz mitocondrial, ciclo de Krebs, catabolismo, glúcidos, ATP, dictiosomas, vesículas, lisosomas, retículo endoplasmático, vegetal, secreción, permeabilidad, agua, mitocondrias, aparato de Golgi, β-oxidación, fluidez, autossellado, endocitosis, enzimas, ácidos grasos, glucosidación, medio, turgencia.	Proteínas, lípidos, membranas, orgánulos, huso acromático, citoesqueleto, transporte, organismo, enzimas, metabolismo, especificidad, reacciones, energía, aminoácidos, glúcidos, biocatalizadores, célula, cadena respiratoria, información, ADN, ribosomas, ARN, autoduplicación, transcripción, traducción, activación, cromosomas, respiración celular, síntesis proteica, citoplasma, anticodón, codón, ARN transferente, ARN mensajero, agua, respuesta inmunitaria, antígeno, epítomos, anticuerpos, linfocitos, vida, respuesta celular, respuesta humoral, inmunidad, combustión, ATP, inhibidor, desnaturalización, reproducción, membrana nuclear, digestión.	Proteínas, lípidos, membranas, orgánulos, huso acromático, citoesqueleto, transporte, organismo, enzimas, metabolismo, especificidad, reacciones, energía, aminoácidos, glúcidos, biocatalizadores, célula, cadena respiratoria, información, ADN, ribosomas, ARN, autoduplicación, transcripción, traducción, activación, cromosomas, respiración celular, síntesis proteica, citoplasma, anticodón, codón, ARN transferente, ARN mensajero, agua, respuesta inmunitaria, antígeno, epítomos, anticuerpos, linfocitos, vida, respuesta celular, respuesta humoral, inmunidad, combustión, ATP, inhibidor, desnaturalización, reproducción, membrana nuclear.
<i>Frasas</i> (de libro o elaboración personal)	Elaboración personal	Elaboración personal	Elaboración personal	Elaboración personal (Ej: célula)	Elaboración personal	Elaboración personal
<i>Calidad del discurso</i> <i>de los párrafos</i> (simple y pobre o coherente y con aplicación)	Coherente y con aplicación	Coherente y con aplicación (Ej: célula)	Coherente y con aplicación	Coherente y con aplicación	Coherente y con aplicación	Coherente y con aplicación

<i>Uso de la información</i> (repetición mecánica u organización autónoma)	Organización autónoma	Organización autónoma (Ej: célula)	Organización autónoma	Organización autónoma (Ej: preg. 3)	Organización autónoma	Organización autónoma
<i>Plasmar imágenes en diseños</i> (no uso/uso)	Uso (se apoya en el dibujo)	No uso	No uso	No uso	No uso	No uso
<i>Inferencias y deducciones; interpretación</i> (establecimiento/no; pobre/elaborada)	Elaboradas	Elaboradas (Ej: preg. 5: anticipa comportamiento)	Elaboradas (Ej: preg. 5)	Elaboradas (Ej: preg. 4)	Elaboradas (Ej: preg. 6 ¡es otra!)	Elaboradas
<i>Analogías</i> (extrabiológica, biológica –nivel–, repetición de clase/autónoma)	No cabe (sin embargo: para mí es el dibujo más adecuado y representativo de todos)	No se detectan	No se detectan	Célula: maquinaria de un reloj suizo. Extrabiol/ autónoma.	No se detectan	No se detectan

TABLA 3. DATOS OBTENIDOS DE LOS MAPAS CONCEPTUALES

CRITERIOS	1. MAPA CONCEPTUAL	2. MAPA CONCEPTUAL	3. MAPA CONCEPTUAL
<i>Conceptos</i>	Célula, vida, animales, vegetales, núcleo, membrana, citoplasma, metabolismo, ATP, eucariota, procarionta, ADN, orgánulos, anabolismo, catabolismo, aparato de Golgi, centrosomas, ribosomas, retículo endoplasmático, vacuola, mitocondria, plastos, glúcidos, fotosíntesis, glucólisis, ciclo de Krebs, fotoquímica, biosintética, cadena respiratoria.	Membrana plasmática, aparato de Golgi, ribosomas, retículo endoplasmático, mitocondria, núcleo, hialoplasma, materia, célula, energía, catabolismo, anabolismo, proteínas, glúcidos, lípidos.	Mitosis, meiosis, nutrición, relación, reproducción, materia, energía, agua, sales minerales, glúcidos, lípidos, proteínas, ácidos nucleicos, anabolismo, catabolismo, metabolismo, célula, ADN, ARN, membrana, núcleo, citoplasma, herencia, lisosomas, cloroplastos, ribosomas, retículo endoplasmático, aparato de Golgi, mitocondria.
<i>Selección</i> (arbitraria o adecuada y consistente)	Adecuada y consistente	Adecuada y consistente	Adecuada y consistente
<i>Relaciones</i> (simples o explicativas)	Explicativas	Explicativas (¡ojo! Algunos errores)	Explicativas
<i>Proposiciones</i> (nada significativas, poco o significativas)	Significativas	Significativas (excepto: materia –mediante– anabolismo)	Significativas
<i>Jerarquización</i> (ausente, de libro, débil, coherente)	Coherente	Coherente	Coherente
<i>Analogías y referencias a imágenes</i> (uso o no de los mismos en los nexos)	No uso	No uso	No uso
	Sítúa al mismo nivel estructuras generales y metabolismo: integración estructura/función y una idea clara ¡eso parece! de que función es reacciones químicas-metabolismo.		

TABLA 4. DATOS OBTENIDOS ANTE REQUERIMIENTOS GRÁFICOS O ICÓNICOS

CRITERIOS	CUESTIONARIO INICIAL	CUESTIONARIO FINAL	DIBUJO
<i>Conceptos</i>	– No hace 1º dibujo. – No hace 2º dibujo. Dos analogías. Membrana celular, vacuola, retículo endoplasmático, nucleolo, núcleo, aparato de Golgi, mitocondria, plasma, membrana nuclear.	Membrana nuclear, nucleolo, núcleo, cromatina, aparato de Golgi, vegetales, orgánulos, cloroplastos, vacuola, ribosomas, retículo endoplasmático rugoso, mitocondria, información, transmisión caracteres, CO ₂ , proteínas, información genética, anticuerpo, antígeno, lípidos, célula, glucólisis, β-oxidación, enzimas, ATP, respiración celular, membrana celular.	Membrana, invaginación, ATP, retículo endoplasmático rugoso, ribosoma, transporte, proteína, aparato de Golgi, lisosomas, digestión, sales minerales, antígenos, vacuola, almacén, fotosíntesis, H ₂ O, luz, enzimas, síntesis proteica, ADN, transcripción, ARN, anticuerpos.
<i>Diseño</i> (de libro o elaboración personal)	De libro	De libro (¡los tres se parecen mucho!)	Elaboración personal
<i>Estructuras</i> (identificación, identificación y comentarios de funciones con uso de palabras y frases, identificación y comentarios de funciones con uso de palabras y frases y notaciones no verbales, identificación y funciones con uso de notaciones no verbales)	Identificación (y muy pobre!)	Identificación (en el 1º y en el 3º dibujos) Identificación y comentarios de funciones con uso de palabras y frases	Identificación y comentario de funciones con uso de palabras y frases y notaciones no verbales (algunas flechas)
<i>Complejidad</i> (simples-estáticos, complejos-dinámicos)	Simple-estático	Simple-estático	Complejo dinámico (por interacción y orden o secuencia: antígeno/anticuerpo, síntesis de proteínas, por ejemplo)

dibujo normalmente correspondería al de una célula animal. Esto no quiere decir que por ejemplo no conozcamos la existencia de una célula vegetal o de células que carecen de núcleo (procariótica) sino que la imagen que desde siempre se nos ha presentado como prototipo de célula es una célula animal.

La podríamos dibujar con todos sus componentes bien definidos: una membrana que la aísla del medio, el núcleo separado también con una membrana, y los orgánulos (vacuolas, mitocondrias...) presentes en el citoplasma.

Pero a pesar de lo expuesto, hemos de concluir que esta alumna no piensa sólo en la estructura celular cuando responde a este cuestionario, no ejecuta solamente este aspecto, sino que en su mente esa «cosa» actúa de una determinada manera para la que ella tiene no un símil sino dos; Genoveva es capaz de modelar un cierto comportamiento que es equiparable a cosas que son dinámicas y que ella conoce, cosas que se comportan de manera muy sincronizada. El simple establecimiento de la analogía supone, como símil, la correlación de elementos entre «su» célula y aquello que a ella se le parece con la misma, lo que viene a significar que ésa «su» célula no es solamente una estructura. Veamos esas analogías y en respuesta a qué las plantea.

¿Y si tuviéramos que dibujar cómo funciona (una célula)?

Tendríamos que idealizar sus componentes, asemejarlos a un sistema o mecanismo; donde todo lo que lo compone está relacionado. Aunque no sería un ejemplo

muy correcto, podríamos compararlo quizás con la maquinaria de un reloj o quizás con una comunidad de hormigas, donde cada componente realizara su función. Sería muy difícil dibujarlo tal y como es.

Y cuando tiene que deducir, de esos símiles extrae inferencias y razonamientos que explica convenientemente en términos biológicos; sus analogías son útiles para aprehender la esencia de ese mundo real —célula— del que nos comunica su concepción; ello se deriva de su forma de contestar a la siguiente cuestión:

¿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?

Una célula para serlo necesita poseer vida principalmente. Necesita poseer una serie de capacidades como podrían ser la de duplicarse (tiene que ser capaz de guardar y transmitir la información genética), de nutrirse, para su propia subsistencia. Debe ser capaz de transformar la energía, de obtener materia orgánica propia. Para realizar todas estas funciones necesita todos y cada uno de los orgánulos que posee, donde cada cual realiza una tarea determinada.

Su modelo es útil y estable; atiende a la estructura, como muestra su selección conceptual, y a su funcionamiento, como se desprende de sus analogías y de su forma de expresarlo en términos científicos. Esa utilidad y esa estabilidad se ponen de manifiesto cuando lo ejecuta desde la misma perspectiva y de semejante manera al responder a cómo cree que es ese funcionamiento celular.

A través de la sangre, a la célula llegan los nutrientes (obtenidos tras la digestión y absorción) junto al oxígeno procedente de la respiración. La función de la célula es obtener energía y materia orgánica propia a partir de ellos. Cada uno de sus componentes debe cumplir su tarea correspondiente para que todos juntos sean capaces de hacer que la célula siga viviendo. La función de relación y reproducción de un organismo, dependen de la nutrición de sus células.

Los ácidos nucleicos y proteínas desempeñan pienso que el papel principal en el funcionamiento de una célula. Gracias a ellos la información genética puede transmitirse.

¿Cómo explica Genoveva lo que es una célula cuando se le pregunta en el examen de Origen de la Vida (18-11-96)? Su respuesta es como sigue:

Después del nivel químico, la materia viva sobrepasa el umbral de lo inerte para constituirse en pequeñas unidades elementales, dotadas de vida denominadas células. Todo ser vivo está formado por células; todas las reacciones metabólicas tienen lugar en ellas, contiene medios de transmisión genética. Distinguimos entre vegetales y animales, dentro de las eucariotas (con núcleo) también estarían las procariotas, de menor simplicidad, por ejemplo, las bacterias.

Lo anterior es un ejemplo de organización autónoma de la información en la medida en que no responde a los modos habituales de explicar este concepto ni tampoco a lo que se ha trabajado en clase; también nos sirve como ejemplo de un discurso coherente en el que se aplican los conceptos trabajados. Nótese que Genoveva

destaca en su contestación funcionamiento y no estructuras, lo que es más frecuente, y obsérvese también que, de hecho, esta alumna recurre de manera muy limitada a conceptos organulares en todo el ejercicio, destacando precisamente conceptos comportamentales de diversa naturaleza, incluso metabólica. Podría desprenderse de lo que ha hecho esta joven en este examen que ha puesto en su mente una célula que hace cosas, «reacciones metabólicas», que tiene la capacidad de transmitir información, capacidades es lo que ya concibió Genoveva en su célula desde un principio y eso es lo que la ha dotado de poder explicativo y de poder predictivo, como muestra el hecho de que puede anticipar comportamientos de esa materia viva cuando ejecuta su modelo, pues le permite explicar lo que «llegaría» a ocurrir, lo que «debe ser»; veamos un ejemplo en su forma de resolver la siguiente situación:

- Las medusas son animales marinos que tienen forma de sombrerillo o paraguas. En estado vivo son turgentes; cuando mueren se deshinchán y arrugan.
 - ¿Qué explicación puedes darle a este hecho? Utiliza el mayor número de argumentos posible.
 - Emite una hipótesis relativa a esta cuestión y plantea, al menos, dos actividades que te permitan contrastarla.

Las medusas viven en un medio hipotónico ya que su concentración salina debe ser muy superior a la del agua, por ello tienden a absorv(b)er gran cantidad de agua, manteniéndose en estado de turgencia. Cuando estos organismos mueren, se deshinchán, esto debe ser porque ya su organismo no crea ni posee ningún tipo de sales, entonces, toda el agua que poseen en su interior tiende a salir al exterior para llegar a un equilibrio osmótico.

Las medusas deben ser organismos que poseen gran cantidad de sales minerales, superior a otros animales marino(s), a esto se debe su estado de turgencia. Podría tomarse el ejemplo de poner un pez en agua dulce, entonces el pez se hincharía como la medusa, pero éste creo que llegaría a explotar, debido a que su organismo no está adaptado a este tipo de condiciones en su medio de vida. Quizás otro posible ejemplo es colocar un glóbulo rojo dentro de un medio acuoso con bajo contenido en sales, el glóbulo rojo tendería a absorv(b)er agua y se hincharía (ya que poseería mayor concentración salina dentro de sí mismo).

Genoveva puede anticipar porque está captando una serie de elementos que tienen un conjunto de propiedades y características que son las que determinan sus funciones en esa materia viva. Ante la siguiente pregunta:

- Estamos constituidos fundamentalmente por agua, que apenas cuesta; el carbono se valora en forma de carbón; el calcio de nuestros huesos en forma de yeso; el nitrógeno de nuestras proteínas en forma de aire (también barato) o el hierro de nuestra sangre en forma de clavos herrumbrosos. El cuerpo humano cuesta veinte duros, mil pesetas o una cifra parecida (...).
- (...). Harold Morowitz ha calculado lo que costaría reunir los constituyentes moleculares correctos que componen un ser humano, comprando las molé-

culas en casas de suministros químicos. La respuesta resulta ser de mil trescientos millones de pesetas aproximadamente. ¡Eso ya es otra cosa! Pero ni aún así podríamos mezclar esas sustancias químicas y ver salir del bote a un ser humano». (Rodríguez Gómez, Gil Flores y García Jiménez, 1996.)

- ¿Ves alguna relación entre este texto y las diferentes teorías sobre el origen de la vida? Razona tu respuesta argumentando cuál es tu posición relativa a este tema.
- ¿Podemos relacionar este texto con otras teorías científicas para justificar la composición de la materia viva?

Esta alumna termina su explicación como sigue:

Todos los elementos que forman la materia viva tienen funciones importantes, bien en la fisiología celular o bien a nivel de todo el organismo. Toda esta mezcla de elementos sería imposible sin sus propiedades y capacidades de enlace y reacción.

Lo que da fe de ese modo de operar con los tres conjuntos señalados para generar su modelo mental de célula. En el examen de Glúcidos (9-12-96) Genoveva muestra las mismas características en su discurso que en los registros anteriores; recurre nuevamente a conceptos tanto estructurales como comportamentales que, en esta ocasión, aumentan sustancialmente en el ámbito metabólico. En términos generales podríamos admitir que está trabajando con un modelo global, integrado, que da cuenta tanto de su aspecto físico como del funcional, aunque debe señalarse que en esta ocasión su capacidad explicativa es un tanto más limitada, manifestando una comprensión parcial de aquello que aborda y comunica; esta limitación es comprensible si atendemos al hecho de que la proliferación de esos conceptos metabólicos supone un alto grado de abstracción que es nuevo para el alumnado en este tema, al menos en lo que se refiere a la profundidad con la que es tratado y, como es lógico, representa una serie de indeterminaciones que requieren un tiempo en su procesamiento y comprensión y, en consecuencia, en el asentamiento y la asimilación por parte del modelo mental construido hasta que se lleve a cabo su revisión en el seno del mismo. Este proceso mental limita las posibilidades explicativas de Genoveva, como vemos en el ejemplo:

Razona las respuestas:

- ¿Por qué un microorganismo anaerobio facultativo no utiliza las vías fermentativas mientras hay oxígeno en el medio?
 - ¿Se puede afirmar que las células animales respiran pero que las células vegetales no respiran y, en su lugar, llevan a cabo la fotosíntesis?
 - ¿Se puede hablar de catabolismo autótrofo y heterótrofo?
 - ¿Podría una célula funcionar como tal o serlo sin la presencia de los glúcidos?
- a) Porque las fermentaciones son procedimientos realizados en un medio anaerobio, carente de oxígeno, utilizados para obtener energía a

partir de compuestos como por ejemplo la lactosa (azúcar de la leche).

- b) No puede afirmarse esto, ya que hay un problema en algunas plantas, en las que la concentración de O_2 es mayor que la de CO_2 ; entonces se realiza el proceso de fotorrespiración, que elimina como desecho CO_2 , al igual que la respiración celular animal.
- c) No, ya que el catabolismo de los compuestos, se realiza de igual modo en organismos autótrofos que heterótrofos. Simplemente consiste en degradar compuestos para obtener energía de sus enlaces.
- d) No, pienso yo, ya que los glúcidos suponen un gran contenido energético. Son una gran fuente de energía de reserva, que las células necesitan para llevar a cabo todas sus funciones.

Su capacidad deductiva no es acorde con estas limitaciones en el terreno explicativo, observándose que esta estudiante rota un modelo que es complejo y que le permite razonar válidamente, como se ve en su respuesta a la siguiente cuestión.

– 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?
- Emite una hipótesis relativa a este fenómeno y plantea, al menos, dos actividades para comprobarla.

Las mujeres, cuando están ovulando, gastan una mayor cantidad de reservas de glúcidos, ya que es requerida por el proceso de ovulación; entonces sienten la necesidad de ingerir, para sufragar este gasto energético.

Cuando se ovula, se gasta una mayor cantidad de energía, que se extrae de las reservas de glucosa del organismo. Se podría comprobar analizando el nivel de glucosa en la sangre, cuando se ovula; que sería menor que cuando no lo hace. Otra forma de comprobar, es no ingerir dulces aunque tengamos la necesidad, se irán gastando (agotando las reservas) y nuestro peso podría disminuir.

¿Qué se puede deducir de la célula que representa Genoveva al hacer su primer mapa conceptual (8-1-97)? (figura 1). Se advierte que tiene dos partes delimitadas: una estructural y otra metabólica, pero su desarrollo no parece evidenciar que haya trabajado independientemente con ambas vertientes; más bien al contrario, se muestran indicios claros de que modela una célula en acción en su cabeza, como se desprende de la selección conceptual que lleva a cabo, de lo explicativo de las relaciones que establece, del significado que le asigna a las proposiciones que construye y de la forma en la que jerarquiza los conceptos escogidos, así como del producto, en su conjunto, que nos entrega. Genoveva sitúa al mismo nivel estructuras y metabolismo, lo que supone una integración estructura/función y, como ya se observó destaca el papel de las reacciones químicas en lo que es la forma de actuar característica de una célula.



Haz un mapa conceptual que exprese lo que sabes sobre la estructura y el funcionamiento de la célula.

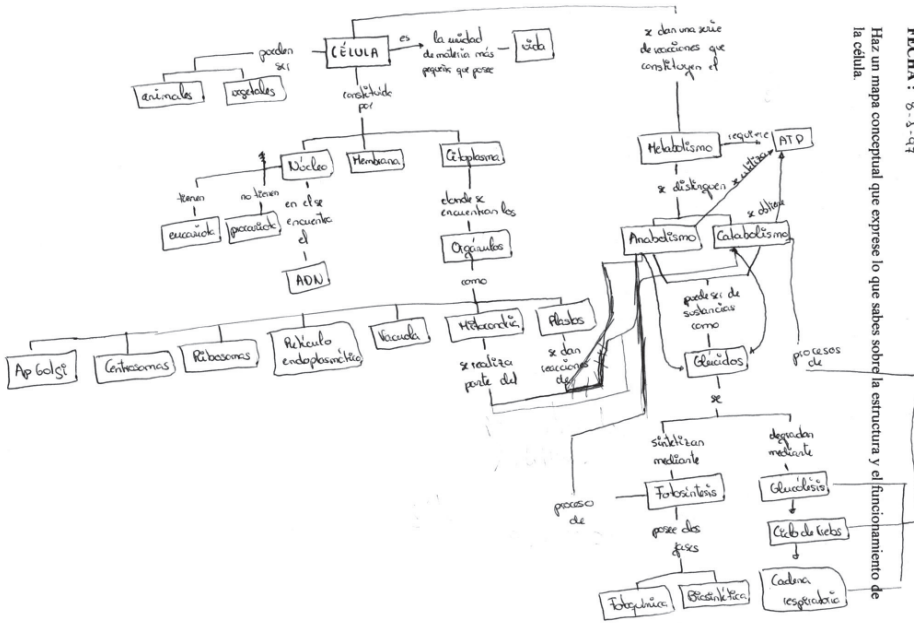


Figura 1. Primer mapa conceptual elaborado por Genova.

Genoveva ha captado la esencia de la complejidad celular, ha concebido una célula como unidad de los seres vivos en extremo compleja y lo ha hecho de ese modo porque ha percibido que hay una serie de componentes cuyas propiedades y características así lo determinan; ha construido un modelo mental complejo de célula, un mundo que también es complejo y lo ha hecho para mediar como herramienta en la comprensión de esa entidad, de esa compleja realidad que estudia recurriendo para ello, incluso, a analogías otra vez, símiles que ya usara en anteriores ocasiones y que le facilitan esa comprensión. Esto es lo que parece desprenderse de su forma de explicarlo en el examen de Lípidos (26-2-97).

La célula puedo definirla como la unidad anatómica y fisiológica que compone a todos y cada uno de los seres vivos. Es la porción de materia más pequeña que posee vida propia. La célula es un «organismo» o «mecanismo» muy complejo, formado por varias partes: membrana, compuesta principalmente por lípidos y proteínas (posee funciones y propiedades características y algunas derivadas de sus componentes químicos); núcleo, donde está el nucleolo que contiene los caracteres genéticos y, por último, el citoplasma, donde flotan los orgánulos citoplasmáticos, que poseen unas características determinadas, y su correspondiente función dentro de la compleja actividad celular. Cabe comparar una célula con la maquinaria de un reloj suizo, cada una de las partes tienen una función determinada, que además influye en la función de los demás componentes. En la célula tienen lugar los diferentes procesos catabólicos de los cuales nuestro organismo obtiene energía

y materia; y cómo no, también los anabólicos donde sintetizan diversas sustancias (por ejemplo, en los cloroplastos a través de la fotosíntesis). La célula y sus agrupamientos constituyen los pilares de la vida.

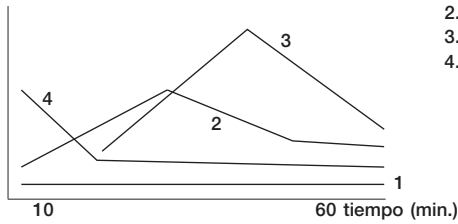
Con un modelo mental como el que ha construido Genoveva en este momento es fácil comprender que tenga capacidad explicativa y capacidad predictiva, que pueda explicar autónoma y coherentemente deduciendo y razonando en términos biológicos también de forma adecuada. Ante una foto de microscopía electrónica de una célula en este ejercicio se solicitó que se identificaran al menos tres estructuras celulares relacionadas con los lípidos, justificando por qué se identificaban y por qué se relacionaban con estos principios inmediatos. Su respuesta es:

Entre otras cosas en la foto aparecen mitocondrias, retículo endoplasmático y el aparato de Golgi. Estas tres estructuras están relacionadas con los lípidos, sin duda alguna; la primera y más fundamental razón, es porque sus membranas están formadas principalmente por proteínas y las sustancias que ahora tratamos, los lípidos; aunque estos componentes varían en cuanto en su proporción en los orgánulos (sus membranas), en el retículo endoplasmático por ejemplo hay un 30% de lípidos, mientras que en el aparato de Golgi este valor oscila alrededor del 35%; en lo que se refiere a las membranas mitocondriales, la externa posee mayor cantidad de lípidos que en la interna formando parte de esta última sólo un 20%. Los lípidos más abundantes en estas estructuras son los fosfolípidos (ubiquinona en la mitocondria). Además y también muy importante es que los lípidos son sintetizados en el retículo endoplasmático, se cree que fundamentalmente en el liso. Asimismo parte del catabolismo lipídico (b-oxidación) se desarrolla en el interior de la mitocondria, como sabemos la b-oxidación se comienza en el citosol con la activación del ácido graso, y es ya en el interior mitocondrial donde se transforman en acetil-CoA y pasan al ciclo de Krebs. En el aparato de Golgi tiene lugar la secreción de sustancias que pueden contener o no lípidos; además tiene lugar la glucosidación de éstos; se añade al ácido graso un oligosacárido formando glucolípidos. (Los lípidos confieren a las membranas de los orgánulos unas propiedades como fluidez, autosellado... etc., que hacen que tengan unas funciones determinadas).

Genoveva rescata sus conocimientos y los pone al uso, a su disposición para razonar y para deducir, revisa recursivamente ante diferentes situaciones, diferenciando y reconciliando distintos aspectos y conceptos de lo que ya ha trabajado y eso es lo que parece evidenciarse de su forma de enfrentarse a la siguiente cuestión.

- Las caseínas son las proteínas más abundantes en la leche de los mamíferos. Se pueden cultivar fragmentos de tejidos de glándulas mamarias bien durante varias horas, conservando un aspecto morfológico y un funcionamiento normales. Se sitúa este cultivo durante tres minutos en un medio que cuenta con un aminoácido radiactivo: la leucina tritiada, y después, se vuelve a colocar en un medio no radiactivo.
- Se retiran fragmentos de tejidos 3, 15, 25, 45 y 60 minutos después del comienzo del marcado; se detecta radiactividad en diferentes estructuras celulares. La gráfica 1 indica la evolución de la radiactividad detectada en estas estructuras.

Intensidad de la radiactividad



- 1.- medio.
- 2.- Aparato de Golgi.
- 3.- Luz de la glándula.
- 4.- Retículo endoplasmático rugoso.

Gráfica 1

- Estudiando los resultados de esta experiencia, reconstruye el tránsito de las moléculas radiactivas a través de las células secretoras.

Según he observado en esta gráfica, y añadiendo mis conocimientos sobre el tema argumentaré el tránsito de estas moléculas radioactivas. Como puede observarse al comienzo de la gráfica, donde más intensidad radioactiva hay es el retículo endoplasmático rugoso, de lo que saco la conclusión de que es en este orgánulo, donde tiene lugar la síntesis de estas moléculas radioactivas; por tanto es el retículo el lugar donde son sintetizadas estas moléculas. Este orgánulo está relacionado de un modo cercano con el aparato de Golgi; mediante unas vesículas de transición y una red tubular procedente del retículo y que llega al aparato de Golgi. Se observa en la gráfica mientras el tiempo sigue pasando, que posteriormente es en el aparato de Golgi donde se detecta una mayor intensidad radiactiva, por lo que es fácil deducir que las moléculas han pasado del retículo al Golgi donde serán empaquetadas, por decirlo de algún modo, formando unas vesículas denominadas vesículas de secreción, que serán secretadas por este orgánulo. A medida que pasa el tiempo puedo observar que es inmediatamente después en la luz de la glándula donde se encuentran las moléculas, ya que en ese tiempo ya las sustancias han sido secretadas mediante las vesículas por el Golgi, y que ahora ya están dispuestas en la glándula para proseguir su camino y desempeñar su función correspondiente (que lo harán formando parte de la leche u otra función); después de pasar una hora más o menos ya no se detecta la radioactividad, las moléculas han desaparecido ya con su carácter radioactivo de estas estructuras. El no detectarse una intensidad radioactiva elevada en ningún momento en el medio, apoya esta supuesta ruta de las moléculas radioactivas a través de las células secretoras.

Esta estudiante ha modelado una célula actuando, procesando un conjunto de moléculas y estructuras interactuando, ha ejecutado un modelo mental de célula que es causal. Ese mismo modelo, esa representación es lo que generó ante el siguiente examen, Proteínas (14/18-3-97). Cuando justifica el papel de los enzimas en la célula, cierto es que destaca prioritariamente la vertiente comportamental, pero da cuenta también del sustrato físico en el que ese funcionamiento descansa y se apoya.

Las enzimas juegan un papel muy importante en el funcionamiento y estructura celular; son biocatalizadores de todas las reacciones metabólicas que tienen lugar dentro de cada orgánulo de la célula. Si las enzimas no existieran creo que no podrían realizarse la mayoría de las reacciones metabólicas. Por ejemplo si no exis-

tieran enzimas que catalizaran procesos como el de la cadena respiratoria, si no tuviera esta forma de «cascada» tan característica que posee, podría tener lugar una oxidación espontánea siendo perjudicial e incluso mortal para la célula. Las enzimas son un tipo de proteínas muy específicas, como sabemos las proteínas forman parte de las estructuras de las membranas celulares. Si no existieran las enzimas las reacciones serían muy lentas e incluso llegarían a ni siquiera reproducirse, las enzimas son imprescindibles en el complejo celular.

Como vemos, su forma de expresarse se sigue definiendo por los mismos rasgos característicos que ya mostrara desde un principio y, si atendemos al uso de conceptos que hace, observamos que se va produciendo un crecimiento paulatino en el número de elementos estructurales y funcionales en los conjuntos que esta joven maneja. Su poder predictivo y su capacidad explicativa siguen siendo altos y elaborados, consistentes con el complejo modelo mental que tiene y que los soporta como sustrato. Veamos un ejemplo.

- Muchas personas tienen problemas a la hora de digerir los alimentos debido a la escasez de enzimas digestivos. La administración oral de amilasas, proteasas y lipasas suele aliviar su enfermedad. Estas enzimas deben llegar hasta el intestino delgado, donde se realiza la parte más importante de la digestión. Todos estos enzimas se presentan en las farmacias encapsulados y por tanto se ingieren de esta forma». (Ortiz de Lanzagorta y col., 1993).
- ¿Podrías explicar por qué es necesaria la protección de una cápsula? Emite una hipótesis y plantea la forma de comprobarla.

Creo que las enzimas, al ser proteínas, en determinadas condiciones, podrían sufrir una pérdida de su configuración espacial: o sea, su desnaturalización: de este modo la proteína sufre una modificación de sus estructuras, lo que conllevaría una disminución o quizás la pérdida total de su funcionalidad biológica. Por esta razón, las enzimas amilasas, proteasas y lipasas se ingieren dentro de una cápsula; así se evita la posible desnaturalización, ya que en caso contrario, si las enzimas se desnaturalizan, no tendrían funcionalidad biológica, y, por tanto, no ayudarían nada a restituir la escasez de enzimas digestivos que catalicen las reacciones de la digestión. Para comprobarlo, haría ingerir al enfermo, una serie de enzimas (iguales: lipasas, proteasa, ... etc) pero esta vez sin protección alguna, es decir, las sacaría de la cápsula. Transcurrido un tiempo, observaría resultados y me daría cuenta de que esta persona con escasez de enzimas digestivos, no ha mejorado nada, y continuaría con problemas en su digestión. Luego le administraría enzimas encapsuladas, y obtendría, según mi hipótesis, unos resultados favorables y muy efectivos para el paciente. Las enzimas ayudarían en las reacciones metabólicas de nuevo.

Nótese que razona con cierta lógica aunque no sea correcta biológicamente, es decir, su modelo le permite deducir y razonar anticipando posibles comportamientos en la medida en que ve esa materia vida en acción, aunque su corrección científica sea discutible. Genoveva no ha advertido que si una persona ingiere esas sustancias enzimáticas tan potentes sin encapsular, producirían su acción antes del momento adecuado, pero tiene en su cabeza, ¡aunque no sea correcta!, una repre-



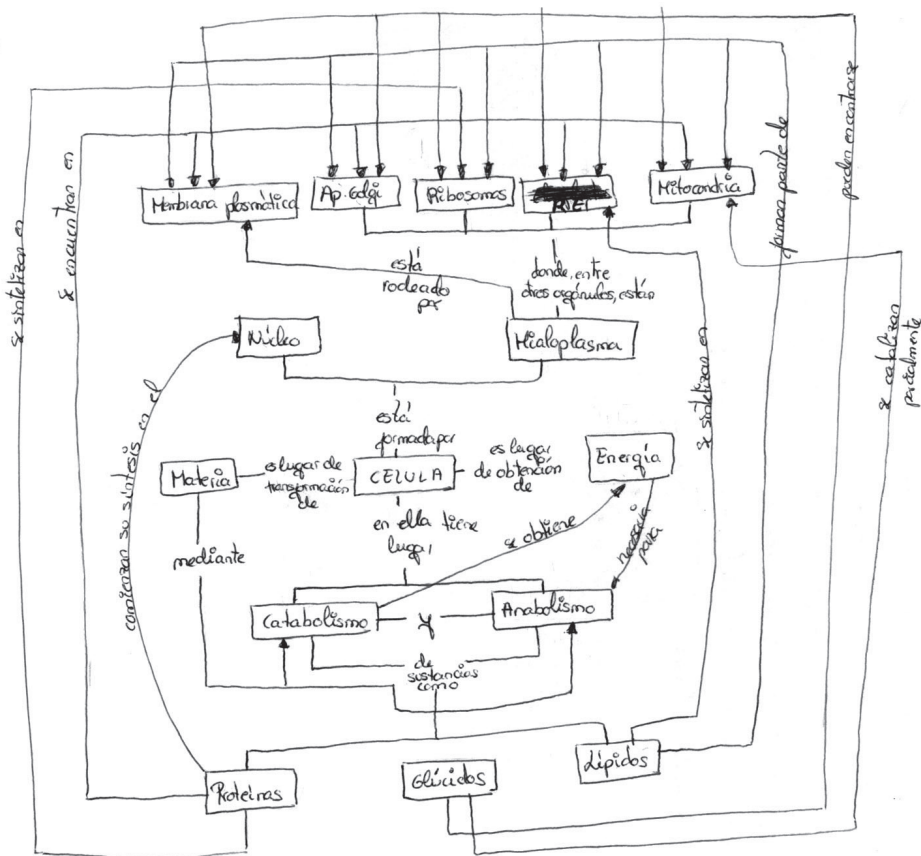


Figura 2. Segundo mapa conceptual realizado por Genoveva.

sentación que da cuenta de fenómenos que son dinámicos y que se sostienen y apoyan en estructuras biológicas concretas. Los modelos mentales, como intermedios que son en la comprensión, son funcionales, útiles para la persona que los construye y no necesariamente aceptados por la comunidad científica; lo anterior es un ejemplo de un modelo mental complejo, dinámico, causal, pero no aceptado científicamente, no coincidente con el modelo conceptual que explica dichos fenómenos. Al ejecutarlo, esta joven aplica con acierto algunos de los conceptos implicados en la situación problemática que se plantea y trabaja con ellos, pero en otros no ha captado y, por tanto, no maneja, sus atributos característicos y definitorios como conceptos biológicos.

Quando hace el segundo mapa conceptual para expresar su forma de ver la estructura y el funcionamiento, su conocimiento acerca de la célula, (2-4-97) (figura 2) también Genoveva piensa en un modelo único, global, causal, como acabamos



de comentar, de esta entidad. En esta ocasión se limitó el número de conceptos a quince solamente y con ellos había que dar cuenta de la estructura y del funcionamiento celular. Al hacerlo, esta alumna piensa en moléculas, en dónde están y en qué es lo que hacen, es decir, otra vez nos encontramos ante un conjunto de elementos, otro de propiedades y características y otro de interacciones y relaciones entre los mismos. Es un mapa muy compacto y simétrico en el que la selección conceptual es adecuada y consistente, uniendo los conceptos elegidos con nexos explicativos, dando como resultado proposiciones significativas desde el punto de vista biológico, proposiciones que se consideran el reflejo o correlato del significado que ella les atribuye en su modelo y, de hecho, se plasma algún que otro error. Se muestran como dato tanto el mapa conceptual en sí como la explicación que se añade del mismo. Obsérvese cómo hay un eje básico fundamental y a un lado figuran procesos y moléculas que los llevan a cabo, mientras que al otro sitúa las estructuras, estableciendo «a posteriori» localización y procesos a través de nexos.

Para empezar, es algo difícil concentrar mi conocimiento sobre el tema en tan solo quince conceptos pero espero haberlo hecho más o menos bien (al menos lo intento). La jerarquización es de adentro hacia fuera en los cuatro sentidos del cuadrilátero. He colocado célula en el centro ya que es el concepto más importante y del cual estamos tratando. La célula, unidad vital y funcional de todo ser vivo, se compone de un núcleo y el hialoplasma (rodeados por membranas); en el hialoplasma flotan diferentes orgánulos, entre los que cabe citar: Mitocondria, Aparato de Golgi, Ribosomas, cloroplastos, Retículo Endoplasmático, etc. El hialoplasma se aísla del exterior mediante la membrana plasmática. En la célula se realizan reacciones de anabolismo y catabolismo de principios orgánicos como glúcidos, lípidos y proteínas que se sintetizan y pueden encontrarse en los diferentes orgánulos. La célula es el lugar de obtención de energía (en forma de ATP) que puede obtenerse en reacciones catabólicas y es necesaria en reacciones anabólicas. La célula también sirve como lugar de transformación de materia mediante el metabolismo de sustancias.

En el examen de Ácidos Nucleicos (12-5-97) Genoveva da cuenta del papel de los ácidos nucleicos en la estructura y en el funcionamiento celular del siguiente modo:

La estructura de la célula depende junto a su funcionamiento de los ácidos nucleicos; ya que éstos poseen la información genética necesaria para que la célula pueda desarrollar sus procesos vitales, y además poseen los medios de transmisión de esta información. El ADN contiene la información genética que regulará las características de las células hijas, de la información depende el genotipo y el fenotipo de los descendientes. Este mensaje genético se transcribe al idioma de las fibras del ARN, para que se traduzca en los ribosomas y se sinteticen de este modo las proteínas diferentes. La célula, pues, depende de la información genética situada en la cromatina de su nucleolo que pasará al citoplasma y se traducirá ya a proteínas.

Lo anterior es un ejemplo magistral de una célula en acción en la cabeza de esta alumna; es una espléndida síntesis que evidencia una altísima comprensión de la complejidad celular. Esa concisión es la consecuencia de un modelo global,

causal, según el cual las características —el fenotipo—, ¡o sea, estructuras!, dependen de las moléculas que se sintetizan que, a su vez, guardan una íntima relación con la información que se contenga en moléculas, también. Su respuesta muestra, además, su capacidad de diferenciar informaciones trabajadas en diferentes momentos del curso y reconciliarlas para dar cuenta de lo que se le pide, su poder de revisar recursivamente el conocimiento del que dispone manifestando con ello haber adquirido comprensión acerca de la entidad que representa. Con un modelo así, es capaz de interpretar un dibujo constituido por una serie de viñetas que pretenden plasmar lo que una célula es y de deducir partiendo de los símiles que dicho dibujo incorpora, utilizando nuevamente la información que tiene y reflejando del mismo modo que en los registros anteriores, autonomía, elaboración personal, organización autónoma, coherencia... (12-5-97). Su producto en esta ocasión es el siguiente:

Es una forma de representar mediante acciones de la vida cotidiana cada una de las funciones de diferentes orgánulos celulares: me parece muy ingenioso y facilita a alguien que no tenga mucho conocimiento acerca de los mecanismos del funcionamiento celular. Las imágenes se adecuan a la función de la parte de la célula; la membrana controla el paso de las sustancias como se observa también en el dibujo, en el núcleo por ejemplo se contempla la actitud reguladora de todo, se analizan quizás las informaciones genéticas de toda la célula en general y sus diferentes funciones, mandando órdenes en caso de algún problema en el funcionamiento celular. La mitocondria queda representada por una fábrica (para mí es el dibujo más adecuado y representativo de todos) que refleja la función de este orgánulo, en él tienen lugar diferentes reacciones del metabolismo de algunas sustancias, como por ejemplo el catabolismo de los glúcidos del cual obtenemos energía. En el retículo se refleja una de sus funciones como es el transporte de posibles proteínas, en la vacuola se localizan las sustancias que se van almacenando en la célula, en la vacuola digestiva están concentradas sustancias que provienen de la digestión celular que creo que estaba relacionada con los lisosomas.

Y el dibujo que se le pide para dar cuenta de lo mismo, o sea, para plasmar gráficamente su forma de entender la estructura y el funcionamiento celular (16-5-97) (figura 3) manifiesta características similares; es personal y elaborado, observándose «a priori» una apariencia libresca pero incorporando una serie de frases y, sobre todo, flechas que muestran relaciones de continuidad temporal y espacial en los procesos que la célula lleva a cabo. Podría decirse que, al igual que en la interpretación del símil, se apoyó en imágenes y las usó en sus explicaciones y en su forma de pensar, que al hacer este diseño representó en su mente una célula actuando que, aunque no con profusión en lo que a uso de conceptos se refiere, «ve», visualiza, es decir, que esta vez se ha apoyado en imágenes de las que dispone en su mente para dar cuenta de la demanda planteada.

Veamos qué nos aporta su tercer mapa conceptual con respecto a su forma de pensar en la célula (19-5-97) (figura 4). Nuevamente se solicitó para expresar el conocimiento disponible sobre la estructura y el funcionamiento celular pero sin limitar el número de conceptos seleccionados. Su elección es adecuada y consis-

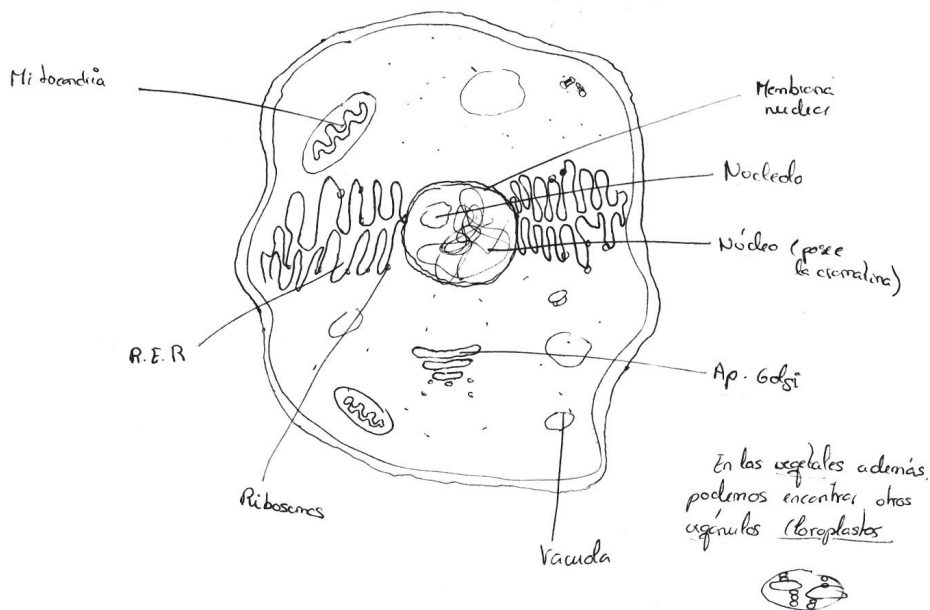


Figura 5. Dibujo sobre célula realizado en el cuestionario final.

Es un «poquito» difícil plasmar en un dibujo todos los procesos que se llevan a cabo en una célula, pero se intentará. Tomo como ejemplo de nuevo una célula eucariota animal.

¿Podría decirse que ha captado la complejidad celular? Parece ser que sí; ¿podría decirse que piensa con imágenes, que «ve» esa complejidad? Esta vez el gráfico no es tan simple como el anterior, pues muestra relaciones de continuidad, si bien hemos de aceptar que el diseño es bastante libresco. Cabe, ante lo anterior, la duda razonable al respecto, aunque parece probado que al hacer este cuestionario, Genoveva usara mentalmente imágenes al elaborar sus respuestas. Y otra vez nos encontramos con algo que se repite en esta alumna: partes determinadas que tienen una serie de características concretas que permiten realizar las reacciones metabólicas y, por tanto, actuar como unidades vivas. Eso es lo que se desprende de la respuesta que vemos 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?

A una célula le hacen falta muchas cosas para serlo. Necesita poder llevar a cabo las funciones vitales básicas, para poder subsistir y procrearse. Necesita poseer unas partes determinadas con características químicas y estructurales distintas que les permitan realizar todas las reacciones del metabolismo.

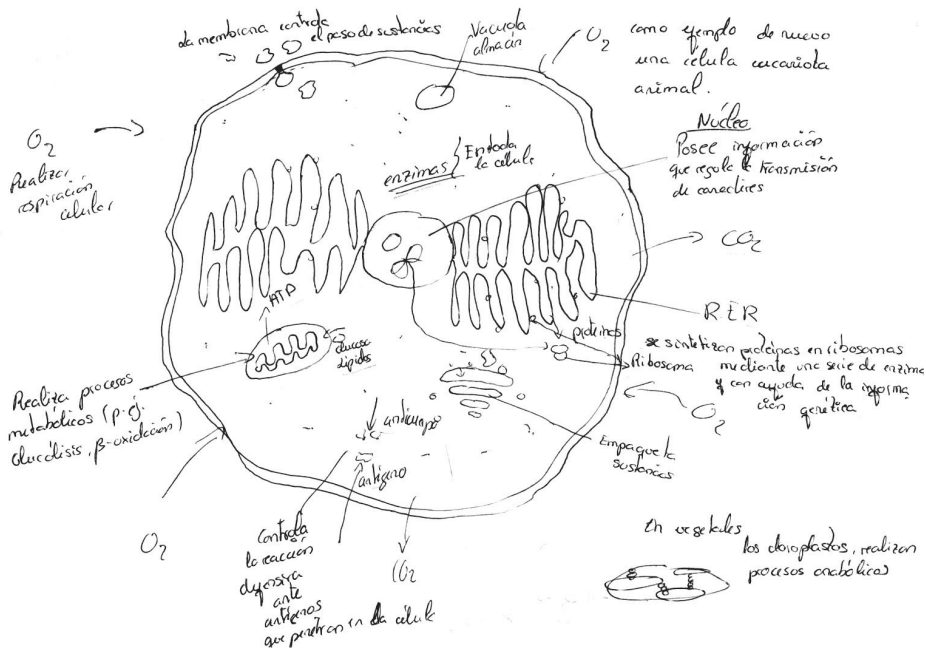


Figura 6. Dibujo relativo al funcionamiento celular realizado por Genova en el cuestionario final.

La entrevista final que se le hace a Genova (12-6-97) es otro ejemplo de las características de su discurso: elaboración personal en sus frases, coherencia y alto grado de aplicación de ¡abundantes! conceptos, organización autónoma de la información, deducciones e inferencias elaboradas. Todo ello nos lleva a deducir que ejecutó un modelo causal, global, único, un modelo mental de célula que integra su estructura y su comportamiento, un modelo que, si atendemos a la cantidad de elementos y procesos que visualiza en términos biológicos, trabaja con imágenes en las que se apoya en sus explicaciones. Tiene un análogo en su cabeza pero más simple que la entidad real que el mismo representa, un análogo dinámico, constituido por una serie de elementos que se relacionan.

ML: ¡ya! a ver, ¿esta imagen se parece a tu imagen de la célula?

Genoveva: ..., ...no.

ML: no; ¡ah! tu imagen de la célula es distinta a esto.

Genoveva: ¡tch! hombre, ésta está más..., la mía es más sencilla.

ML: ésta la ves más sencilla.

Genoveva: no, no, la que yo tengo.

ML: ¡ah! la tuya, la mía.

Genoveva: ésta la veo máaaas.

ML: ¡ya! ¡ya! la tuya es más sencilla. Dime qué diferencias hay.

Genoveva: hombre, yo veo los orgánulos yyy ¿sabes? pero no lo veo asíi... todooo, todo junto, no sé.

ML: todo junto.

Genoveva: ¿sabes? lo veo pero aquí es queee... no sé, la mía más sencilla, típicaaa ¿sabes? yo distingo los orgánulos y tal pero no, ...no me viene tan, tan detallada como ésa.

ML: no viene tan detallada; quieres decir que esto está muy mezclado, muy metido todo junto.

Genoveva: no, así es como es la célula ¿sabes? pero.

ML: ¡ah! así es como es la célula.

Genoveva: al [...] pues, ¿sabes? si lo acoplo todo, yo sé cómo está relacionado pero no la veo tan clara como una foto.

ML: ¡aja! ¿la ves, tus elementos son más dispersos?

Genoveva: ¡mj!

ML: ¿eso es lo que quieres decir?

Genoveva: sí que no hay tantaaa...

ML: es que como haces con las manos así, no hay tantas cosas.

Genoveva: no, es que yo , yo me imagino la célula ¿no? entonces ya yo dentro de esa célula pues sitúo todos los orgánulos y sé más o menos cómo están relacionados entre ellos pero no lo hago así tan ... no está tan compacto.

Es un modelo causal que le permite deducir incluso el estado fisiológico de una célula ante la observación de una fotografía de microscopía electrónica.

ML: que parecen ribosomas. ¿Qué más podrías ii, identificar, deducir?

Genoveva: ... que está en interfase, no, no veo que se esté dividiendo la célula.

ML: ¡mj!

Genoveva: porque está el núcleo bien definido.

Y su modelo es único, es el mismo, ejecuta exactamente la misma representación para atender a la estructura o al funcionamiento celular.

ML: supónete que tienes que dar una conferencia.

Genoveva: ¿sobre la estructura de la célula?

ML: sobre la estructura; ¿cómo organizas la información?

Genoveva: bueno pues... diciendo que la célula está dividida en citoplasma y núcleo, está rodeada por la membrana, los, empiezo a hablar de lo que está dentro del citoplasma, de los diferentes orgánulos, cómo es cómo es su estructura, más o menos lo que pasa, ...cómo se relaciona la estructura con la función que tiene ese orgánulo y luego ya el núcleo y ...explicaría lo que hay dentro, el ADN y todo eso.

ML: ¡mj! ¿qué has usado para organizar la información de esa manera: imágenes, texto?

Genoveva: todo lo que sé.

ML: todo lo que sabes.

Genoveva: todo mezclado.

ML: todo mezclado, tanto imágenes como texto.

Genoveva: sí.

ML: porque es curioso, yo te decía: para que hicieras una conferencia sobre la estructura y me has dicho: diría lo que ocurre en cada orgánulo... y eso afecta más a funcionamiento ¿no?... Ahora te digo: tienes que dar una conferencia larga, una exposición sobre el funcionamiento de una célula, ¿cómo organizas la información?

Genoveva: ...del mismo modo, yo... no podría ¿sabes? yo siempre intentaría relacionar la estructura con el funcionamiento, no plasmar sólo... decir pues la mitocondria pasa esto y esto; se supone que pasan esas reacciones porque la mitocondria está... preparada para que pasen, entonces me ayudaría de dibujos...

Un modelo el suyo que ha evolucionado a lo largo del curso, que se ha enriquecido en lo que a elementos de sus conjuntos se refiere, que ha incorporado nueva información a aquél con el que empezó, del que tenía una vaga imagen, y al que le ha introducido complejidad; Genoveva ha percibido y/o concebido la complejidad celular en su modelo haciéndolo progresivamente más complejo como intermediario para conseguirlo y en ese camino fue incorporando para ello también el uso de imágenes en su cabeza.

Genoveva: pues al principio de curso ¡bufh! no sé, tendría una vaga imagen de lo que era la célula y luego ya... pues voy incorporando las cosas que [...]

ML: ¿las cosas qué?

Genoveva: que voy aprendiendo nuevas.

ML: ¡mj!

Genoveva: pues las voy introduciendo en el modelo que tenía y cada vez se va haciendo más complejo.

Genoveva comenzó el curso operando con una célula-estructura básicamente, representación en la que había también una cierta célula-funcionamiento, pero ese modelo evolucionó rápidamente a un modelo causal, global, único de la célula que actuaba y daba cuenta indistintamente de su estructura y de su comportamiento, un modelo mental suficientemente explicativo y suficientemente predictivo como para dotarla de comprensión biológica al respecto; construía sistemáticamente y ejecutaba un modelo muy personal y autónomo porque era capaz de modelar esa célula en acción en su cabeza, echando mano acertada y equilibradamente de conceptos estructurales y comportamentales, junto con conceptos de carácter general. Y es que esta alumna fue incorporando progresivamente a su estructura cognitiva elementos conceptuales que le permitieron construir esa complejidad que ella misma admite haber captado de la célula que representa. Lo ha hecho, como hemos visto, de una manera peculiar; quizás podamos afirmar que Genoveva es un ejemplo

perfecto en su modo de procesar la información de lo que Johnson-Laird llamó en su día los tres conjuntos de los que ya se ha hablado: conjunto de elementos que representan el conjunto de entidades (moléculas y orgánulos); conjunto de propiedades y características de esos elementos que representan propiedades y características de esas entidades (propiedades físico-químicas de moléculas y orgánulos); y, por último, conjunto de relaciones e interacciones entre esos elementos que representan las relaciones e interacciones entre las entidades en el mundo real (o sea, las relaciones e interacciones que se establecen entre moléculas y orgánulos y que dan «vida» a la estructura celular). Como se habrá observado, son varias las veces en las que esta joven ha recurrido a esas características de esos elementos para justificar sus papeles biológicos y reacciones y, por ende, el comportamiento celular. Parece, pues, un magnífico ejemplo «teórico», de los referentes que guían la presente interpretación.

Genoveva ha podido procesar toda esa nueva y compleja información, ha podido operar con ella porque para ella dejó de ser un conjunto de indeterminaciones insostenible, en la medida en que construyó los elementos necesarios y suficientes en cada uno de los tres conjuntos constituyentes de su modelo mental. Y ese modelo mental causal, único, explicativo y predictivo que la dota de comprensión podríamos admitir que cuando acaba el curso, además, opera, si bien no con profusión, con el concurso de algunas imágenes en las que se apoya para comunicar esas explicaciones y predicciones que su modelo mental D le permiten.

DISCUSIÓN Y ALGUNAS REFLEXIONES

Lo que se ha expuesto de Genoveva, la forma de sistematizar la información que aportó, así como el relato de la interpretación que se ha llevado a cabo sobre su forma de percibir y de concebir la célula, su manera de comprenderla, a través del informe elaborado al efecto puede servirnos como ejemplo de cómo se pueden identificar modelos mentales relativos a este contenido. A juzgar por lo expuesto, se ha logrado encontrar un esquema válido para reconstruir las representaciones internas que esta alumna ha puesto en juego cada vez que se le demandaba una tarea que supusiera el manejo de dicho contenido, contemplando esas representaciones como modelos mentales.

Efectivamente, como muestra lo que esta alumna responde ante los diferentes registros que se le han solicitado, la célula se representa en la mente del alumna y efectivamente, se necesita un intermediario o puente entre el sujeto y el contenido que se le presenta, el mundo que se pretende que aprehenda (y más aún, si cabe, cuando se trata de conceptos tan complejos para este nivel de enseñanza). Considerar ese intermediario o puente bajo la óptica de modelos mentales resulta eficaz por cuanto nos permite adquirir comprensión sobre esos procesos cognitivos que se ponen en juego cuando se intenta aprender lo que una célula es y representa en el conocimiento de la materia viva.

El ejemplo presentado ofrece, como se ha expuesto, información del nivel psicológico de la cognición que es, como se ve, absolutamente necesaria para reestructurar la enseñanza y, con ello, poder mejorar los procesos de aprendizaje que

son dependientes, como vemos, del mismo. Se ha insistido en que lo que se ha hecho es establecer un protocolo o esquema de análisis de las producciones y de las verbalizaciones del alumnado (como representaciones externas que son) que permitiera determinar en alguna medida las representaciones internas que se han puesto en juego al hacerlas, es decir, que facilitara hacer deducciones e inferencias sobre cómo se podía estar procesando esa información, o sea, sobre cuáles podrían ser los modelos mentales que se generaron al hacerlas. Al abordar este análisis a lo largo de un curso escolar completo y siguiendo ese esquema, se ha podido observar la manera de reestructurar ese contenido y, por tanto, su procesamiento para aprehenderlo. De este modo, se han detectado las dificultades y los obstáculos cognitivos en dichos procesos de aprendizaje, así como los intentos por superarlos, por una parte, y, por otra, se ha evidenciado la necesidad de pensar la forma de presentar y de trabajar este contenido.

Lo que Genoveva nos aporta y la interpretación que se hace de ese material nos ayuda a replantear la enseñanza de la Biología Celular, pues nos hace ver la importancia que tiene la selección, el análisis y la organización del saber académico en este tema. Si lo que se pretende es que el alumnado adquiera un conocimiento aceptable del contenido que la escuela le presenta, hemos de tener en cuenta que ese contenido se asimila y se aprehende cuando se comprende y eso supone la construcción de modelos mentales; ese proceso es psicológico, es interno y lo que la mente humana hace para ello es recurrir a su representación como intermediaria para captarlo. Pero ese proceso representacional que supone comprensión acerca del mundo debe verse facilitado por la escuela, por el currículum y por eso y para eso es para lo que necesariamente tendrá que recurrirse a un estudio más detallado de esa selección, de ese análisis y de esa organización más eficaz para que los procesos de aprendizaje que se persiguen, que son psicológicos, se lleven a cabo con resultados positivos. El ejemplo expuesto da muestra de ello, ya que evidencia dicha necesidad de reflexionar sobre el contenido académico que la Biología ha incorporado al currículum.

Lo más destacable del proceso de indagación seguido es la interpretación llevada a cabo, lo que constituye la fuente primaria de los hallazgos obtenidos, es decir, el proceso de análisis y de deducción e inferencia desarrollado sobre todas y cada una de las producciones y verbalizaciones con objeto de averiguar cómo se han podido generar las representaciones mentales correspondientes, representaciones que están detrás y en la base de las mismas, con el contenido que han manejado. El gran valor, como muestra el ejemplo presentado, está en poder disponer de un esquema consistente con una opción teórica concreta que permite reconstruir el caso, es decir, permite escribir la historia de cómo se pensó la célula y de cómo evolucionó esa forma de comprenderla. Disponemos así de un informe personalizado de todo el proceso, de un documento que facilita comprensión desde el punto de vista docente sobre los procesos cognitivos puestos en juego cuando se trabaja con el contenido celular, así como de la importancia que en los mismos (y de cara a obtener un mejor resultado) tiene un conocimiento más profundo también del contenido académico que se transmite.



BIBLIOGRAFÍA

- EISENCK, M. y KEANE, M. (1991). *Cognitive Psychology: a student's handbook*. London: Erlbaum.
- JOHNSON-LAIRD, P. (1983). *Mental Models. Towards a Cognitive Science of Language, Inference, and Consciousness*. Harvard University Press. Cambridge. 513 p.
- (1987). Modelos mentales en ciencia cognitiva. pp 179-232. En Norman, D. *Perspectivas de la ciencia cognitiva*. Cognición y desarrollo humano. Ed. Paidós. Barcelona. 358 p.
- (1990). *El Ordenador y la Mente. Introducción a la Ciencia Cognitiva*. Cognición y desarrollo humano. Ed. Paidós. Barcelona. 407 p.
- JOHNSON-LAIRD, P.N. (1988). «How is meaning mentally represented?» *International Social Science Journal*, 40 (1), pp. 45-61.
- (1989). «Analogy and the exercise of creativity». pp. 313-331. En VOSNIADOU, S. y ORTONY, A. Ed. *Similarity and Analogical Reasoning*. Cambridge University Press. 590 p.
- (1989). «Mental Models». En Posner, M. (ed). *Foundations of Cognitive Science*. Cambridge, Mass, MIT Press.
- (1993). «La théorie des modèles mentaux». En: Ehrlich, M.F.; Tardieu, H. y Cavazza, M. (Eds.). *Les modèles mentaux. Approche cognitive des représentations*. Masson. pp. 1-22.
- (1996). «Images, Models and Propositional Representations». pp. 90-127. En DE VEGA, M.; INTONS-PETERSON, M.J.; JOHNSON-LAIRD, P.N.; DENIS, M. y MARSCHARK, M. *Models of Visuospatial Cognition*. Oxford. University Press. 230 p.
- JOHNSON-LAIRD, P.N. y BYRNE, R. (1998). «The Cognitive Science of Deduction». pp. 29-58. En THAGARD, P. Ed. *Mind Reading*. MIT. Press., p. 344.
- NORMAN, D.A. (1983). «Some Observations en Mental Models». En Gentner, D. y Stevens, A.L. *Mental Models*. LEA. New Jersey, p. 7-14.
- RODRÍGUEZ PALMERO, M.L. (2000). Modelos mentales de célula. Una aproximación a su tipificación con estudiantes de COU. Tesis Doctoral. Departamento de Didáctica e Investigación Educativa y del Comportamiento. Universidad de La Laguna.
- RODRÍGUEZ PALMERO, M.L.; MOREIRA, M.A. y MARRERO ACOSTA, J. (2001). Modelos mentales de célula. Un esquema de análisis para su estudio en estudiantes de COU. En prensa.