

**LA TEORÍA DE LOS MODELOS MENTALES DE JOHNSON-LAIRD Y SUS
PRINCIPIOS: UNA APLICACIÓN CON MODELOS MENTALES DE CÉLULA EN
ESTUDIANTES DEL CURSO DE ORIENTACIÓN UNIVERSITARIA**

**(Johnson-Laird's mental models theory and its principles:
an application with cell mental models of high school students)**

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

I.B. Dr. Antonio González. C/ Felipe del Castillo n° 15. Tejina. 38260.

La Laguna, Tenerife, Canarias, España

Javier Marrero Acosta

Dpto de Didáctica e Investigación Educativa y del Comportamiento. Centro Superior de Educación.

Universidad de La Laguna. Avda Trinidad, s/n. 38204.

La Laguna, Tenerife, Canarias, España

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

Instituto de Física, UFRGS. Av. Bento Gonçalves, 9500.

Caixa Postal 15051.

91501-970 Porto Alegre, RS. Brasil.

Resumen

Previa discusión de la idoneidad como *teoría de la mente adecuada explicativamente* de la Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird, se presenta una investigación relativa a las representaciones mentales de célula de estudiantes de COU (Curso de Orientación Universitaria previo a la Universidad) entendidas como modelos mentales. De sus resultados, discutidos en torno a los principios definitorios, se desprende la pertinencia de su consideración como referencia teórica, ya que ofrece explicaciones y predicciones comprensibles, plausibles y fructíferas para el estudio de las representaciones de célula generadas por el alumnado.

Palabras-clave: modelos mentales; célula; teoría de Johnson-Laird.

Abstract

Following a discussion of Johnson-Laird's mental models theory, we report a study regarding high school students mental representations of cell, understood as mental models. Research findings suggest the appropriatedness of such a theory as a framework to interpret students' representations.

Key-words: mental models; cell; Johnson-Laird's theory.

Introducción

“Cuando Craik (1943) argumentó que las personas razonan por desarrollo de experimentos de pensamiento en modelos internos, la idea pareció peligrosamente heterodoxa. Ahora el rango de fenómenos en los que se usa modelos mentales para explicar es rápidamente creciente”. (Johnson-Laird, 1989, pág. 491).

Modelos mentales como formas de abordar el estudio de las representaciones se ha convertido en la actualidad en un referente obligado por cuanto la investigación educativa ha ido dejando clara la necesidad de tratar el conocimiento del que dispone el alumno y que trae al aula desde una perspectiva psicológica. Dadas las dificultades de conceptualización y de aprendizaje que la práctica docente y la propia investigación reflejan, se hace imprescindible buscar otros modos de entender lo que ocurre en los procesos y eventos educativos y para ello hemos de recurrir a la forma

según la cual la información que la escuela ofrece se procesa; es por ello por lo que tenemos que procurar comprensión al respecto, tenemos que ser capaces de explicar y de predecir qué es lo que ocurre con nuestros estudiantes y para ello es ineludible descender al terreno psicológico, a la psicología de la cognición. Es desde esta perspectiva desde donde aparecen los modelos mentales como mecanismos para comprender la manera según la cual se generan las representaciones mentales y una de esas posibilidades la ofrece la Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird (1983, 1990, 1993).

El presente trabajo tiene por objeto analizar las posibilidades de esta teoría para estudiar las representaciones de célula generadas por estudiantes de COU; se aborda, en primer lugar, la propia teoría como construcción adecuada explicativamente de la mente, lo que da cuenta de sus rasgos más característicos; se expone el diseño de la investigación desarrollada, se presentan los resultados y se lleva a cabo su discusión articulada en torno a los principios que Johnson-Laird postula como definatorios de los modelos mentales.

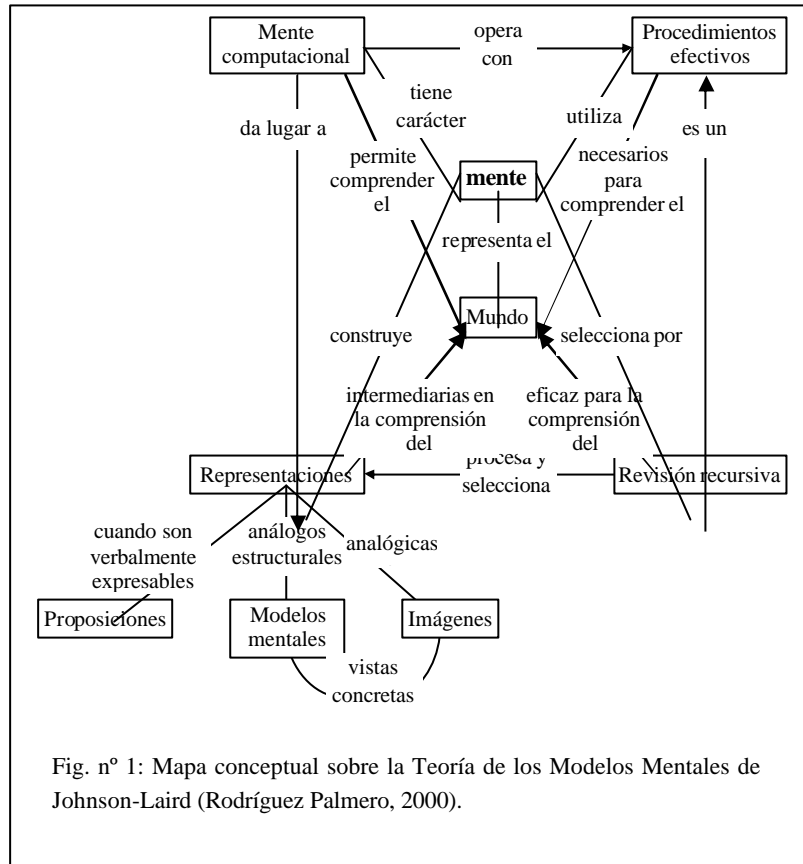
1.- La Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird: breve exposición.

“La teoría de los modelos mentales se ha pensado para explicar los procesos superiores de la cognición y, en particular, la comprensión y la inferencia. Sugiere un inventario simple de tres partes para el contenido de la mente: hay procedimientos recursivos, representaciones proposicionales y modelos. Los procedimientos son indecibles. Llevan a cabo tareas como el mapeamiento de las representaciones proposicionales dentro de los modelos. También proyectan un modelo subyacente dentro de otras formas especiales de modelos -una visión bidimensional o imagen. Hay presumiblemente algunas otras formas de procedimiento que juegan una parte en el pensamiento. Prototipos y otros esquemas, por ejemplo, son procedimientos que especifican por defecto valores de ciertas variables en modelos mentales” (Johnson-Laird, 1983, pág. 446-447).

La cita precedente parece acertada para definir la teoría de Johnson-Laird ya que incorpora su pretensión y los elementos fundamentales de la misma de una forma muy sintética. Pero la teoría pretendía atender a qué es lo que se computa, a cómo se llevan a cabo esos cálculos, y a cuál es la neurofisiología subyacente, lo que se traduce en tres subteorías para dar respuesta a estos problemas: una teoría general de lo que computa la mente, una teoría del programa que utiliza para llevar cabo los cálculos y una teoría de cómo se materializa el programa dentro del sistema nervioso. La teoría que nos ocupa parece dar cuenta de ello en la medida en que se muestra que la mente opera computacionalmente con proposiciones, modelos mentales e imágenes (primera teoría); que lo hace trabajando a distintos niveles a través de una organización funcional (segunda teoría); y que se sustenta físicamente en una estructura real cuyo conocimiento actual, cuanto menos, puede soportar un funcionamiento semejante (tercera teoría).

En este contexto y desde esta perspectiva, hemos de concluir que Johnson-Laird llena de contenido explicativo los problemas que aborda y, consecuentemente, llena de contenido la Teoría de los Modelos Mentales. Justo es reconocer esto porque, si bien existe todo un cuerpo teórico que atiende a sus distintos niveles de alcance, y que se justifica con profusión de investigaciones y experiencias en los documentos originales del autor, lo que ha trascendido es, lógicamente, su premisa básica: *“La principal asunción de la teoría que yo estoy desarrollando es que la semántica del lenguaje mental traza el mapa de las representaciones proposicionales dentro de modelos mentales de mundos reales o imaginarios: las representaciones proposicionales se representan con respecto a modelos mentales”* (Johnson-Laird, 1985, pág. 90), y esto no es más que la punta de un iceberg, la superficie de todo un entramado teórico que justifica que esto sea así. La figura nº 1 muestra un mapa conceptual elaborado al hilo de los conceptos fundamentales de la teoría que nos

ocupa, que no comentamos por razones de espacio y que iremos concretando más adelante, en el apartado de procedimiento de análisis y en el de la presentación de los resultados de este trabajo.



Johnson-Laird nos ha ofrecido un marco teórico de referencia que responde a lo que él entiende que debe ser una teoría científica de la mente, una teoría adecuada explicativamente.

“Su objetivo es simplemente establecer la viabilidad de una teoría basada en el presupuesto de que los significados de las palabras son procedimientos de descomposición que relacionan los modelos mentales con el mundo y, en particular, en el uso de procedimientos léxicos que interactúan con procedimientos generales para construir, manipular y evaluar modelos mentales” (Johnson-Laird, 1987, pág. 202).

Esta pretensión de la teoría se ha alcanzado; reúne los requisitos necesarios para su consideración como tal ya que explica los “cómo” del funcionamiento de la mente, es una teoría científica del razonamiento humano (Johnson-Laird, 1988; Johnson-Laird y Byrne, 1998). Ha supuesto un enorme esfuerzo de síntesis, de integración de campos muy distintos del conocimiento que han dado consistencia a la ciencia cognitiva, ciencia con la que el autor explicita su compromiso personal; los modelos mentales son heurísticos y la teoría que los define también en el sentido de que ofrece una forma de abordar la producción de conocimiento en nuestras mentes y la producción de conocimiento sobre la mente. Desde esta perspectiva, ha supuesto la superación de polémicas y de teorías anteriores, léase imagistas/proposicionalistas, leyes de la lógica formal, reglas de postulados de significados, leyes de inferencia, etc, etc. Fundamentalmente y por encima de todo, la Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird supone una teoría de la mente adecuada explicativamente. El por qué de esta afirmación se muestra en la figura nº 2 que refleja la V epistemológica, confeccionada, en donde exponemos de forma sucinta una síntesis de lo que representa para nosotros la Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird (para una mayor

profundización o conocimiento de la V epistemológica como instrumento heurístico, se sugiere ver Rodríguez Palmero y Rodríguez Palmero, 1998).

La Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird es una teoría de la mente adecuada explicativamente porque atiende tanto a la forma de la representación (proposiciones, modelos mentales e imágenes) (Johnson-Laird, 1983, 1996) como a los procedimientos que permiten construirla y manipularla: mente computacional, procedimientos efectivos, revisión recursiva y modelos mentales y todo ello construido sobre la base de un lenguaje mental propio, que da cuenta tanto de la forma de esa representación como de los procesos que con ella se producen, representación que trabaja sobre un contenido al que de este modo se le asigna significado.

Los modelos mentales son análogos estructurales del mundo, son representaciones internas que permiten comprenderlo, dado que dotan a los individuos de la capacidad de explicar y de predecir. Son correlatos mentales de la realidad (del mundo) ante la imposibilidad de aprehenderla directamente, siendo de ese modo como se le atribuye significado. Los principios que Johnson-Laird le asigna se muestran en la Tabla nº 1.

Estos principios nos permiten entender el concepto “modelo mental” y tienen su razón de ser en el sustrato teórico que constituye el fondo de la teoría. A voz de pronto y leídos como una mera relación es evidente que asustan y abruman, pero su comprensión resulta clara si volvemos atrás y analizamos las consecuencias de los elementos-clave que parece manejar Johnson-Laird en sus tesis (carácter computacional, procedimientos efectivos, revisión recursiva, modelo mental), por una parte; y, por otra, si nos damos cuenta de que modelo mental no es más que una consecuencia de todo ello. Estos principios constituyen la propia definición de lo que es un modelo mental en este marco teórico, así como la forma en la que actúa; también explicitan sus restricciones. Podemos detectar en los escritos originales un doble nivel, muy sutil y discutible, por supuesto, de significación de procedimiento efectivo; está claro que no en términos de ejecución por parte de una máquina, pero sí en términos prácticos, podríamos decir que estos principios constituyen, en su conjunto, un procedimiento efectivo para identificar lo que es un modelo mental y lo que no lo es, en esta teoría, en función de que los principios se atiendan o no. Ése será nuestro objetivo en lo que al concepto célula se refiere.

2.- Diseño de la investigación

La investigación desarrollada pretendía determinar qué modelos mentales generan los estudiantes de COU cuando aprenden la célula. Los objetivos propuestos han sido:

- ? Explorar el alcance y grado de aplicación de la Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird en los procesos de aprendizaje de estudiantes de COU relativos a la célula.
- ? Identificar y tipificar los modelos mentales de célula definidos desde esta perspectiva en dichos estudiantes a partir de la interpretación de sus producciones y verbalizaciones.
- ? Delimitar los grados de evolución o cambio de las representaciones construidas por estos jóvenes a lo largo de un curso escolar completo.
- ? Elaborar un esquema global de análisis de esas producciones y verbalizaciones para representar la estructura y el funcionamiento celular.

Se deriva de lo anterior que se ha trabajado en condiciones naturales de aula y durante un curso escolar completo, por lo que se ha elegido como opción metodológica estudio de casos, dado que se ha mostrado idóneo para el proyecto que nos ocupa (Rodríguez y Moreira, 1999). El presente análisis informa fundamentalmente del primero de estos objetivos.

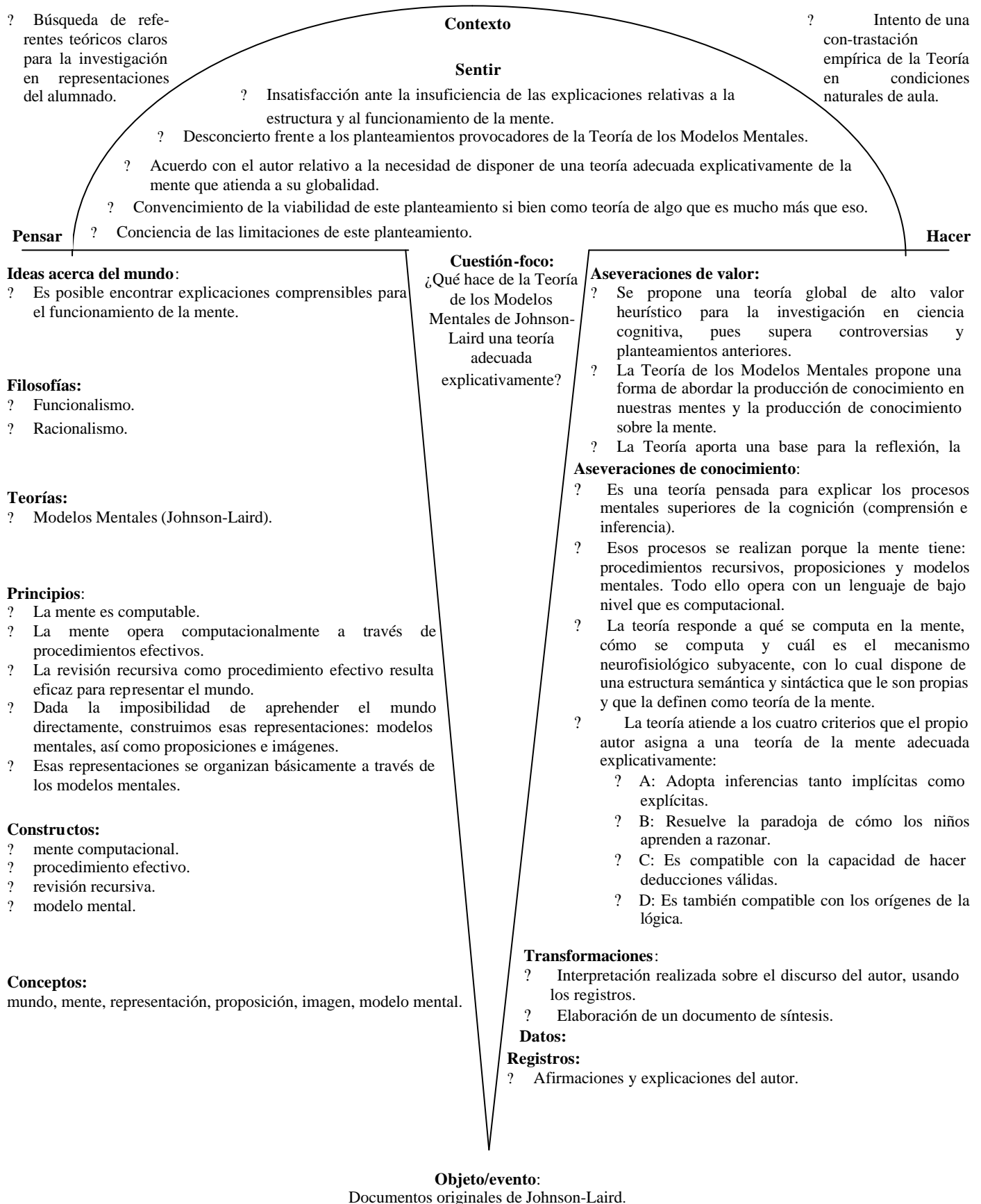


Fig. nº 2: V epistemológica elaborada en torno a las aportaciones de la Teoría de los Modelos mentales de Johnson-Laird (Rodríguez Palmero, 2000).

Tabla nº 1. Principios asignados por Johnson-Laird a los modelos mentales.

1.- <i>“Principio de la computabilidad: los modelos mentales y la maquinaria para construirlos e interpretarlos son computables”</i> (Johnson-Laird, 1983, pág. 398).
2.- <i>“Principio de lo finito: un modelo mental debe ser finito en tamaño y no puede representar directamente un dominio infinito”</i> (ibid.).
3.- <i>“Principio del constructivismo: un modelo mental es construido por elementos (tokens) dispuestos en una estructura particular para representar un estado de cosas”</i> (ibid.).
4.- <i>“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”</i> (op. cit., pág. 408).
5.- <i>“Los modelos mentales pueden representar directamente indeterminaciones si y sólo si su uso no es computacionalmente intratable, i.e., no hay un crecimiento exponencial en complejidad”</i> (op. cit., pág. 409).
6.- <i>“Principio de predicabilidad: un predicado puede aplicarse a todos los términos a los que otro se aplica, pero no puede tener intersección en el alcance de la aplicación”</i> (op. cit., pág. 411).
7.- <i>“Principio del innatismo: todos los primitivos conceptuales son innatos”</i> (ibid.).
8.- <i>“Hay un conjunto finito de primitivos conceptuales que aumentan el correspondiente conjunto de campos semánticos, y hay un posterior conjunto finito de conceptos, u “operadores semánticos”, que se encuentran en cualquier campo semántico sirviendo para construir conceptos más complejos más allá de los primitivos subyacentes”</i> (op. cit., pág. 413).
9.- <i>“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”</i> (op. cit., pág. 419).
10.- <i>“Principio de la formación de conjuntos: si un conjunto ha sido formado de conjuntos, entonces los miembros de esos conjuntos deben especificarse primero”</i> (op. cit., pág. 429).

2.1.- Contexto.

El contexto en el que se ha llevado a cabo la investigación se corresponde con las condiciones naturales de aula en la asignatura de Biología de COU (Curso de Orientación Universitaria), cuyos estudiantes tienen por término medio 17/18 años, durante el curso escolar 1996/97. La profesora titular de la asignatura ha actuado como investigadora, recopilando los datos correspondientes a partir de la propia práctica profesional a lo largo del curso escolar; su análisis e interpretación se han llevado a cabo en fecha posterior a la finalización del mismo.

El centro en el que se ha desarrollado la experiencia es un centro comarcal de características urbano/rurales de la zona norte de la isla de Tenerife (Islas Canarias, España). Se trata de un instituto público de Enseñanza Secundaria que recibe alumnado proveniente de familias de nivel socioeconómico diferente y disperso (hijos de profesionales liberales y funcionarios que habitan en las urbanizaciones de la zona junto con familias agrícolas y dedicadas al sector servicios, así como desempleados).

Resultará necesario para entender los datos obtenidos saber que en lo que se refiere a contexto curricular (a la forma de organizar el contenido) se ha seguido una secuencia compleja convergente diferente a la habitual en los libros de texto y programas oficiales que nos lleva a analizar, previa introducción general, cada principio inmediato orgánico desde el punto de vista bioquímico, citológico y fisiológico.

2.2.- Los casos.

Los casos indagados son los treinta y seis estudiantes que han cursado oficialmente la asignatura de Biología de COU y han terminado dicho curso escolar.

La investigación pretende interpretar lo que estos jóvenes hacen y dicen en los diferentes contextos escolares y de aprendizaje, es decir, inferir sobre las representaciones posibles que han construido en diferentes situaciones y momentos a lo largo del curso; se trata de un análisis del nivel psicológico de la cognición. Se consideró por ello que estos estudiantes debían estar en las condiciones más naturales posibles; lo que se pretende es ver cómo se representa mentalmente la información trabajada y en ese sentido, el alumnado en ningún momento debía saber que estaba siendo objeto-sujeto de investigación, de manera que no hubiera influencia alguna sobre su modo de pensar que no fuera lo normal en las aulas de Biología.

Se ha optado por cuidar este aspecto también porque se entiende que la investigación educativa debe generarse de la manera más cercana posible a lo que realmente ocurre en las aulas, de modo que de sus resultados puedan derivarse consecuencias fácilmente aplicables a las mismas; se trata en este caso de construir conocimiento sobre esos procesos cognitivos que son los que normalmente se producen y no los que se desarrollan en condiciones controladas de laboratorio. Esto es lo que justifica, no sólo la ignorancia de su papel esencial como protagonistas de investigación de estas treinta y seis personas a lo largo del curso, ya que desconocían esta condición, sino también que todos y cada uno de ellos se hayan tenido en cuenta, ya que son los que lo cursaron en su totalidad.

2.3.- Fuentes de datos.

Las fuentes de datos utilizadas para la recogida de información están constituidas por las producciones y verbalizaciones hechas por el alumnado a lo largo del curso escolar que han sido convenientemente registradas para su posterior análisis e interpretación. 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.

Todos ellos se han cumplimentado individualmente en las horas ordinarias de clase (excepto la entrevista que se desarrolló una vez acabado el curso escolar) y los únicos que han sido susceptibles de calificación son los exámenes, extremo este que el alumnado conocía.

Con esas fuentes de datos se han obtenido trece registros de cada uno de los estudiantes (con muy pocas excepciones si dejaban de presentarse a los exámenes) que constituyen las producciones y verbalizaciones que han servido de soporte para la posterior interpretación sobre los posibles modos de pensar de los mismos, sus modelos mentales, relativos a la célula a lo largo del curso escolar en el que se han obtenido. Como ya se ha comentado, estos materiales se han analizado desde la perspectiva de estudio de casos, para lo cual dichas interpretaciones se ejemplifican con esos datos aportados por los propios estudiantes; el proceso seguido ha resultado eficaz en la

comprensión de los modos de pensar de los mismos acerca de la célula (Rodríguez Palmero, 2001a; Rodríguez Palmero, 2001b; Rodríguez y Moreira, 1999; Rodríguez y Moreira, 2000).

2.4.- Procedimiento de análisis.

Una vez recopiladas las producciones y verbalizaciones del alumnado que se mantuvo escolarizado en su totalidad, como primera fase, se llevaron a cabo posteriormente varias aproximaciones tentativas a dicho material “a posteriori”, con objeto de delimitar su tratamiento. Se definió un esquema general como procedimiento de análisis de dichos materiales para su interpretación que se basa en la combinación de diferentes aspectos encontrados en los mismos y que se construyó y se desarrolló sobre la base de la fundamentación teórica en la que se apoya la presente indagación.

Siguiendo a Johnson-Laird, la mente humana opera con un triple código de proposiciones o representaciones proposicionales, modelos mentales e imágenes y utiliza esas representaciones como intermediarias entre el individuo y la realidad, su mundo, ante la imposibilidad de aprehenderlo directamente. Las proposiciones son representaciones proposicionales verbalmente expresables. Son sentencias con una estructura similar a la lingüística que, si se articularan, darían lugar a una representación predictiva y explicativa (desde la perspectiva de la propia teoría) o modelo mental. Éste es un análogo estructural del mundo que se pretende representar que genera comprensión ya que permite explicaciones y predicciones sobre el mismo; por lo tanto, favorece el establecimiento de deducciones e inferencias, la interpretación, la formulación de analogías (Johnson-Laird, 1989, 1994), esa comprensión, en suma. Esos modelos pueden generar vistas o visiones parciales de los mismos, o sea imágenes.

En suma, nos interesa ver si se construyen a lo largo del curso proposiciones aisladas o modelos mentales relativos tanto a la estructura como al funcionamiento de la célula y si esos modelos van acompañados o no de imágenes que favorezcan el razonamiento y la comprensión de este contenido.

Proposiciones, modelos mentales e imágenes son, pues, 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 nuestro estudio. Pero ¿cómo averiguamos con cuál de ellas operan los individuos en un momento dado, en un contexto dado y con un contenido también dado? Tendremos que atender en términos genéricos a la selección y uso que se hace de los conceptos que el sujeto emplea en esas representaciones, lo que nos permitirá determinar en qué medida la persona opera sólo con proposiciones aisladas o las articula 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 definen y 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 los mismos, de lo que se derivará la capacidad explicativa y predictiva que se ha generado y, consecuentemente, (de acuerdo con Johnson-Laird) 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. Como fuentes de información para su estudio se han utilizado los cuestionarios inicial y final, la entrevista, el símil de la célula como una fábrica y los exámenes.
- ? Los mapas conceptuales: subesquema que muestra 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. La fuente de información de este subesquema, como es obvio, está constituida por los propios mapas conceptuales.
- ? Los dibujos, cuyo análisis como subesquema de interpretación 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 en los mismos. Las fuentes fundamentales de datos para el análisis de este subesquema están definidas por los cuestionarios inicial y final y el dibujo solicitado al efecto.

Como puede derivarse de los criterios precedentes definidos para cada uno de los subesquemas, se establecen entre ellos relaciones directas que muestran que efectivamente puede atenderse al estudio de los niveles de selección de conceptos, uso de la información e imágenes como rasgos comunes a esos subesquemas, así como registros que pueden abordarse en las diferentes fuentes de información utilizadas para el análisis (Rodríguez, Moreira y Marrero, 2001).

No podemos olvidarnos de que lo que se plantea es un trabajo de introspección, un proceso de interpretación de esas distintas producciones y verbalizaciones con la finalidad de extraer una predicción y una explicación (se insiste en que se usan ambas palabras en términos de Johnson-Laird) relativa a cómo pueden haber operado mentalmente los protagonistas de la investigación; por lo tanto, lo que se hace es interpretar, deducir, establecer inferencias, postular analogías sobre cómo creemos que cada uno de ellos ha generado sus explicaciones, sus representaciones. Atender a estos tres aspectos supondrá, por lo tanto, 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 el nivel en el que la abordamos. Se está procurando explorar la forma de generar un modelo sobre esas representaciones que son internas y está claro, como ya se ha dicho, que no nos podemos meter en los cerebros de esos individuos, no podemos saber cómo funcionan sus mentes, sino solamente intentar plantear algunas explicaciones sobre cómo puede ser eso posible; no se trata más que de una aproximación.

En el esquema general de análisis, como se ha expuesto, se delimitan tres niveles destinados a la selección de conceptos, a su uso y a la utilización de imágenes: la selección de conceptos como criterio (1º nivel), que es común a todos los instrumentos utilizados, resulta relevante por cuanto “*lo que conocemos del mundo depende de nuestro aparato conceptual*” (Johnson-Laird, 1983, pág. 410), lo que justifica el papel del contenido en la construcción y manejo de los modelos mentales. Pero esa simple selección no nos sirve de mucho si no se analiza su utilización (2º nivel), lo que

deriva en el uso de la información, en la calidad del discurso, en el establecimiento de deducciones e inferencias, en el planteamiento de analogías, en la naturaleza de las relaciones conceptuales y de las proposiciones y en la jerarquización conceptual como criterios que permiten delimitar y valorar la capacidad predictiva y explicativa y, consecuentemente, la comprensión de una entidad tan compleja y abstracta, -de un concepto científico-, que ese modelo mental, esa representación, genera. El papel de las analogías, así como la importancia de las deducciones e inferencias, del razonamiento en suma, en dichos modelos ha quedado marcadamente de manifiesto y es evidente, por tanto, la necesidad de su consideración en un proyecto que se desarrolla al amparo de este referente teórico. Y la imagen ya se ha visto cómo se contempla en todos esos procesos (3º nivel); resulta, pues, pertinente y necesario observar si se usan o no y, en caso de hacerlo, cuáles son sus características.

De lo anterior se deriva, pues, que los niveles de análisis delimitados, los criterios considerados dentro de los mismos y las distintas categorías definidas en cada uno de ellos son totalmente consistentes con lo que la Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird postula de cara a su indagación en las mentes de los protagonistas de la presente investigación.

Una vez perfilado el esquema de análisis, y tras varios intentos, como se comentó, para definir dicho protocolo y una vez, también, delimitada su viabilidad ya que resultaba un procedimiento contrastable y confiable, se establecieron cuatro fases:

- ? Una primera en la que se han cumplimentado los cuadros correspondientes a todos y cada uno de los estudiantes.
- ? Una segunda, posterior en el tiempo algunos meses, en la que se revisaba lo anterior y se delimitaba la naturaleza de los conceptos utilizados en cada registro por categorías. Para ello se ha tenido en cuenta la selección de conceptos que han llevado a cabo, que genéricamente se ha hecho corresponder con tres conjuntos distintos relacionados directamente con los definidos por Johnson-Laird, ya que si hacemos uso de los tres conjuntos que él postulaba para los modelos físicos, podríamos admitir para la célula: un conjunto finito de elementos ("tokens") celulares, un conjunto finito de propiedades de esos elementos y 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.
- ? 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 que estábamos observando, al tiempo que delimitarlos con mayor nitidez, lo que evidenció, además de las categorías consideradas básicas, otras que hemos contemplado como categorías de transición.
- ? Una cuarta y última fase en la que con todo ello como base, 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.

3.- Hallazgos y resultados.

Como diseñadores, como docentes y como investigadores Norman (1983) plantea algunas reflexiones y sugiere aspectos que se deberían tener en cuenta cuando se investiga sobre modelos mentales. Nos encontramos ante un proceso interpretativo, un intento de buscar explicaciones y de hacer predicciones (en términos de la propia teoría) sobre los modos de pensar del alumnado con el que se ha trabajado relativos a la célula, a su forma de conceptualizarla, a su manera de percibirla y

concebirla, usando para ello lo que ese conjunto de personas ha escrito y dicho. Por lo tanto, lo que podemos presentar ahora es aquello que nos hemos encontrado como categorías y regularidades, lo que se ha hallado al profundizar y al adentrarnos en esas producciones y verbalizaciones, según el protocolo que se planificó y construyó en fases sucesivas, como se ha expuesto.

Y en ese sentido, las interpretaciones que se han podido hacer de todos y cada uno de los jóvenes analizados constituyen resultados. Eso es lo que se ha obtenido, eso es lo que se ha hallado: treinta y seis interpretaciones consistentes con la fundamentación teórica que actúa de soporte de esta investigación que se apoyan en y derivan del protocolo definido al efecto. Esas interpretaciones, esos modelos mentales sobre la forma de entender la célula de estos jóvenes emanan directamente del proceso de sistematización desarrollado del que derivan (Rodríguez, 2000).

Efectivamente, en esos modos de entender la célula se han encontrado regularidades y coincidencias, categorías comunes. La construcción de los elementos conceptuales de los conjuntos definidos relativos al contenido celular y, consecuentemente, el manejo de los mismos, así como la capacidad de visualizarlos, ha dado como resultado lo que se ha tipificado como cuatro modelos mentales diferentes de célula, es decir, cuatro formas distintas de representarla cada vez que se requiere, o sea, cada vez que se demanda trabajar cognitivamente con la misma como “mundo real” -externo-. Son, pues, esos cuatro modelos mentales hallados en todos y cada uno de los sujetos de la investigación frente todas y cada una de las fuentes de recogida de información registradas los que justifican sus posibilidades explicativas y predictivas al respecto y, en consonancia con ello, su comprensión. 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 entre estructura y funcionamiento de la célula.
- ? 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.

Estos modelos mentales relativos a la célula se derivan de y relacionan con los criterios y categorías definidas para llevar a cabo el análisis de las producciones y verbalizaciones obtenidas del alumnado y, consecuentemente, con las diferentes fuentes de recogida de datos que han permitido su recopilación.

Efectivamente, se han encontrado esas categorías en las representaciones mentales de célula; se han detectado regularidades y modos que se corresponden con los modos de pensar de los estudiantes 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 han comprendido, es decir, con las representaciones externas que han aportado que constituyen los registros obtenidos de dichos individuos. Son estos registros,

convenientemente analizados, los que han permitido inferir que mentalmente son los cuatros modelos mentales que se han tipificado las representaciones que estos estudiantes han puesto en juego como intermediarias entre sus estructuras cognitivas y el contenido que se les presentaba.

Son esos modelos mentales los que se ha encontrado que sistemáticamente generaban frente al mismo. Son esos cuatro, pues, los modos que la investigación ha hallado que permiten explorar e identificar la forma según la cual este alumnado ha pensado la célula -la ha percibido y concebido- y, por tanto, los modelos mentales generados por la investigadora principal sobre los modelos mentales de célula construidos por los jóvenes que han constituido el centro de la investigación. Por lo tanto, podríamos admitir también que esa tipificación es un hallazgo de la propia indagación.

De este modo, y haciendo uso de esa categorización a lo largo del curso, se ha establecido la evolución seguida por cada joven asignando a cada instrumento la construcción de un modelo mental como sustrato o base cognitiva para elaborarlo, para dar cuenta del mismo o de lo que en él se demanda, en definitiva, haciendo uso para ello del protocolo definido al efecto. Los datos que se han obtenido con ello se presentan en la Tabla nº 2 (los nombres son ficticios para preservar la intimidad de los protagonistas de la investigación).

Tabla nº 2. Relación de estudiantes y de modelos mentales construidos por los mismos en cada registro, así como su modelo mental “final”.

Estudiantes	Cuest. 1	Ex. OV.	Ex. Glúc.	Mapa 1	Ex. Líp.	Ex. Prot.	Mapa 2	Ex. AN.	Símil.	Dibujo.	Mapa 3.	Cuest. 2	Entrev.	Modelo final
1. Víctor	A	A	B	A	A	B	A	A	A	A	B	A	A	A
2. Álvaro	A	B	B	A	C	B	B	B	B	D	A	C	D	C
3. Laura	A	B	B	A	B	B	A	A	A	A	C	B	B	A/B
4. Jezabel	A	-	-	A	-	-	A	-	A	A	A	A	A	A
5. Bibiana	C	C	B	B	C	C	B	C	B	B	B	C	C	C
6. Amanda	B	B	B	A	B	B	A	B	B	C	C	B	B	B
7. Óscar	B	C	B	A	B	B	A	A	B	A	A	B	B	B
8. Nieves	A	A	B	B	B	C	C	B	A	A	B	C	B	B
9. Clara	B	B	A/B	B	A/B	A	B	B	C	B	B	D	B	B
10. Remedios	A	C	C	B	C	C	B	C	D	D	B	C	C	C
11. Begoña	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
12. Tais	B	A	B	B	A	B	A	A	A	B	A	B	B	B
13. Virtudes	A	A	B	B	B	A	A	A	A	B	A	A	B	A
14. Gloria	A	B	A	A	A	B	A	B	B	B	A	A	A	A
15. Yanira	A	C	B	B	B	B	B	B	B	A	B/C	C	C	C
16. Miguel	A	A	A	A	A	A	A	-	A	A	A	A	A	A
17. Virginia	A	C	B	A	B	B	A	B	A/B	B	B	B	A	B
18. Gustavo	A	A	B	A	A	B	A	A	A	A/B	A	A	A/B	A/B
19. Julia	A	A	B	B	C	B	B	B	B	B	C	B	B	B
20. Joel	A	A/B	B	A	B	B	A	B	A	A	A	B	B	A/B
21. Marta	B	C	B	B	C	C	C	C	C	D	C	D	D	D
22. Loreto	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
23. Carla	A	B	B/C	B	B/C	B	B	B	B	A	B/C	B	B	B
24. Andrea	A	A	B	B	B	C	B/C	C	B	C	C	C	B	B/C
25. Sara	B	B/C	C	B	C	C	C	C	B/C	B	C	C	C	C
26. Yaiza	A	B	B	A	B	B	B	A/B	B	B/C	B	A	B	B
27. Pascual	A	A	A	A	B	C	B	B	A	A	B	B	A/B	A/B
28. Constanza	A	C	C	B	C	C	C	C	B/C	D	C	D	C	C
29. Sagrario	A	C	C	B	C	C	B	B	A/B	A	B	B/C	C	C
30. Pastor	B	B	B	A/B	B	B	C	B	A	D	B	B	A/B	B
31. Alejandro	C	C	C	B	C	C	C	D	D	D	C	D	D	D
32. Angeles	A/B	A/B	A/B	A	A	B	A	A	A	A	A	A/B	A/B	A
33. Genoveva	B	C	C	C	C	C	C	C	C/D	D	C	D	D	D
34. Esteban	A	B	B	A	B/C	B	A/B	B	A	A	B	B	A	B
35. Alfonso	C	B	C	B	C	C	C	C	B	D	C	D	D	D
36. Yurma	A	A	A	B	A	A	A/B	-	B	A	B	B	A	A

Las siglas mostradas en las casillas se corresponden con: Cuest. 1: cuestionario inicial; Ex. OV: examen de Origen de la vida; Ex. Glúc: examen de Glúcidos; Mapa 1: primer mapa conceptual; Ex. Líp: examen de Lípidos; Ex. Prot: examen de Proteínas; Mapa 2: segundo mapa conceptual; Ex. AN: examen de Ácidos Nucleicos; Símil: símil de la célula como una fábrica; Dibujo: diseño gráfico de estructura y funcionamiento de la célula; Mapa 3: tercer mapa conceptual; Cuest. 2: cuestionario final; Entrev: entrevista final.

Como puede observarse en la tabla anterior, ha habido ocasiones (treinta y cuatro de los quinientos cuatro registros que en la misma figuran) en las que la interpretación desarrollada sobre las producciones y verbalizaciones del alumnado ha conducido a un modelo intermedio, modelo que, consecuentemente, responde a características y rasgos que se enmarcan tanto en uno como en otro de los modelos extremos que definen esa transición; se trata, pues, de modelos mentales que suponen una evolución entre uno y otro de los modelos considerados básicos en el proceso de procesamiento de la información trabajada.

Lo más destacable del proceso de indagación seguido, como es lógico, es la interpretación llevada a cabo de todos y cada uno de los protagonistas de la investigación 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 sus producciones y verbalizaciones con el objetivo de averiguar cómo han podido generar las representaciones mentales correspondientes, representaciones que están detrás y en la base de las mismas, con el contenido que han manejado, y no esta fría y abstracta tabla que poco o nada dice al respecto, más que la simple etiquetación y tipificación con una letra de cada una de esas posibles representaciones mentales relativas a la célula encontradas.

En todo caso, merece la pena que nos adentremos un poco en ella y procuremos encontrar algunos rasgos que, como datos, resulten relevantes. Se insiste una vez más en que lo más valioso ha sido todo el proceso en sí, todo lo que estos jóvenes fueron haciendo y, básicamente, cómo se ha ido interpretando desde la óptica de un referente teórico concreto, hasta llegar a decidir cuál fue el modelo mental que se entiende que caracterizó a todos y cada uno de ellos al finalizar el curso escolar, lo que se apoya, precisamente, en todo este proceso. Pero si usamos como elementos de referencia únicamente este modelo mental final y su comparación con el modelo mental inferido ante el cuestionario inicial (primer registro obtenido), vemos que de los treinta y seis estudiantes, trece no modificaron formalmente su representación, habiéndolo hecho los veintitrés restantes, una alumna hacia una representación más pobre y simple y los demás hacia modelos más explicativos y predictivos; algunos de estos cambios o evoluciones han sido espectacularmente enriquecedores y significativos, suponiendo para estos estudiantes un salto grande en lo que es su capacidad explicativa y predictiva y, en concordancia con ello, la comprensión que han adquirido con el modelo que han generado.

Esta comparación se muestra en la tabla nº 3 y nos permite constatar que se ha producido una evolución en lo que a la adquisición y comprensión del contenido trabajado se refiere y, por lo tanto, aprendizaje.

Tabla nº 3. Comparación entre el modelo mental construido para el cuestionario inicial y el modelo mental final.

Evolución en el modelo mental	Número de alumnos	Total
No modificación A-A	7	13
No modificación B-B	5	
No modificación C-C	1	
Modificación A ? B	7	23
Modificación A ? A/B	4	
Modificación A ? B/C	1	
Modificación A/B ? A	1	
Modificación A ? C	5	
Modificación B ? C	1	
Modificación B ? D	2	
Modificación C ? D	2	

De estos datos en bruto que, en todo caso, se han obtenido como producto de un proceso de indagación cualitativa, interpretativa, se han encontrado como regularidades o respuestas semejantes las que figuran en la Tabla nº 4. Se hace evidente, de este modo, que efectivamente se observan patrones comunes, esquemas similares de externalización y de respuesta que, por tanto, como se ha dicho, son susceptibles de categorización. En ella se representan los datos reunidos según el modelo mental encontrado (o asignado) para cada uno de los sujetos de investigación en todos y cada uno de los instrumentos manejados, así como aquellos que refieren o se ha interpretado como posibles modelos mentales intermedios, como ya se ha explicado, amén de los datos referidos a ausencia de información por falta del instrumento correspondiente. Así mismo, se reflejan en la misma, en su última casilla, los datos que se refieren a la diferencia detectada entre el principio y el final de curso.

Tabla nº 4. Números totales de individuos según el modelo mental hallado por instrumento.

MODELO MENTAL	Cuest. 1	Ex. OV.	Ex. Glúc.	Mapa 1	Ex. Líp.	Ex. Prot.	Mapa 2	Ex. AN.	Símil.	Dibujo.	Mapa 3.	Cuest. 2	Entrev.	Modelo final	Diferencia
Modelo A	24	11	5	16	8	5	14	8	14	15	11	8	8	8	- 16
Modelo B	8	11	20	18	13	18	11	15	13	9	13	13	13	12	+4
Modelo C	3	10	7	1	11	12	8	8	2	2	10	7	6	7	+4
Modelo D	-	-	-	-	-	-	-	1	2	8	-	6	5	4	+4
Modelo A/B	1	2	2	1	1	-	2	1	2	1	-	1	4	4	+3
Modelo B/C	-	1	1	-	2	-	1	-	2	1	2	1	-	1	+1
Modelo C/D	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	
En Blanco	-	1	1	-	1	1	-	3	-	-	-	-	-	-	

Las siglas mostradas en las casillas se corresponden con: Cuest. 1: cuestionario inicial; Ex. OV: examen de Origen de la vida; Ex. Glúc: examen de Glúcidos; Mapa 1: primer mapa conceptual; Ex. Líp: examen de Lípidos; Ex. Prot: examen de Proteínas; Mapa 2: segundo mapa conceptual; Ex. AN: examen de Ácidos Nucleicos; Símil: símil de la célula como una fábrica; Dibujo: diseño gráfico de estructura y funcionamiento de la célula; Mapa 3: tercer mapa conceptual; Cuest. 2: cuestionario final; Entrev: entrevista final.

Como se deriva de la tabla anterior, efectivamente todo el alumnado ha plasmado una representación externa de célula que, consecuentemente, suponemos que se corresponde con su representación mental acerca de la misma; esa representación en las dos terceras partes de la población estudiada comienza siendo exclusivamente estructural. Es una representación que atiende sólo a sus elementos constituyentes, no asignándosele los atributos característicos de la

célula como ser vivo, que son los que precisamente le dan carácter vital como unidad de vida, hasta mucho tiempo después en algunos casos.

A lo largo del curso se observa que lo que más se desarrolla es un modelo mental dual según el cual se opera independiente y separadamente con la estructura y con el comportamiento celular lo que supone, como muestra la evidencia, un avance en la conceptualización del ente “célula” en la medida en que, como se ve, una tercera parte de los estudiantes abandona su idea sólo estructural de la misma y cuanto menos atribuye un funcionamiento específico aunque sea independiente del sustrato que lo permite y soporta. Es también una tercera parte de la población la que termina operando mentalmente con un modelo mental global, integrado, causal, de la célula, un modelo que es suficientemente explicativo y predictivo (desde el punto de vista científico, ¡claro!) y que los ha dotado de comprensión al entender y poder trabajar coherentemente con una entidad tan compleja como es la célula como unidad de la materia viva; no todos éstos operan mentalmente con imágenes, no razonan o deducen apoyándose en las mismas, pero sí que han adquirido esa comprensión global que el modelo mental que han generado les permite.

En todo caso, estas imágenes que algunos de los sujetos usan en sus procesos cognitivos, en su procesamiento de la información trabajada, son múltiples, complejas, variadas y no una única y estática “foto fija” que atiende sólo a su estructura; obsérvese, también, que aparecen en estos pocos alumnos que las usan en su modo de pensar de manera dinámica (como dinámica es la entidad que representan) muy avanzado el curso escolar (dato que plasma claramente la tabla anterior), casi cuando ya se está acabando el mismo, momento en el que, por lo que se ve, estos jóvenes están siendo capaces de integrar todo el conocimiento producido en una única representación que es mucho más versátil y que pueden visualizar en su modelización; resulta curioso y lógico al tiempo, pues, detectar que se produce una dispersión que, por ejemplo, en estos jóvenes “imagísticos” los lleva previamente a trabajar en términos causales y a modelizar pero sin el uso de esas imágenes. De cualquier manera, se pone de manifiesto, también, que no necesariamente se recurre al uso de imágenes, a la “imaginabilidad”, para desarrollar una mejor comprensión ya que, como se ve en los datos obtenidos, son abundantes las ocasiones en las que se generan modelos mentales explicativos y predictivos sin el concurso de las mismas.

Otra prueba de la dispersión ya comentada y de cómo se producen cambios en los modos cognitivos de operar con el contenido trabajado a medida que avanza el curso se detecta en lo que se ha tipificado como modelos mentales intermedios que, como ya se apuntó, responden a rasgos distintivos de cada uno de los que definen sus extremos; y obsérvese cómo efectivamente los más frecuentes (dentro de lo que cabe, ya que son minoritarios) dentro de éstos a lo largo del curso escolar son los modelos A/B, lo que guarda relación directa con la evolución observada en relación con el número de estudiantes que comienza el año escolar teniendo un modelo mental A (dos terceras partes) y los que van avanzando hasta que se llega a que una tercera parte termina el mismo con modelo mental B.

En función de lo que plasma la tabla nº 4, se deduce, pues, que se produce una sustitución temprana de un modelo mental A o sólo estructural de la célula que se va aparejando a la atribución de características vivas, de procesos, o sea, a la construcción de un modelo mental como mínimo B en un amplio número de

estudiantes, lo que se corrobora con la disminución a su tercera parte (¡sólo ocho!) del número de jóvenes que incluso al acabar el curso escolar sigue operando mentalmente sólo con su estructura, no habiendo incorporado a la misma nada relativo a su comportamiento. Si bien en términos globales, por supuesto, los dieciséis restantes alumnos que modificaron su modelo mental A se reparten al final del curso entre los otros cinco modelos hallados en la investigación y, siguiendo con números globales, lo hacen por igual entre los modelos B, C y D (4), A/B (3) y B/C (1).

La Figura nº 3 presenta a modo de gráfica los datos totales extraídos de la Tabla nº 4; nos permite, por tanto, ver la evolución a lo largo del curso escolar y, con ello, analizar los momentos en los que se produce diferenciación de distintos modelos mentales. Se puede observar en la misma que los cuestionarios inicial y final, los mapas conceptuales, el símil y el dibujo solicitado tienen un mayor valor diagnóstico, es decir, son más informativos en comparación, por ejemplo, con los exámenes. La entrevista final se ha mostrado como un registro de alto valor confirmatorio, ya que reafirma generalmente el modelo mental final asignado.

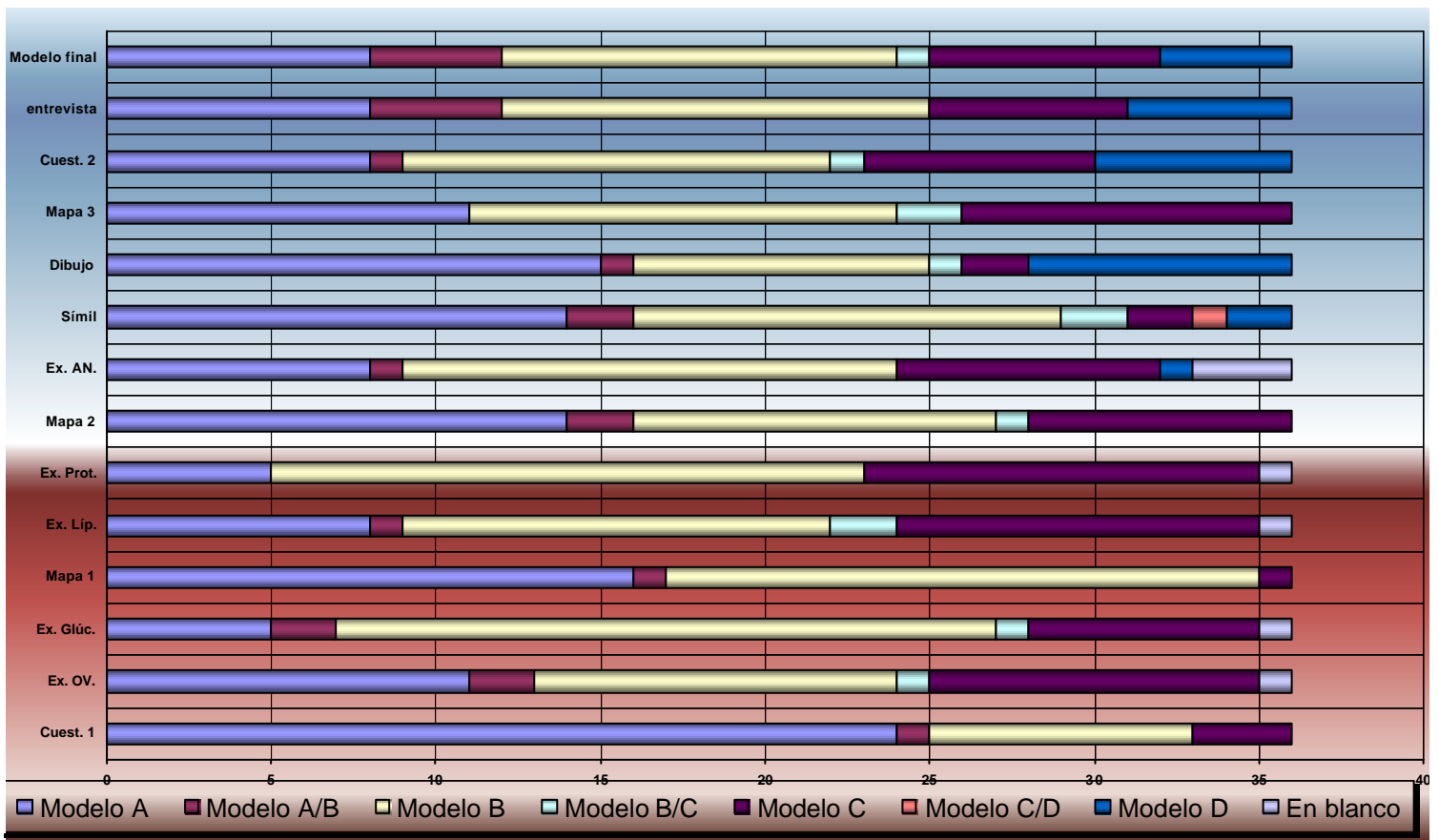


Fig. nº 3. Valores promedio de los diferentes modelos mentales para cada fuente de datos.

Los resultados anteriores determinan, también, la evolución seguida en dichos modelos a lo largo del curso escolar en el sentido de que justifican la construcción de modelos mentales más explicativos y consistentes con los modelos conceptuales que se pretendían enseñar. Estos hallazgos apoyan la emergencia de modelos mentales de célula integrales, causales, y, consecuentemente, de aprendizajes en función de los procesos seguidos en el aula.

4.- **Discusión y análisis de hallazgos y resultados.**

La presente investigación se planteó con propósitos exploratorios e identificadores con respecto a las formas según las cuales el alumnado opera con el concepto célula, a sus representaciones mentales de la misma, procurando para ello una teoría de la mente adecuada explicativamente y apoyándose en ella porque

"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).

Y es que efectivamente la célula supone un concepto científico, un conocimiento cuya comprensión requiere y reclama un modelo mental que permita su interpretación, lo que queda claramente de manifiesto ante la lectura y observación de lo que los estudiantes nos han entregado como expresión y producto de su forma de percibirla y concebirla.

Básicamente, hemos hecho una investigación exploratoria porque partiendo de una teoría, hemos hecho su adaptación al aprendizaje escolar. Como esa teoría no tiene herramientas ni procedimientos adaptados a este nivel y a estas condiciones, hemos explorado unos procedimientos y técnicas de investigación y de diagnóstico que permitieran determinar el alcance de la misma.

Nuestro primer objetivo, de hecho, se centra en explorar el alcance y grado de aplicación de la Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird en los procesos de aprendizaje de estudiantes de COU relativos a la célula.

Los modelos mentales de un conjunto de personas es lo que hemos intentado modelizar y analizar (entendidos como se representan en la Fig. nº 1). 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, (en nuestro caso, 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 los protagonistas de nuestra investigación con objeto de aprehender el mundo, de 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 jóvenes mostrados; es evidente, también, que ello se debe a formas distintas de procesar esa misma información, lo que sugiere que, efectivamente, la mente humana construye modos de representación diferenciados que ejercen una influencia decisiva en los procesos de aprendizaje, en la medida en que determinan el procesamiento de la información, del discurso recibido. Parece desprenderse de lo expuesto que aprender significativamente es construir un modelo mental.

Hablamos, pues, de representaciones mentales, internas, modos de trabajar mentalmente de un conjunto de estudiantes que inferimos analizando sus representaciones externas, sus formas de exteriorizarlas a través de sus producciones y verbalizaciones. Y parece cierto a juzgar por los resultados obtenidos que esas representaciones internas existen, que están ahí, en las mentes de esos individuos ejerciendo una influencia decisiva en sus modos de trabajar con la información que se les ofrece, condicionando marcadamente su aprendizaje. De hecho, como se ha podido advertir, son múltiples los ejemplos que pueden relacionarse y referirse de que, efectivamente, la mente humana opera mentalmente con un triple código, como Johnson-Laird postula, según el cual se manejan proposiciones, ésas que pueden codificar conceptos científicos pero sin atribuirles comprensión, modelos mentales, que sí que dotan a sus constructores de la posibilidad de interpretar, e imágenes como vistas o visiones de aspectos perceptibles desde el punto de vista del observador. ¿Cuándo hemos visto esto? ¿Cuándo se han mostrado evidencias de la existencia de este triple código representacional y de la viabilidad de su utilización como justificación o referencia teórica?

Si nos referimos a las proposiciones, siempre que hemos visto que los jóvenes mostraban ausencia de comprensión, fundamentalmente referida al comportamiento celular, a través de frases sueltas sin sentido, de repetición mecánica de esas proposiciones que no comprendían, de incapacidad para atribuir significados consistentes a las entidades y procesos celulares que manejaban, en el mejor de los casos, codificados proposicionalmente, pero no articulados a la luz de un modelo mental.

Si hacemos referencia a éstos, cada vez que esos modelos han permitido interpretación, deducción, inferencia, comprensión, en suma, lo que también hemos visto que la presente indagación ha puesto de manifiesto en un abundante número de ocasiones y sujetos, modelos mentales, representaciones cognitivas que en mayor o en menor medida han dotado a sus constructores de una, también, mayor o menor, comprensión, pero entendimiento, en definitiva, y no solamente proposiciones aisladas.

Y, por último, centramos la atención en las imágenes que, como se ha demostrado, suponen también un tipo de representación con el que los sujetos operan mentalmente, si bien, no en todos los casos, una imaginabilidad que no todos desarrollan y que no todos utilizan en sus procesos de razonamiento, pero que no cabe duda de que, como representación, existe, si atendemos a los resultados obtenidos, unas imágenes que, por lo que se ve, en estos sujetos no ejercen simplemente un papel epifenomenológico, sino que actúan en esas mentes con carácter y entidad propia. Por tanto, puede suponerse, pues, que la mente humana opera con proposiciones, con modelos mentales y con imágenes como

representaciones mentales, de acuerdo con los postulados de Johnson-Laird, y que la presente investigación da fe de ello cuando el alumnado trabaja con el concepto célula como contenido escolar.

Se ha definido un modelo mental para cada registro analizado porque los modelos mentales se construyen en la hora, en el momento de hacerle frente al mundo que se nos presenta, para darle respuesta a lo que se nos reclama; está claro que se ha hecho una demanda a estos treinta seis sujetos con cada uno de ellos, frente a la que han tenido que recurrir a alguna representación de célula en sus mentes. Si el modelo mental que han construido tiene éxito, lo más probable es que, si no el modelo en sí, sí los elementos o “tokens” que permitan reconstruirlo se guarden en la memoria de largo plazo; y tener éxito significa que es útil para la persona, que le da poder predictivo y explicativo, que le permite dar cuenta de aquello que se ha pedido. Por eso, a medida que avanza el curso, estos estudiantes van construyendo y reconstruyendo -ampliando y reestructurando recursivamente- un modelo mental que se les demanda reiterativamente y que opera sobre los mismos contenidos, los mismos conceptos, aquellos que capacitan para entender la entidad celular en toda su naturaleza.

Lo que pasa es que unos reestructuran más que otros, comprenden más y de mejor manera que otros porque diferencian y reconcilian o, en su caso, (incluso esto es evidente) construyen nuevos conceptos y, sobre todo, asignan y reasignan nuevos significados, de tal manera que la atribución de significado supone la construcción de un modelo mental y ello es así, desde el ámbito de la teoría, porque para asignar ese significado hemos de considerar la referencia de esos conceptos, o sea, sus atributos característicos, sus elementos, por una parte, y su sentido, por otra, es decir, lo que conecta con la referencia. Si no se le da referencia a los conceptos, a las etiquetas con las que los nombramos, no podemos darle significado, no los dotamos de sus atributos característicos; por lo tanto, no se define su sentido. Y esto es lo que podría justificar esas diferencias observadas en los sujetos analizados.

Barquero (1995) plantea 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 sujetos estudiados. Los distintos estudiantes 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 Víctor, Jezabel, Begoña, Ángeles o Yurma, por ejemplo, no es relevante ?-oxidación, transferencia de energía o entropía, cadena transportadora de electrones, etc, porque no puede serlo con el modelo que tienen de célula, ya que atiende fundamentalmente a la estructura y, sin embargo para Bibiana, Remedios, Yanira, Marta, Alejandro o Alfonso, según su modelo, esto es relevante. En este sentido, éstos últimos le dan importancia a estos conceptos y le asignan significado (incluso biológico y coherente desde este punto de vista) mientras que los primeros no. Según Barquero (1995), los modelos mentales “*se transforman progresivamente con la aparición de nueva información relevante*”, de modo que

parecen ser esos modelos los que asignan o permiten esa relevancia, aunque quizás habramos de admitir también que el modelo mental es dependiente de la relevancia que se le asigne a la información manejada, de manera que no se han construido otros modelos mentales más consistentes porque estos jóvenes no han encontrado en el contenido trabajado rasgos característicos pertinentes a los que asignarle significado.

En todo caso, pues, la relevancia parece tener una doble dirección. Los modelos mentales, así, resultan primordialmente idiosincrásicos y manifiestan su carácter psicológico, como muestran los estudiantes, 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.

¿Por qué las representaciones halladas de célula se consideran modelos mentales? En consecuencia con la teoría que los soporta y define, porque contienen elementos abstractos; porque su conocimiento y su aprendizaje provienen del discurso; porque no permiten reconstruir las premisas de las que se partió en su generación; porque ofrecen explicaciones y predicciones sobre la forma según la cual se han construido y han evolucionado, en función de la construcción y el uso de los elementos –conceptos- correspondientes; porque se atienen y responden a los principios que justifican cómo son y cómo actúan y porque, como modelos de la investigación permiten explicar y predecir posibles respuestas características de cada uno de ellos, siendo, por tanto, previsible su ejecución.

Habíamos destacado los principios que Johnson-Laird le había asignado a los modelos mentales y, como acabamos de ver, justifican cómo son y cómo actúan. 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 los jóvenes han percibido y concebido células distintas; la misma información se ha procesado de manera diferente, atribuyéndole, por tanto, unas y otras personas elementos (“tokens”) diferentes. Según el principio del constructivismo (nº 3), las representaciones de estos estudiantes son personales y muy diferentes, como ha quedado de manifiesto. En aplicación del principio de economía de los modelos (nº 4), se observa cómo los diferentes jóvenes 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 los distintos casos.

Del mismo modo que Álvaro, Remedios, Constanza, Marta, Sagrario, Genoveva o Alfonso, como ejemplos, representan las indeterminaciones estableciendo causalidad y, de esa manera, haciendo simple, más simple para ellos por una cuestión de economía mental, una entidad compleja y abstracta como es la célula, Víctor, Jezabel, Gloria, Miguel, Ángeles, Virtudes y otros, por la misma economía mental y ante la imposibilidad de establecer esa causalidad entre los

elementos (tokens), construyen 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 dificultarles 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). Estos últimos jóvenes no delimitan bien los conjuntos de entidades físicas de la célula, de propiedades y características de esas entidades y de relaciones entre ambos, en otras palabras, operan en un terreno relacional en el que, a lo sumo, son capaces de relatar los elementos (y no todos) de esos tres conjuntos, pero muestran serias dificultades para llevar a cabo sus interrelaciones, para el establecimiento de inferencias, para la causalidad, en suma, lo que los lleva a construir un modelo mental que refleja la estructura de la célula y no para un funcionamiento de la misma que es, así, pobre e insuficiente en términos explicativos y predictivos.

Como nos decía el principio nº 5, 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 parecen haber desarrollado Yurma, Ángeles, Miguel (el conjunto de estudiantes que se ha citado últimamente) en lo relativo al metabolismo, al funcionamiento celular en definitiva, observándose, como hemos visto, que para su estructura operan de hecho con un modelo que aplican, y lo hacen de la misma manera, en diferentes contextos y situaciones. No han 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 ellos, que es la célula.

Sin embargo, como se ve, Alfonso, Genoveva, Alejandro, (los otros ejemplos citados anteriormente) parecen tener desde un primer momento bien delimitados esos tres conjuntos, bien definidos sus miembros constituyentes, lo que les 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 construyen una representación cada vez más completa y más determinada, tan determinada que son capaces de plasmarla desde diferentes puntos de vista en las distintas imágenes que construyen, 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 ellos un mayor poder predictivo y explicativo; es, consecuentemente, un modelo mental más elaborado, más evolucionado. Estos jóvenes re-presentan la célula a partir de una serie de

elementos (“tokens”) que se correlacionan con la célula como entidad real - (mundo)- que disponen de una manera particular, es decir, construyen con esos elementos (“tokens”) su propio modelo, un modelo que hacen rotar con fluidez y que les es útil a pesar de que trabajan, también, como sus compañeros, con indeterminaciones, si bien es cierto que con pocas pues pueden manejarlas haciendo uso del propio modelo; es un modelo que responde al principio de identidad estructural pues conciben y perciben 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 ellos les permite enfrentarse a nueva información, a un mundo nuevo sobre este tema, y operar/actuar en el mismo en tanto que tienen una representación compleja y completa que actúa como intermediaria, lo que les favorece, entre otras cosas, recuperar esos elementos que precisan a través de la revisión recursiva que ponen en juego; esto es, precisamente, lo que los sujetos del modelo mental A no podían hacer, fundamentalmente para funcionamiento, operando en este aspecto en un terreno proposicional.

Y lo más probable es que todo esto guarde relación con lo que se plantea en el principio nº 6 hasta donde podemos captar el alcance de su significado; podríamos suponer, así, que esa ambigüedad e indeterminación hace que la aplicación de los predicados usados no tenga muy claros los límites en los significados de los diferentes términos que se requieren en las explicaciones y predicciones articuladas en torno a esos predicados; eso es lo que se observa, nuevamente, ante los productos elaborados por personas que piensan en una célula sólo estructural o en una célula-estructura por un lado y en una célula-funcionamiento por otro. Por el contrario, ante registros tipificados como consecuencias de modelos mentales C o D, lo que se detecta es que se produce efectivamente esa atribución de significados porque se delimitan claramente los alcances y límites en la aplicación de los conceptos construidos al efecto como elementos del modelo mental que les atribuye, precisamente, esos significados.

El principio nº 7 expresaba el carácter innato de los primitivos conceptuales y el nº 8 daba cuenta de la forma según la cual se justifica el aprendizaje en la medida en que plantea, como ya se comentara al hablar del nº 2, el carácter finito de los elementos de un modelo mental pero, al mismo tiempo, las múltiples posibilidades de construir conceptos más complejos sobre la base de esos primitivos subyacentes a partir de los que trabajan los operadores semánticos. Es evidente la dificultad que supone y representa detectar esos primitivos conceptuales sobre los que se articula el conocimiento de la entidad celular, su identificación última, como muestran los datos y resultados obtenidos; pero se pone de manifiesto también con esos mismos datos y resultados que hay una serie de elementos conceptuales que resultan claves y cruciales en la construcción de éstos otros más complejos que justifican la comprensión de la célula como unidad de la materia viva. La construcción de esos complejos conceptos es un proceso gradual, como muestran los resultados, que supone la incorporación progresiva de elementos conceptuales a los diferentes conjuntos de entidades, de propiedades y características de las mismas y de sus relaciones e interacciones entre ellas y si no están presentes en la estructura cognitiva esos elementos básicos a partir de los que articular los demás, lógicamente, aquellos otros no se construyen o resulta dificultosa su generación.

Esto es lo que parece desprenderse de los estudiantes que han construido modelos mentales A -sólo estructurales- o B -duales, es decir, que atienden individual y separadamente a su estructura o a su funcionamiento. Está claro que no podemos decir cuáles son esos primitivos conceptuales sobre los que se construye el concepto célula, pero sí que parece desprenderse del estudio de las producciones y verbalizaciones del alumnado que es preciso profundizar en el análisis y organización del contenido que aborde elementos estructurales, sus propiedades y características y sus interacciones, para favorecer el desarrollo de modelos integrados, con el fin de que se evite el aprendizaje sólo estructural de la entidad celular que representan.

Hemos hecho uso de nueve de los diez principios que Johnson-Laird le atribuye a los modelos mentales. Hemos podido utilizarlos como referencia para interpretar los resultados obtenidos y determinar algunas posibles consecuencias en los procesos de enseñanza y de aprendizaje. Y es que, como expresa el que nos ha quedado (nº 1), disponemos de un constructo, “modelo mental”, que nos permite construir e interpretar explicaciones y predicciones acerca del mundo porque echa mano de una maquinaria que puede entenderse en términos computacionales. Es un nivel al que no tenemos que descender para abordar dichas explicaciones y predicciones, comprensión, en definitiva, como evidencian las inferencias y deducciones elaboradas sobre los modos de pensar de treinta y seis personas que han constituido el centro de la presente investigación. Hacer descansar las mismas en un mecanismo computacional al que no se tiene acceso y al que no se precisa descender no amenaza la comprensión que sobre dichos mecanismos cognitivos se ha adquirido y encontrado.

Como se ha mostrado en los párrafos precedentes, se han aplicado a casos concretos, a sujetos concretos, los principios que Johnson-Laird le atribuye a los modelos mentales. Al hacerlo, se ha puesto de manifiesto que no son teóricos y no aplicables sino todo lo contrario, que son, precisamente, prácticos, en la acción. 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 hace 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 que recibe.

Bibliografía

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.

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

Johnson-Laird, P. (1985). Mental Models, in Aitkenhead, A.M. y J. M. Slack. (Eds). *“Issues in cognitive Modelling”*. Open University Press, pp. 81-99.

- Johnson-Laird, 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.
- Johnson-Laird, 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.
- Johnson-Laird, P. N. (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.
- Johnson-Laird, P. N. (1989). Mental Models. En Posner, M. (ed). *Foundations of Cognitive Science*. Cambridge, Mass, MIT Press.
- Johnson-Laird, P. N. (1993). La théorie des modèles mentaux. En: Ehrlich, M. F.; Tardieu, H. y Cavazza, M. (Eds). *Les modèles mentaux. Approche cognitive des representations*. Masson. Pp. 1-22.
- Johnson-Laird, P. N. (1994). Mental models and probabilistic thinking. *Cognition*, 50, pp. 189-209.
- Johnson-Laird, P. N. (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. P344.
- 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. Mineapolis, 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.
- Rodríguez Palmero, G. y Rodríguez Palmero, M.L. (1998). Una propuesta de incorporación de la vertiente afectiva del conocimiento y del contexto en la V heurística. *Investigações em Ensino de Ciências*. Vol 3, nº 3. <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>
- 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. (2001 a). La célula vista por el alumnado. Pendiente de publicación.

Rodríguez Palmero, M. L. (2001 b). Modelos mentales de célula. El caso de Genoveva. Aceptado en *Qurriculum*. Universidad de La Laguna. España.

Rodríguez Palmero, M. L. y Moreira, M. A. (1999). Modelos mentales de la estructura y del funcionamiento de la célula: dos estudios de casos. *Investigações em Ensino de Ciências* 4 (2). (<http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>).

Rodríguez Palmero, M. L., Moreira, M. A. y Marrero Acosta, J. (2001). Cell mental models: a scheme for the analysis for students in graduation year. Pendiente de publicación.

Rodríguez Palmero, M.L. y Moreira, M.A. (2000) .Mapas conceptuales y representaciones mentales. Una experiencia con el concepto célula. III Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa. Universidade Aberta. Plátano Editora e Didáctica Editora. Portugal.

Recebido em 01.06.2001

Revisado em 24.12.2001

Aceito em 08.01.2002