

**MODELOS MENTALES vs ESQUEMAS DE CÉLULA**  
(Mental models vs cell schemes)

**M<sup>a</sup> Luz Rodríguez Palmero** [mrp@step.es]

I.B. Dr. Antonio González, González

C/ Felipe del Castillo n<sup>o</sup> 15

Tejina. 38260. La Laguna, Tenerife, Canarias, España

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

Instituto de Física. UFRGS

Av. Bento Gonçalves, 9500. C. P. 15051

91501-970 Porto Alegre, RS. Brasil

### **Resumen**

Se analizan las representaciones del alumnado desde la perspectiva de la Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird una vez trabajado el contenido escolar y cinco años después. Se observa la identidad y estabilidad de dichas representaciones mentales incluso a largo plazo, lo que se compara y estudia desde la óptica de la Teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud. De los resultados obtenidos se desprenden conexiones y relaciones entre ambas teorías psicológicas que facilitan la comprensión de los procesos cognitivos puestos en juego en el aprendizaje de conceptos científicos.

**Conceptos-clave:** representación, modelo mental, esquema.

### **Abstract**

Student's mental representations of cell are examined from the perspectives of Johnson-Laird's mental models theory five years after instruction. The observed identity and stability of such representations are then interpreted under the framework of Vergnaud's conceptual fields theory. From the findings of these analyses some connections between these theories which might help in understanding the cognitive processes in learning scientific concepts, are established.

**Key-words:** mental representatios, mental model, scheme.

### **Introducción**

El aprendizaje de la ciencia no es tarea fácil; el desarrollo de los conocimientos científicos por parte del alumnado ha ocupado innumerables páginas y hasta hoy sigue siendo un problema de difícil solución. El trabajo del docente de la ciencia está resultando poco efectivo, si atendemos a las dificultades que los estudiantes muestran en la aplicación de ese conocimiento científico, y ello es así a pesar de sus intentos poco fructíferos por hacer que ese aprendizaje sea exitoso (Pozo, 1999). Uno de los principales escollos en los procesos de enseñanza/aprendizaje, si no el que más y de todos conocido, es la comprensión científica en sí misma; el conocimiento que el alumno aporta en este proceso resulta muchas veces muy difícil de modificar y extremadamente resistente (Pozo y Gómez Crespo, 1998), actuando como obstáculo epistemológico reacio a la incorporación de la ciencia que se pretende. En ocasiones, también se observan aprendizajes científicos supuestamente firmes y consistentes que parecen borrarse y ser sustituidos nuevamente por conocimiento de sentido común (Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001). Son frecuentes los estudios que muestran que los alumnos no manifiestan en sus respuestas influencia alguna de la enseñanza científica que han recibido, como sería de esperar (Osborne y Freyberg, 1991), dados los esfuerzos realizados en su docencia para alcanzar los aprendizajes deseados.

Un somero análisis de las causas de esa falta de eficacia en el aprendizaje pretendido por la escuela (el profesorado) y, por tanto, en el fracaso evidenciado en los estudiantes nos conduce a replantear o, al menos, a reflexionar sobre distintos aspectos que van desde la idoneidad del contenido seleccionado hasta el mensaje que se transmite sobre la naturaleza de la ciencia, su actividad definitoria, los métodos usados por los profesores, las herramientas empleadas, la planificación realizada o la misma evaluación (Reid y Hodson, 1993); y de manera prioritaria nos obliga a pensar en el propio alumno y en las barreras que impiden que ese aprendizaje sea eficaz. No podemos olvidar que la alfabetización científica se ha hecho necesaria en la sociedad actual que debe ser desarrollada y útil, por tanto, para todos los estudiantes, de manera que puedan enfrentarse a sus demandas, como estos autores plantean.

Célula es uno de esos conceptos científicos que tienen justificada su presencia en el currículum académico (Rodríguez, 2002), dado que condiciona y articula la comprensión biológica. Se trata de un concepto escolar del que el alumnado manifiesta un cierto conocimiento, una noción borrosa (Fourez, 1994) alejada frecuentemente del “concepto científico” atribuido, que le asigna un significado preciso difícilmente comprensible para los estudiantes.

Para el propio profesorado es manifiesta y evidente la complejidad de la enseñanza del funcionamiento celular ya que supone muchos y complejos conceptos, como respiración celular, fotosíntesis, mitosis, meiosis, etc. y este problema no es nuevo (Finley y col., 1982). De hecho, la relación entre célula como organismo vivo y las transformaciones de energía que la definen y caracterizan es muy poco utilizada por parte del alumnado en sus argumentaciones (Brumby, 1982; Gayford, 1986; Haslam y Treagust, 1987; Núñez y Banet, 1993), desconociéndose el nivel celular o explicándose de manera insuficiente (Cubero, 1986). En su aprendizaje se detectan dificultades referidas a la interpretación de gráficos, se muestran problemas de apreciación de las dimensiones celulares, se exponen ideas bastante alejadas de la composición celular de los organismos y una percepción muy pobre del contenido celular (Díaz y Jiménez, 1993); no se tiene una representación mental clara de la célula y no se correlacionan sus funciones con las de los organismos pluricelulares (Caballer y Giménez, 1992, 1993); esas representaciones mentales manifiestan una concepción “huevo frito” de célula, con una estructura basada en anillos concéntricos en los que se sitúan algunos elementos organulares (Díaz y Jiménez, 1993, 1996). Se observa también desconocimiento de la composición físico-química de la materia biológica (Dreyfus y Jungwirth, 1988), lo que condiciona la comprensión de las transformaciones energéticas antes citadas; eso conduce a que los estudiantes observen y contemplan las células como piezas o ladrillos de un edificio, no pudiendo percibir las en funcionamiento, ya que no pueden captar los procesos metabólicos que las hacen funcionar (Dreyfus y Jungwirth, 1989). Se conoce la composición celular en términos descriptivos y se asume que la célula realiza funciones vitales pero, por ejemplo, no se equipara el crecimiento con la reproducción de células (García Barros, y col., 1989).

Como se ve, existe abundante documentación que justifica que el aprendizaje de la célula ha sido deficiente a pesar de los esfuerzos docentes por lograrlo; la prueba más clara de ello es, precisamente, la importante investigación educativa realizada al respecto, de la que sólo se han mostrado algunos ejemplos. Célula es un concepto complejo y altamente estructurado, sobre todo para el nivel de la enseñanza no universitaria, y su importancia es crucial como uno de los elementos estructurantes de la comprensión y de la conceptualización biológica, ya que, junto con otros, como evolución, la determinan; como hemos tenido ocasión de comprobar, esa falta de eficacia en el conocimiento biológico se debe al desconocimiento y a la ausencia del significado de la célula como unidad constituyente de los seres vivos (Rodríguez, 2000 a). Dado que las dificultades siguen siendo evidentes, se hace necesario que abordemos más investigación a este respecto y que indagemos cuáles son los mecanismos cognitivos puestos en juego por el alumnado cuando trabaja con este contenido escolar; ante la insuficiencia de otras explicaciones y

planteamientos y frente a los mismos escollos, parece ineludible, si queremos encontrar respuestas a nuestros problemas, el concurso de la psicología cognitiva en este terreno. Determinar si ha habido aprendizaje o no y si ha quedado algún conocimiento biológico relativo a la célula en las mentes de los estudiantes, transcurrido un largo periodo de tiempo sin tener contacto formal con este contenido científico, es el objeto del presente trabajo.

### **Concepciones, representaciones, modelos mentales, esquemas**

Históricamente en la investigación educativa se han dado importantes avances que comenzaron por estudiar las concepciones de los alumnos, determinando sus características y rasgos definitorios hasta llegar a considerarlas actualmente como representaciones mentales; la década de los años setenta fue la década de las concepciones alternativas (Moreira, 2000).

Una vez catalogadas, digamos, en términos descriptivos, el paso siguiente abordó la tarea de su cambio o sustitución por el conocimiento científico validado como tal. Las investigaciones planificadas desde esta perspectiva han sido también abundantes y nos permitieron concluir que no era tan fácil ni tan inmediato ese proceso de asimilación y aprehensión del conocimiento científico. Las revisiones a este respecto son también numerosas (Moreira, 1994) y, del mismo modo que con la consideración de las concepciones como entidades mentales, nos conducen a la necesidad de una reformulación de los procesos implicados en el aprendizaje; era la década del cambio conceptual (años ochenta).

Como una consecuencia del conocimiento producido en la indagación educativa desde estos enfoques, se deriva en la necesidad de considerar que el aprendizaje es un proceso cognitivo, es un modo de procesar mentalmente la información y de utilizarla; de ahí surge el reconocimiento de la importancia crucial que tienen las representaciones internas como vehículos intermediarios en el aprendizaje que la mente pretende. *“Asumiendo que construimos representaciones internas del mundo en lugar de aprehenderlo directamente, debe ser posible que el estudio de la estructura de estas representaciones nos suministre una mejor comprensión de los procesos de aprendizaje de nuevas estructuras conceptuales”* (Greca y Moreira, 1997, pág. 712). De este modo, en aras de procurar comprensión sobre cómo se llevan a cabo los procesos cognitivos, se incardinan, como vemos, por cuestión de necesidad y de supervivencia, conocimientos y contenidos desarrollados “a priori” individualmente, como los que provienen de la investigación educativa en el aprendizaje de la ciencia y de la psicología cognitiva; “[años noventa] *es la década de las representaciones mentales, en particular, de los modelos mentales*” (Moreira, 1997, pág. 37).

Se han puesto, pues, los pilares para desarrollar conocimiento relativo a esos procesos inmersos en el aprendizaje de los conceptos científicos que se caracterizan, fundamentalmente, por su alto grado de abstracción. No nos basta ya con saber cuáles son las concepciones alternativas porque eso no nos permitió que nuestros estudiantes aprendieran esos conceptos; no nos son suficientes las estrategias que hemos planificado de cambio conceptual porque no tuvieron los resultados que esperábamos; no nos podemos quedar con las representaciones mentales encontradas en el alumnado, con sus modelos mentales, como catálogos, porque eso nos ayuda poco si lo que queremos es que esas personas aprendan ciencia y lo hagan eficazmente. Como Pozo (1999) apunta y como la tendencia actual muestra, parece estar tomando cuerpo la idea de que más allá de un cambio conceptual, el aprendizaje de la ciencia supone un cambio representacional o, al menos, una consideración distinta de la representación como tal y de su papel en el aprendizaje de conceptos científicos.

Se entiende por representación *“cualquier notación, 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, pág. 202). Con esta consideración, las representaciones pueden ser tanto externas como internas. El objeto de la investigación educativa, como se desprende de lo expuesto, es la representación interna, es decir, aquel modo cognitivo de operar que nos ocupa y que se pone en juego en los procesos de aprendizaje; y para ello esa misma investigación utiliza representaciones externas, o sea, aquellos registros, elaboraciones y materiales aportados por el alumnado que nos permiten establecer deducciones e inferencias sobre aquellos modos de operar mentalmente. Esas representaciones internas, mentales, se analizan en la actualidad desde la perspectiva de los modelos mentales, como se ha expuesto, porque:

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

El conocimiento generado alrededor de la idea de modelo mental está resultando esencial en la ciencia cognitiva por cuanto da cuenta de las interacciones y relaciones que se establecen entre el pensamiento y los símbolos (Gutiérrez, 1996), aspecto que no se contemplaba en las primeras investigaciones en aprendizaje de la ciencia. Sobre el constructo “modelo mental”, en cualquier caso, no hay consenso, aunque sí en su potencialidad en este contexto y son diversos e incluso contrapuestos los significados que se le atribuyen (Pintó y col., 1996; Krapas y col., 1997; Moreno, 1998; Rodríguez, 2000 b).

Para Johnson-Laird (1983, 1996), la mente humana representa el mundo ante la imposibilidad de aprehenderlo directamente y lo hace según un triple código; para él, se opera mentalmente con proposiciones, imágenes y modelos mentales. Éstos son análogos estructurales del mundo que la mente genera para comprenderlo, de lo que se deriva que la conceptualización científica requiere la construcción de modelos mentales; estos modelos tienen poder predictivo y explicativo y por eso es por lo que dotan al individuo de comprensión, caracterizándose por su funcionalidad. Son, por tanto, modelos de trabajo que actúan en la memoria episódica o de corto plazo.

Los modelos mentales operan con la abstracción (Johnson-Laird, 1996) y de ahí se deriva la consideración de que el aprendizaje de conceptos científicos (dado su alto grado de abstracción y complejidad) requiere la construcción de un modelo mental de los mismos, como se ha expresado anteriormente. Generar conocimiento sobre esos modelos y sobre cómo se construyen supone, por tanto, una premisa de máxima prioridad si lo que se pretende es que ese conocimiento científico se construya, porque será a partir de ese bagaje como podremos determinar las estrategias y los procesos adecuados para que el alumnado recorra el camino que va desde sus modelos mentales hasta los modelos conceptuales científicos que la escuela les presenta y persigue con ellos.

¿Es esto lo que debemos considerar ahora cambio conceptual? ¿El cambio conceptual es un cambio de modelo mental? ¿Se trata de cambio conceptual o de cambio representacional? ¿Cambia la representación en sí o es otra cosa lo que ocurre? ¿Se produce realmente el cambio conceptual o no es tal cambio, sino, más bien, un enriquecimiento? Las preguntas anteriores no son triviales ni sus posibles respuestas obvias; sobre todo, porque son dependientes de múltiples consideraciones y posiciones teóricas diversas. Como ya se comentó, las resistencias a los procesos de aprendizaje de conceptos propios de la ciencia son notorias y se muestran en la bibliografía disponible de manera abundante, como también las frecuentes veces en las que el alumnado “vuelve” a posiciones, planteamientos y representaciones no científicas alejadas del conocimiento validado en el área. En todos estos procesos se construyen modelos mentales que, como ha quedado de manifiesto, son los

modos según los cuales la persona representa el mundo para aprehenderlo y que se caracterizan porque de manera funcional la dotan de explicaciones y predicciones; son representaciones episódicas que actúan en la hora y que, por lo tanto, no nos permiten explicar por qué se producen esos retrocesos, de qué modo justificar esas resistencias y dificultades a la hora de interiorizar un conocimiento más científico, así como tampoco qué es lo que hace que éste se produzca cuando realmente el aprendizaje se ha llevado a cabo. Está haciendo falta, por lo tanto, algo que conecte esas primeras representaciones que actúan en la memoria episódica con algo que quede como sustrato en la memoria de trabajo; esto es lo que justificaría tanto el aprendizaje en sí como la resistencia al mismo.

Nuevamente, tendrá que ser una entidad cognitiva, mental, puesta por el individuo en sus procesos de conceptualización de lo real y el concepto de esquema introducido por Piaget podría darnos una posible explicación. Según Vergnaud (1990, 1993), los esquemas constituyen el núcleo del proceso de adaptación de las estructuras cognitivas y, por tanto, tienen un papel esencial en la asimilación y en la acomodación, ya que un esquema se apoya en una conceptualización implícita; para Vergnaud (1996 b), la investigación debe centrarse en el individuo en situación, en su forma de organizar la conducta, así como en su modo de conceptualarla. Podría pensarse que un esquema es aquello que se aplica del mismo modo ante situaciones semejantes, es decir, lo que posee la mente humana como sustrato y que aplica o ejecuta de manera similar; de este modo, esquema es la forma estructural de la actividad, o sea, aquella pauta invariante en el modo de actuar del sujeto frente a un tipo de situaciones dado, no considerándose invariantes ni los elementos formales ni las acciones en sí mismas (Franchi, 1999).

Los esquemas son las entidades cognitivas que generan las acciones, entendiendo como tales también las operaciones intelectuales, y eso es posible porque cuentan con invariantes operatorios, de tal modo que se establece una relación biunívoca entre esquema y representación (Vergnaud, 1994). Como la Teoría de los Campos Conceptuales considera el conocimiento como competencia que capacita la adaptación, se ocupa de la conceptualización como forma de lograrlo, puesto que es la base sobre la que se articula el desarrollo cognitivo; eso hace que resulte imprescindible prestar atención a los rasgos y elementos conceptuales de los esquemas, así como al análisis conceptual de las situaciones a las que se enfrenta la persona, de modo que esos esquemas puedan desarrollarse y evolucionar adecuadamente. Los esquemas son, pues, las herramientas de adaptación y, por tanto, hacen frente a situaciones y no sólo a objetos (Vergnaud, 1996 a).

Se reclama una visión global de la cognición humana que dé cuenta de los modos de representación -modelos mentales- (en la memoria episódica) y de los esquemas que subyacen (en la memoria a largo plazo) porque lo que se busca es comprender cómo se lleva a cabo este proceso, ya que es lo que determina el aprendizaje; esto es, precisamente, lo que pretende la enseñanza y por eso y para eso es necesario recurrir a distintos enfoques y teorías que nos permitan coordinar dichos procesos. Uno de ellos, como se expresó, viene dado por la Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird (1983, 1988, 1990, 1996), ya que da cuenta de la representación; el otro nos lo ofrece la Teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud (1982, 1983 a y b, 1994, 1998) al reconsiderar el concepto piagetiano de esquema en una perspectiva más global de la conceptualización de lo real.

### **El aprendizaje y la comprensión de conceptos científicos: una explicación posible**

La comprensión de conceptos científicos supone interpretación, ya que implica la capacidad de establecer deducciones e inferencias que determinan el significado que se les atribuye, y eso requiere la construcción de un modelo mental (Nersessian, 1992). Pero los modelos mentales son representaciones episódicas que se construyen en el momento de hacerle frente al mundo para aprehenderlo.

*“Vergnaud habla de teorías de representaciones y dice que para que sea útil, una teoría de éstas debe contener la idea de que las representaciones ofrezcan posibilidades de inferencia, i. e., que nos vuelvan capaces de anticipar eventos futuros y generar conductas para llegar a algún efecto positivo o evitar algún efecto negativo” (Moreira, 2002, pág. 18).*

Tanto Johnson-Laird como Vergnaud en sus teorías (modelos mentales y campos conceptuales, respectivamente) destacan el papel esencial que tienen las representaciones en los procesos de cognición; ante la imposibilidad de aprehender el mundo -la realidad- directamente, la mente humana la representa (Johnson-Laird, 1983), de tal manera que esa representación actúa como intermediario entre el sujeto y su entorno. De este modo, desarrollar conocimiento no es otra cosa que una paulatina construcción de representaciones mentales que dan cuenta de la realidad que pretenden captar; esa realidad se termina conceptuando a través de esquemas. Así, la construcción del conocimiento consiste en la progresiva construcción de representaciones mentales que son homomórficas a la realidad, de tal modo que son activas, pragmáticas y operacionales al tiempo que discursivas, teóricas y simbólicas (Moreira, 2002). Esas representaciones son las que dotan a los individuos de funcionalidad ya que les permiten predecir y explicar en tanto que son análogos estructurales del mundo que representan. De esta manera, se relacionan situaciones, significantes y significados, lo que permite que se puedan construir los conceptos cognitivamente. Esas representaciones son computables; Vergnaud considera que deben serlo para capacitarnos a anticipar y predecir, a hacer deducciones e inferencias y eso es lo que define Johnson-Laird como rasgo característico de los modelos mentales. Para Vergnaud, esas representaciones actúan como sustitutos computables de la realidad y, por ello, están constituidas por teoremas en acción, ya que éstos son proposiciones que se consideran verdaderas (Moreira, 2002). Johnson-Laird define los modelos mentales como análogos estructurales del mundo, o sea, como intermediarios de la realidad que operan con un lenguaje computacional, tanto en su construcción como en su funcionamiento; son esos modelos mentales los que nos permiten predecir e interpretar.

La conceptualización de lo real requiere, pues, como primer paso, la representación de esa realidad, lo que hace que podamos aprehenderla de modo inmediato; pero eso sólo no es suficiente, ya que para poder llevar a cabo esa conceptualización, hemos de ser capaces de atribuir significado a lo que la constituye; de ahí la importancia de lo que se entiende por concepto (un conjunto de situaciones que reflejan la realidad y su representación en términos de significante y significado). Para Vergnaud (1998), esa relación que se establece entre situaciones y esquemas es lo que actúa como fuente de las representaciones (Moreira, 2002), de tal modo que esas primeras representaciones activan cognitivamente esquemas que se ponen en juego y, al mismo tiempo, los condicionan.

Ambos autores justifican esta potencialidad y explican su comportamiento considerando que las representaciones son computables y esto es algo más que una mera coincidencia; hablamos de representación como de algo que se produce en el momento, en la hora, y que da pie a que progresivamente se construya o se constituya en conocimiento. De este modo, podemos admitir que existe un nexo o puente entre esos modelos mentales como representación primera -fuente- de construcciones mentales más estables que dan cuenta del aprendizaje (del conocimiento) del que dispone la persona. Esta construcción mental se genera a base de esas representaciones mentales homomórficas de la realidad (Vergnaud, 1990) que contienen elementos más estables, invariantes, que, al tiempo, condicionan también los modelos mentales construidos; esos invariantes son característicos de los esquemas mentales. Así, se produce una unión entre modelos mentales y esquemas, estableciéndose una interacción dialéctica entre ambos articulada en torno a la representación que nos permite comprender; para ello, por tanto, necesitamos que ambos modos mentales (inmediatos y de largo plazo) operen en un mismo lenguaje y tanto Johnson-Laird como

Vergnaud entienden que es computacional (Moreira, 2002; Greca y Moreira, 2002; Rodríguez y Moreira, 2002).

Para Johnson-Laird (1983), una proposición es verdadera o falsa a la luz de un modelo mental que permite interpretarla; Vergnaud entiende que un teorema en acción es una proposición que se considera verdadera (Vergnaud, 1998). Usando el mismo lenguaje mental y construyéndose, por lo tanto, del mismo modo, puede entenderse que tanto los modelos mentales como los esquemas contengan los mismos elementos: invariantes operatorios, como son los conceptos y los teoremas en acción. Sin embargo, es importante que se entienda que ejercen funciones distintas; mientras un modelo mental es un instrumento cognitivo inmediato que dota de comprensión (Moreira, 2002) y que se caracteriza por su funcionalidad, el esquema determina el comportamiento, siendo por ello más estable y permitiendo generalizar las condiciones de verdad de las sentencias en forma de teoremas en acción. Es, pues, el esquema la forma cognitiva de “guardar” el conocimiento adquirido y del que se dispone, sea éste científicamente aceptado o no.

En la medida en que un esquema de asimilación es la organización invariante de la conducta y que incluye, por lo tanto, invariantes operatorios (conceptos y teoremas en acción) es una estructura mental que goza de estabilidad. Pero ¿cómo se construye? ¿Cuál es su fuente para determinar, así, el conocimiento del que dispone la persona que lo posee? ¿Cómo llega un esquema a tener invariantes que determinen una organización de la conducta similar ante situaciones también similares? Una vez construido un esquema, el sujeto lo usa, asimilando así situaciones de una determinada clase, semejantes también. Pero ante algo nuevo, necesita algún mecanismo útil y funcional que le permita aprehenderlo, captar esa nueva situación y hacerle frente; ese algo nuevamente es una representación que lo dota de poder explicativo y predictivo y eso es un modelo mental. Una vez que esa nueva situación deja de serlo al presentarse repetidamente, el individuo adquiere dominio sobre esta clase, dando lugar a una organización invariante de su conducta y eso es un esquema.

Como se ve, hemos establecido un puente entre aquello que constituye la representación primera en la memoria episódica (modelos mentales) y aquello que permanece en la memoria de largo plazo (esquema). Así pueden explicarse los procesos de aprendizaje, tanto los “académicamente” establecidos y aceptados como aquéllos que resultan erróneos, ya que esos esquemas insuficientemente explicativos condicionan los modelos mentales de los que se nutren y viceversa. Podrían entenderse de este modo las respuestas equivocadas que dan los estudiantes reiterativamente sobre algunos conceptos científicos, puesto que se deben a invariantes que la docencia no ha sido capaz de modificar; el aprendizaje del conocimiento científico supone, consecuentemente, la modificación de los esquemas y, por ende y para ello, la reestructuración y el enriquecimiento de los modelos mentales que los jóvenes generan como fuente de los mismos.

Este “nuevo” referente teórico articulado en torno a una explicación única de la cognición humana nos permite, por tanto, explicar los problemas de aprendizaje de conceptos científicos que la investigación educativa manifiesta (Moreira, 2002); son abundantes los ejemplos y frecuentes los casos en los que los estudiantes expresan y muestran elementos y signos propios de representaciones estables -a las que incluso se vuelve reiterativamente- con otros característicos de representaciones más dinámicas y funcionales (Greca y Moreira, 2002). Dado que los modelos mentales son modelos de trabajo que dan cuenta de la tarea en cuestión (situación), de lo que ocurre en el momento, se generan y actúan a corto plazo. Los modelos mentales son intermediarios entre la situación que vive el sujeto -la tarea a la que se enfrenta o el concepto científico al que tiene que atribuir significado- y su conocimiento, articulado en forma de esquema; los invariantes operatorios que lo constituyen son, por lo tanto, los que guían la búsqueda de información considerada relevante y, de este modo, condicionan el aprendizaje que se produzca, ya que influyen directamente sobre los modelos mentales que se construyen y, por lo tanto, sobre los ingredientes y

elementos que se incorporen a dichos esquemas como nuevos invariantes operatorios de los mismos.

La relación que se establece entre modelos mentales y esquemas es dialéctica ya que *“el proceso de detección y cambio de los invariantes se produce en el ámbito de los modelos mentales, que son el espacio en el que los esquemas operatorios de los individuos manipulan las representaciones de la realidad con el objetivo de actuar sobre ella”* (Greca y Moreira, 2002, pág. 15). La aprehensión y el dominio de esa realidad requieren comprensión sobre la gran cantidad de conceptos científicos que la caracteriza; este marco explicativo conjunto puede ofrecer explicaciones que nos permitan alcanzarlo o, al menos, mejorarlo en el alumnado, de tal modo que sus esquemas de asimilación respondan más fielmente al conocimiento científico validado hasta el momento que la escuela pretende enseñar.

## **Metodología**

Previo exploración del alcance y el grado de aplicación de la Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird al contexto natural de un aula de Biología de COU (Curso de Orientación Universitaria previo a la Universidad), con objeto de identificar y caracterizar los modelos mentales de célula construidos por los estudiantes a lo largo de un curso escolar (Rodríguez, 2000 b), se plantea como objetivo comparar esos modos de representación con los obtenidos cinco años después.

Se ha realizado esta contrastación con nueve estudiantes considerados en aquella primera ocasión como ejemplos de los modelos mentales que la investigación aportó como resultados; ello supone una comparación con el 25 % de la población investigada en un primer momento. Estas nueve personas han seguido trayectorias posteriores al COU diferentes y ninguna de ellas ha estudiado formalmente contenidos relativos a Biología durante un largo periodo de tiempo (tres cursan estudios de Administración y Dirección de Empresas, una Filología Inglesa, una Ingeniería de Telecomunicaciones, una Matemáticas, una Geografía y dos han cursado Formación Profesional). A todas ellas se les ha invitado individualmente a hacer una visita al Centro, desconociendo su finalidad; una vez explicado el objeto de la misma y habiendo aceptado colaborar, se les ha pedido que cumplimentaran un cuestionario (igual al que realizaron hace cinco años, con la salvedad de una cuestión añadida -sólo para corroborar la interpretación realizada-) y, además, se ha entrevistado a cuatro de ellas, para lo que se ha usado el mismo guión que articuló la entrevista realizada en aquella fecha. De igual modo que en la investigación precedente, el contexto ha sido distendido e informal, de manera que no ha habido presiones sobre las personas investigadas. El cuestionario y el guión que ha articulado la entrevista se presentan como anexos.

Como se desprende de lo anterior, en esta ocasión los protagonistas de la investigación conocían la finalidad del cuestionario y de la entrevista, en su caso, dado que se les explicó que se trataba de una contrastación de sus respuestas. En la investigación precedente se desconoció en todo momento, a lo largo del curso escolar, el objeto de los registros que se solicitaban -que formaban parte de las actividades cotidianas de enseñanza/aprendizaje-, porque se consideró importante que los estudiantes no se sintieran sujetos de indagación; el objeto de la misma era determinar y tipificar sus posibles modelos mentales y, por ello, se pensó que debía realizarse en condiciones normales de aula, de manera que sus respuestas fueran las habituales y no condicionadas a una investigación. La investigadora principal, en ambos casos, ha sido la docente que impartió la asignatura hace cinco años.

El protocolo seguido para analizar los datos responde a la selección y uso de los conceptos utilizados, así como al uso y, en su caso, naturaleza de las imágenes que generan los estudiantes;



estos niveles de análisis de las producciones y verbalizaciones se abordan a través de subesquemas (discurso y dibujos en este caso) para los que se han definido los criterios y categorías pertinentes del mismo modo en ambas ocasiones (Rodríguez, 2000 b; Rodríguez, Moreira y Marrero, 2001). La Figura nº 1 expone las relaciones que se establecen entre las diferentes fuentes de datos utilizadas, en relación con dichos criterios y categorías contemplados.

Como puede observarse, se establecen relaciones directas entre esos distintos criterios y categorías definidas para extraer la información pertinente a partir de las producciones y verbalizaciones del alumnado. Se trata de un proceso de interpretación de los posibles modos de pensar la célula estableciendo deducciones e inferencias con esos materiales, dado que en tanto que procesos cognitivos que son, no es posible estudiarlos directamente. Debe tenerse en cuenta que lo que se busca es determinar los modelos mentales construidos por estas personas -como modelos de trabajo- en las distintas ocasiones en las que las enfrentamos a estas situaciones y, por lo tanto, el esquema de análisis se ha aplicado del mismo modo en todas las ocasiones, tanto en los registros recopilados hace cinco años (13 en total) como en los recogidos en la actualidad (cuestionario y entrevista, en su caso). Se entiende que de no hacerlo así, podrían no resultar comparables los datos obtenidos; por otra parte, lo que se pretende es, precisamente, contrastar las representaciones generadas en ambos momentos con objeto de determinar si se produjo algún aprendizaje. El proceso seguido se ejemplifica en la Tabla nº 1.

El análisis de los datos ha sido realizado por la profesora/investigadora en ambos casos. En la primera ocasión (1997) se llevó a cabo una contrastación a través de un juez externo, con objeto de determinar el grado de coincidencia en la interpretación de los datos obtenidos; en dicha comparación se observó que el grado de afinidad era alto. Así mismo, se desarrolló como mecanismo de control otro análisis de varios estudiantes en dos momentos distintos de la indagación por parte de la propia investigadora, que tuvo por objeto determinar la fiabilidad del esquema de análisis definido; los resultados de este control fueron, de igual modo, satisfactorios, ya que la interpretación no se sujetaba a la subjetividad del investigador o al momento en el que se realizara el análisis (Rodríguez, 2000 b). El procedimiento planificado, los datos y resultados obtenidos, los hallazgos y su discusión fueron analizados y criticados conjuntamente con otros dos investigadores co-responsables de la indagación. En esta segunda ocasión (2002) se ha desarrollado un trabajo conjunto de análisis y discusión de ambos autores.

Aun siendo conscientes de que los análisis a ciegas resultan mucho menos subjetivos, los datos obtenidos se han analizado en ambas ocasiones conociendo la profesora (que ha actuado como investigadora) la identidad del alumnado. El procedimiento de análisis definido y utilizado ya se había contrastado, como ya se comentó, obteniéndose resultados similares en distintas instancias y con distintos docentes, por lo que se consideró válido para los propósitos de este trabajo.

En aras de preservar la identidad e intimidad de los sujetos de la investigación, como es obvio, los nombres atribuidos a los mismos son ficticios. De igual modo, lo han sido en investigaciones y en artículos precedentes, de manera que su identificación no sea posible.

## **Resultados**

En este apartado se presentan los resultados obtenidos siguiendo el procedimiento metodológico explicado en la sección anterior y ejemplificado en la tabla precedente, análisis que se corresponde, como se ha comentado, con la búsqueda de modelos mentales de célula, desde la perspectiva de Johnson-Laird. Las Tablas nº 2 y nº 3 reflejan los datos obtenidos en aquella primera ocasión y en el momento de hacer esta contrastación.

Niveles de análisis	Subesquemas de análisis		
	Discurso	Mapas conceptuales	Dibujos
Selección	CONCEPTOS	CONCEPTOS	CONCEPTOS
Uso	FRASES (de libro o elaboración personal)	SELECCIÓN (arbitraria o adecuada y consistente)	DISEÑO (de libro o elaboración personal)
	CALIDAD DEL DISCURSO DE LOS PÁRRAFOS (simple y pobre o coherente y con aplicación)	RELACIONES (simples o explicativas)	ESTRUCTURAS (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)
	USO DE LA INFORMACIÓN (repetición mecánica u organización autónoma)	PROPOSICIONES (nada significativas, poco o significativas)	COMPLEJIDAD (simples-estáticos, complejos-dinámicos)
	INFERENCIAS Y DEDUCCIONES; INTERPRETACIÓN (establecimiento/no; pobre/elaborada)	JERARQUIZACIÓN (ausente, de libro, débil, coherente)	
	ANALOGÍAS (extrabiológica, biológica -nivel-, repetición de clase/autónoma)	ANALOGÍAS Y REFERENCIAS A IMÁGENES (uso o no de los mismos en los nexos)	
Imágenes	PLASMAR IMÁGENES EN DISEÑOS (no uso/uso)		
	Cuestionario inicial, cuestionario final, entrevista, símil de la fábrica, exámenes.	Mapas conceptuales.	Cuestionario inicial, cuestionario final, dibujo de estructura/funcionamiento.
Fuentes de datos para análisis			

Fig. nº 1. Cuadro explicativo de niveles, subesquemas y fuentes de datos del análisis desarrollado en el que se presentan las relaciones directas entre los diferentes criterios definidos.

Tabla nº 1. Ejemplo del procedimiento seguido para el tratamiento de los datos (1997, 2002). Bárbara (modelo final C).

CRITERIOS	CUESTIONARIO		CRITERIOS	DIBUJOS (cuestionario)	
	1997	2002		1997	2002
CONCEPTOS	Célula, vida, metabolismo, reacciones químicas, orgánulos, núcleo, eucariota, información genética, herencia, seres vivos, membrana, medio, pared celular, vegetales, procariota, lisosoma, mitocondria, ribosomas, retículo endoplasmático rugoso, nucleolo, cromatina, retículo endoplasmático liso, membrana celular, cloroplasto, dictiosoma, vesículas, nutrición, reproducción, mitosis, meiosis, relación, estímulos, respuestas, hialoplasma, enzimas, cadena respiratoria, fosforilación oxidativa, ciclo de Krebs, glucolisis, ?-oxidación, glucógenogénesis, gluconeogénesis, fermentaciones, lípidos, proteínas, glucosidación, fotosíntesis, ADN, animales, vacuola, poros nucleares, membrana nuclear, peroxisoma, ATP, anabolismo, ácidos nucleicos, ARN, transcripción, traducción, glúcidos, energía, ácidos grasos, síntesis de proteínas, código genético.	Célula, seres vivos, membrana, citoplasma, núcleo, orgánulos, mitocondria, lisosomas, aparato de Golgi, vacuolas, nucleolo, ADN, información genética, vida, animal, vegetal, digestión, cloroplastos, respiración, almacén, pared celular, transporte, ribosomas, ARN, proteínas, agua, lípidos, sales minerales, desechos, oxígeno, dióxido de carbono, microorganismos, glúcidos, relación, nutrición, reproducción.	CONCEPTOS	No hace el 2º dibujo - funcionamiento - y lo escribe con texto largo. Aparato de Golgi, dictiosoma, vesículas secretoras, cloroplastos, vegetales, pared celular, membrana celular, retículo endoplasmático liso, cromatina, nucleolo, retículo endoplasmático rugoso, ribosomas, mitocondria, lisosoma, animales, matriz mitocondrial, membrana mitocondrial interna, membrana mitocondrial externa, peroxisoma, mambrana nuclear, ADN, poros nucleares.	Lisosomas ARN, digestión, cloroplastos, respiración, núcleo, nucleolo, vacuola, almacén, pared celular, célula, membrana, transporte, citoplasma, aparato de Golgi, proteínas, ribosomas, mitocondria.
FRASES (de libro o elab. personal)	Elaboración personal	Elaboración personal	DISEÑO (de libro o elab. personal)	De libro	De libro
CALIDAD DEL DISCURSO DE LOS PÁRRAFOS (simple y pobre o coherente y con aplicación)	Coherente y con aplicación	Coherente y con aplicación	ESTRUCTURA (identif., identif. y coment. de funciones con uso de palabras y frases, identif. y funciones con uso de notaciones no verbales)	Identificación (escribe un párrafo en el primer dibujo)	Identificación y comentarios de funciones con uso de palabras y frases.
USO DE LA INFORMACIÓN (re. Mec.u orga. autónoma)	Organización autónoma (Ej: preg. 3C y 6 -integra contenidos de distintos temas)	Organización autónoma	COMPLEJIDAD (simples-estáticos, complejos-dinámicos)	Simples-estáticos	Simples-estáticos
PLASMAR IMÁGENES EN DISEÑOS (no uso/uso)	Uso (1º y 3º) no uso (2º- sustituye por una larga explicación)	Uso			
INFERENCIAS Y DEDUCCIONES; INTERPRETACIÓN	Elaboradas	Elaboradas			
ANALOGÍAS (extrabiológica, biológica -nivel-, repetición de clase/autónoma)	No se detectan	No se detectan			
	1997	2002			
ELEM.s. ESTRUC: Orgánulos	Orgánulos, núcleo, membrana, pared celular, lisosoma, mitocondria, ribosomas, retículo endoplasmático rugoso, nucleolo, retículo endoplasmático liso, membrana celular, cloroplasto, dictiosoma, vesículas, hialoplasma, vacuola, poros nucleares, membrana nuclear, peroxisoma.	Membrana, citoplasma, núcleo, orgánulos, mitocondria, vacuolas, lisosomas, aparato de Golgi, nucleolo, cloroplastos, ribosomas, pared celular			
Moléculas	Cromatina, enzimas, lípidos, proteínas, ADN, ATP, ácidos nucleicos, ARN, glúcidos, ácidos grasos.	ADN, ARN, proteínas, biomoléculas, agua, lípidos, sales minerales, oxígeno, dióxido de carbono, glúcidos.			
PROCESOS Mtb.s.	Metabolismo, cadena respiratoria, fosforilación oxidativa, ciclo de Krebs, glucolisis, ?-oxidación, glucógenogénesis, gluconeogénesis, fermentaciones, glucosidación, fotosíntesis, anabolismo, transcripción, síntesis de proteínas, traducción.	Digestión, respiración.			
Otros	Nutrición, reproducción, mitosis, meiosis, relación, respuestas.	Transporte, almacén, relación, nutrición, reproducción.			
CONCEP.s GRALES:	Célula, vida, reacciones químicas, eucariota, información genética, herencia, seres vivos, medio, vegetales, procariota, estímulos, animales, energía.	Célula, información genética, vida, vegetal, animal, seres vivos, desechos.			
OTROS CONCEP.s	Código genético.	Microorganismos.			
MODELO	C			C	

Tabla nº 2. Modelos mentales asignados a los jóvenes en ambas ocasiones para ambos instrumentos, así como modelo mental final (1997, 2002).

	Yemayá	Pío	Yamila	Amadeo	
Cuestionario	B	B	C	D	1997
	A	B	C	C/D	2002
Entrevista	A	A/B	C	D	1997
	A	B	C	D	2002
Modelo mental final	A	B	C	D	1997
	A	B	C	D	2002

Tabla nº 3. Modelos mentales asignados para el cuestionario (1997, 2002), así como modelo mental final.

	Verónica	Gonzalo	Adela	Bárbara	Adelto	
Cuestionario	A	A	B	C	D	1997
	A	B	B	C	C/(D)	2002
Modelo mental final (1997)	A	A/B	B	C	D	

Como puede comprobarse, los datos muestran una alta regularidad en la interpretación hecha en todos los casos y ocasiones; el procedimiento de análisis seguido ha sido el mismo para los distintos instrumentos y momentos. Las letras se corresponden con el modelo mental asignado en cada ocasión, desde la perspectiva de la investigación: estructural (A), dual (B), causal discursivo (C) e “imagístico” (D), cuya caracterización se corresponde con lo siguiente:

- ? 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.
- ? 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.

La tipificación expuesta fue uno de los resultados del trabajo desarrollado en su momento y ha resultado igualmente eficaz y evidente en esta nueva aplicación, lo que confirma tanto su validez como la eficacia del procedimiento

Un segundo dato que, por otra parte, parece obvio, es que se produce una reducción notoria del uso de conceptos biológicos específicos, como se puede observar en la Tabla nº 1, en la que se ejemplifica el procedimiento seguido, la Tabla nº 4, que contempla el número de conceptos utilizados por los jóvenes que han sido, al tiempo, encuestados y entrevistados, y la Tabla nº 5, que expone los mismos datos para las cinco restantes personas que han hecho el cuestionario.

Tabla nº 4. Número de conceptos utilizados por cada persona en ambos instrumentos y ocasiones, en función de las categorías definidas al efecto.(1997, 2002).


	Yemayá				Pío				Yamila				Amadeo			
	Cuestionario		Entrevista		Cuestionario		Entrevista		Cuestionario		Entrevista		Cuestionario		Entrevista	
	1997	2002	1997	2002	1997	2002	1997	2002	1997	2002	1997	2002	1997	2002	1997	2002
ELEMs. ESTR: Orgánulos	13	0	4	1	12	6	9	4	18	3	6	6	3	2	10	4
Moléculas	7	1	2	1	1	1	6	3	1	3	0	0	6	2	7	10
PROCESOS Mtbs.	7	3	2	3	1	0	2	0	1	0	1	3	3	0	4	1
Otros	6	4	1	1	3	1	3	2	2	1	5	3	5	2	2	5
CONCEPs GRALES.	5	10	5	9	8	4	7	9	10	8	8	12	9	12	13	16
OTROS CONCEPs	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	3
TOTAL	39	18	14	15	25	13	27	19	33	15	20	25	26	18	36	19
MODELO	B	A	A	A	B	B	A/B	B	C	C	C	C	D	C/D	D	D

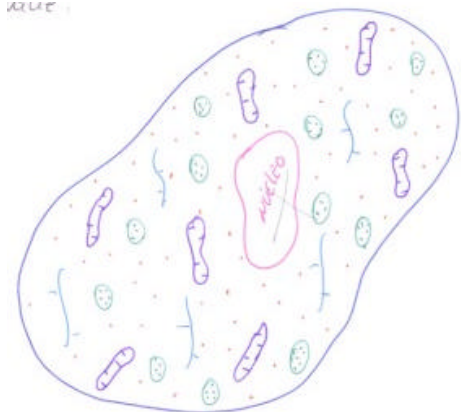
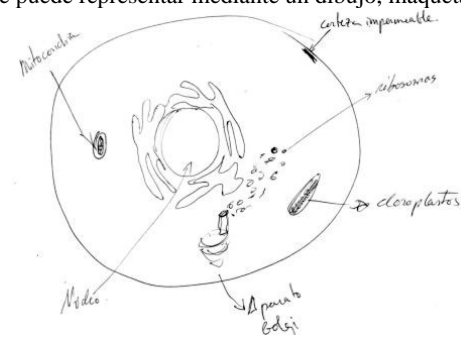
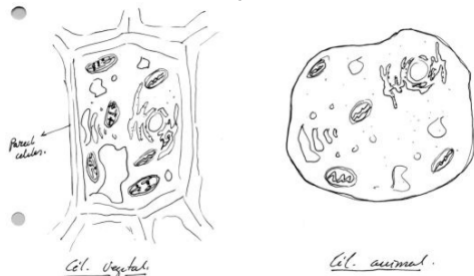
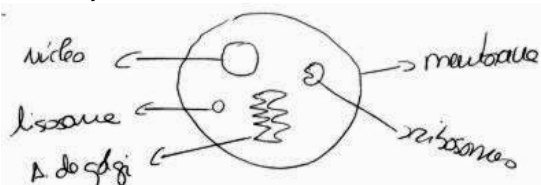
Tabla nº 5. Número de conceptos utilizados por los jóvenes encuestados en ambas ocasiones, así como modelo mental atribuido a las mismas.

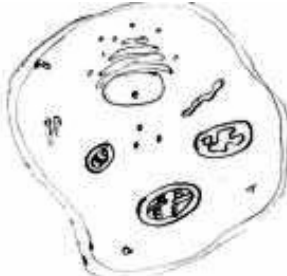
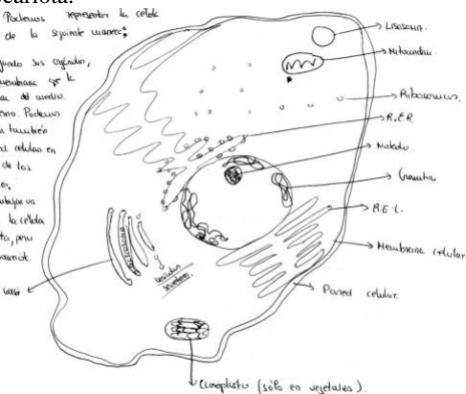
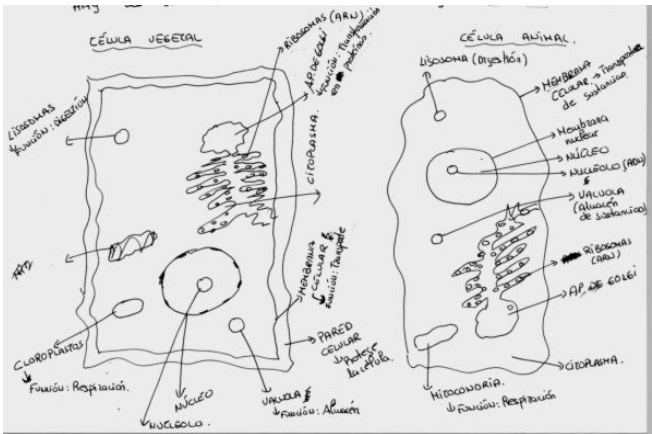


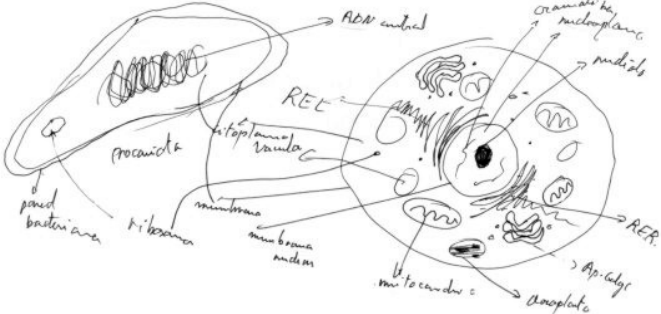
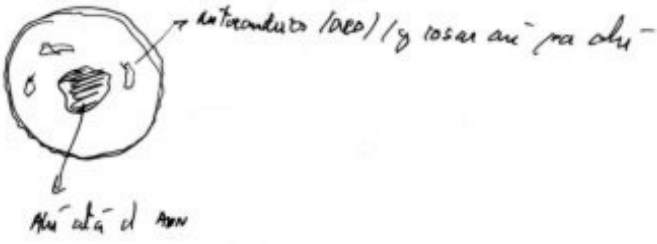
	Verónica		Gonzalo		Adela		Bárbara		Adelto	
	1997	2002	1997	2002	1997	2002	1997	2002	1997	2002
ELEMs. ESTR: Orgánulos	8	3	14	-	12	1	19	12	16	4
Moléculas	5	-	6	6	4	1	10	10	13	5
PROCESOS Mtbs.	3	-	-	-	5	-	15	2	1	-
Otros	-	1	1	4	1	3	6	5	1	3
CONCEPs GRALES.	3	4	8	3	7	3	13	7	9	11
OTROS CONCEPs	-	-	1	4	-	-	1	1	-	4
TOTAL	19	8	30	17	29	8	64	37	40	27
MODELO	A	A	A	B	B	B	C	C	D	C/(D)

Una vez observados los resultados en términos del modelo mental asignado en cada caso y de los conceptos utilizados en las distintas ocasiones, conviene observar las explicaciones presentadas por los jóvenes, dado que lo que constituye la fuente de datos para la interpretación son sus producciones y verbalizaciones; la Tabla nº 6 muestra las respuestas a la pregunta nº 2 del cuestionario.

Tabla nº 6. Respuestas emitidas a la preg. nº 2 del cuestionario: ¿Cómo podemos representar una célula? ¿Cómo haríamos un dibujo de la misma?

	1997	2002
Yemayá A A	<p>Para representar la célula es imprescindible el estudio de los orgánulos y estructuras que la componen. También se ha de diferenciar el tipo de célula que vamos a tratar, dependiendo de esto, estará estructurada de una (o) de otra forma y por tanto, su funcionamiento será distinto en base a la estructura.</p> <p>Para hacer el dibujo, la mayor parte de nosotros tendemos a dibujarla de forma más o menos esférica, aunque realmente no sabemos exactamente cómo es. Pero si de algo estamos seguros es de que plana no puede ser, porque si/no, no habría ninguna estructura y esto no es posible.</p>	
Verónica A A	<p>Una célula la podemos representar como una de las partes más complejas, y también le representaríamos todo el funcionamiento y la estructura de los orgánulos de la célula.</p> <p>Yo dibujaría la célula redonda (pero en tres dimensiones) con su membrana, los ribosomas, lisosomas, aparato de Golgi, retículo endoplasmático y el núcleo.</p>	<p>Podemos representar una célula dibujando un círculo, que es como casi siempre se dibuja, y poner en su interior por todo lo que está compuesto.</p>
Gonzalo A/B B	<p>Como un huevo frito, forma esférica.</p>	<p>Forma ovalada, casi circular.</p>
Pío B B	<p>La célula es muy pequeña, de forma más o menos circular (en la animal) y poliédrica (en vegetal) en eucariotas; en procariotas no sé (no tiene núcleo definido, faltan orgánulos, ...).</p>	<p>La célula se puede representar mediante un dibujo, maqueta, etc.</p>
Adela B B	<p>La célula la podemos representar como una esfera (en cuanto a la forma) que posee volumen.</p> <p>A través de un estudio microscópico podemos determinar que está constituida por diversos orgánulos los cuales realizan funciones para el mantenimiento de la vida celular.</p> <p>Realmente para representar una célula no basta con un dibujo pues existen varios tipos diferentes.</p> <p>En el dibujo están representadas solamente las células eucariotas (animal y vegetal).</p>	<p>Sería una figura flexible, que pudiera adaptarse a sus distintos cambios; así como en su estado turgente tendrá una forma que cambiará cuando se vacíe.</p>



	1997	2002
Yamila C C	<p>Sin una forma determinada. Rodeada por una membrana que la protege del medio externo. En su interior orgánulos inmersos en una sustancia llamada citoplasma y con una red de filamentos proteicos que le proporcionan estabilidad: el citoesqueleto.</p> 	<p>Para representar una célula hay que tener en cuenta las características estructurales y funcionales que la hacen funcionar como tal. Sin embargo, hay muchos tipos de células, con lo que no hay una única representación o un único modelo de célula que sea aplicable para poder explicar su funcionamiento.</p>  <p>Podría ser un ejemplo de célula vegetal.</p>
Bárbara C C	<p>Dibujando sus orgánulos, su membrana que la separa del medio externo. Podemos dibujar también la pared celular en el caso de los vegetales. Podemos dibujar un núcleo, si la célula es eucariota, pero no si es procarionta.</p> 	<p>Hay dos tipos de célula: la animal y la vegetal.</p> 
Amadeo D D	<p>Una célula es polimorfa, puede ser de diferentes formas, porque no todas las células realizan la misma función, para ello están los mecanismos de diferenciación celular.</p> 	<p>Una buena representación de una célula no sería una foto plana porque en la célula hay mucho movimiento y, además, una mejor representación sería tridimensional.</p> 
Adelto D C(D)	<p>De mil maneras. La célula puede tomar millones de formas según el tipo, función, ... Es una de sus características más importantes. El dibujo sería el típico: la procarionta sin núcleo ni sistema de endomembranas, y la eucariota, con todos los orgánulos y "redonda".</p> 	<p>La forma "típica" es circular, más o menos, aunque realmente haya gran diversidad; la representamos con sus partes: núcleo, corteza y lo de en medio.</p> 

Se observa también con estos datos una diferenciación progresiva en las respuestas según el modelo mental asignado (recuérdese que se ha atribuido un modelo mental al cuestionario completo como fuente de datos); el grado de incorporación y de asimilación de sus elementos constituyentes - tanto estructurales como funcionales- y, por tanto, la atribución de significado más o menos aceptado desde el punto de vista biológico, es diferente, siendo más pobre y limitado en términos explicativos cuando se construye un modelo mental A o B que cuando se genera un modelo mental C o D. Como consecuencia de ello, son también más restringidos los elementos que se preservan en la estructura cognitiva, de modo que también a largo plazo esas explicaciones tendrán que ser pobres e insuficientes, como muestran los datos aportados por estos jóvenes. De ello se deduce que su aprendizaje ha sido desigual.

La Tabla nº 7 presenta las respuestas a otra de las preguntas del cuestionario; en ella se pone de manifiesto la capacidad explicativa de estos estudiantes en ambas ocasiones, así como su poder predictivo en términos de las posibilidades de inducción y de inferencia relativas a la interacción estructura/función de la célula. Obsérvese que se sigue hablando de características que son propias de los modelos mentales como Johnson-Laird afirma (1983), que es lo que estas personas han construido en ambas ocasiones como representaciones o modelos de trabajo. De nuevo se puede ver tanto en una como en otra fecha que, efectivamente, hay un modo diferenciado en la profundidad con la que se expresan las explicaciones aportadas, que guarda relación con la construcción de modelos mentales más o menos estructurales o causales, de tal modo que cuando estas personas son capaces de generar modelos más integrados (próximos a lo que la docencia formal establece como significado del concepto célula), muestran o evidencian explicaciones también más causales y consistentes.

Pero la Tabla nº 7 no atestigua sólo eso sino que evidencia también invariantes en las respuestas emitidas; algunos ejemplos de ello nos los ofrecen Yemayá (microscópica), Verónica (membrana, núcleo y orgánulos/elementos), Yamila (medio externo), Bárbara (ADN) o Adolto (medio); Verónica, Pío o Amadeo son ejemplos, también de respuestas similares en ambas ocasiones, no tanto en lo que a conceptos se refiere, sino a la forma de organizar su respuesta. La Tabla nº 8 da muestras de esos modos diferenciados en algunos extractos de las entrevistas realizadas.

## **Análisis y discusión de resultados**

Los datos anteriores muestran que estos jóvenes generaron en su momento (cinco años atrás) un conocimiento relativo a la célula como concepto científico, utilizando como fuente los modelos mentales que construyeron a lo largo de ese curso escolar frente a las actividades y tareas que realizaron con este contenido académico. Algo de todo eso debió quedar formando parte de sus estructuras cognitivas porque, de no ser así, no se podría explicar que ante esta nueva demanda hubiesen podido hacerle frente de nuevo a la exigencia planteada, de tal modo que aquellos modelos mentales se han constituido en la fuente de ese conocimiento. ¿Pero cómo puede explicarse la estabilidad de estas respuestas transcurrido tanto tiempo? Como queda de manifiesto, hay una forma invariante en la organización de las conductas plasmadas por los jóvenes estudiados que los ha llevado a la uniformidad e identidad detectada en sus respuestas; hay en las mismas algunos elementos invariantes que determinan la estabilidad observada y que condicionan el modelo mental que como representación de trabajo construyen estas personas en esta nueva ocasión.



Tabla nº 7. Respuestas emitidas a la preg. nº 4 del cuestionario: ¿Qué le hace falta a una célula para serlo? ¿Qué le hace falta para ser físicamente una célula? ¿Y para funcionar como una célula?

	1997	2002
Yemayá A A	Para ser una célula, hay que tener todos los orgánulos y estructuras que la componen y además realizar el metabolismo celular. Para ser físicamente una célula necesita además de lo anterior, que sea microscópica y por supuesto con volumen. Por último, para funcionar como tal, tiene(n) que haber distintas interacciones entre los principios inmediatos, además de todo lo anterior.	Le hace falta que esté formada por muchísimas moléculas que estén en continuo movimiento y además que sea muy pequeña. Para funcionar como una célula debe ser microscópica y realizar las funciones de: reproducción, relación y nutrición.
Verónica A A	A una célula para serlo le hace falta la membrana y también un núcleo. Para ser físicamente una célula, ésta tiene que tener orgánulos, y para funcionar como una célula ésta debe tener un núcleo y unos orgánulos que realicen también parte del funcionamiento * (esta respuesta es prácticamente igual que la dada el día 22-10-96).	Tiene que tener una membrana para ser físicamente una célula, un núcleo para funcionar como ella. Y para serlo le hace(n) falta todos los elementos, creo que tanto para serlo como para funcionar.
Gonzalo A/B B	Orgánulos, ácidos nucleicos, glúcidos, lípidos, proteínas(.) Poseer una estructura determinada. Una composición y estructura específicas. Que los orgánulos realicen sus funciones de forma correcta.	A mi modo de ver no necesita nada, pues respecto a su forma y su funcionamiento no necesita de nada para ser mejor. Hay algunos elementos externos que están totalmente relacionados con su funcionamiento: oxígeno, agua, nutrientes. Éstos intervienen directamente en el funcionamiento de la célula. La respuesta a la pregunta es algo contradictoria, quizás por el punto de vista que tengo de la célula, como un elemento complejo.
Pío B B	La célula necesita todo(s) sus orgánulos (membrana, núcleo, mitocondrias, cloroplastos (vegetal). La célula necesita alimentarse (nutrirse), relacionarse con el medio y reproducirse para que haya(n) nuevas células. Necesitará tanto principios inmediatos orgánicos como principios inmediatos inorgánicos.	Le hace falta un núcleo, una corteza, una serie de elementos capaces de reproducirse, crecer, ... Para ser físicamente una célula ..., ..., ... Para funcionar como una célula le hace falta algo que la mantenga viva (que pueda crecer) y que pueda reproducirse.
Adela B B	Ser una estructura fundamental, compuesta de orgánulos que realicen reacciones metabólicas; que además esté compuesta por una o dos membranas (según el tipo de célula que sea) y que tenga agua y sales minerales. Estar compuesta de estructuras de menos tamaño que le ayuden a vivir. Desarrollar reacciones químicas, síntesis de moléculas, destrucción de moléculas orgánicas.	Un núcleo, como "centro" que organice todo su funcionamiento, así como todos los componentes que forman su estructura. Tener forma flexible y adaptable. Creo que lo más importante es el núcleo, pero no recuerdo (creo que no), podría funcionar sin el resto de sus componentes.
Yamila C C	Para ser una célula tiene que contener orgánulos o moléculas (ADN) que contengan el código genético que actúen como centro organizador de la célula y que garanticen su reproducción. Tiene que poseer numerosos orgánulos que realicen una actividad propia que proporcione a la célula lo necesario, como energía química, para su funcionamiento. Para funcionar como una célula tendría que poder realizar el metabolismo por medio del cual pudiera degradar o sintetizar la materia necesaria para su funcionamiento. Tendría que ser dependiente del medio externo, ya que éste le proporciona lo necesario para sobrevivir. (incluyendo relación con otras células).	Una célula es célula si funciona como tal, si está compuesta por unos orgánulos y elementos característicos para sus funcionamientos, material nuclear, y una membrana que los envuelva. También es célula si para funcionar se relaciona con el medio (externo) en el que se encuentra.
Bárbara C C	A la célula le hace falta una membrana que la separe del medio externo pero que sea semipermeable para que puedan pasar sustancias a su interior y puedan salir las resultantes del metabolismo. Le hace falta información genética y por tanto el ADN, para que pueda haber descendencia y porque además el ADN es como un código, el código genético que contiene la información para la síntesis de proteínas y otras funciones de la célula.	La célula tiene que tener una estructura. Dicha estructura consta de una membrana, un citoplasma y un núcleo. Hay células que no tienen núcleo. Para poder funcionar necesita el ADN que organice a la célula y determine sus características. Todas las células no tienen la misma estructura. Hay diferencias entre la vegetal y la animal. Por ejemplo, la vegetal tiene pared celular y cloroplastos. Por otra parte hay células que no tienen núcleo, se trata de seres vivos menos complejos, se trata de microorganismos. Por lo tanto, para que una célula lo sea yo creo que lo principal es el ADN, el cual ya se encarga de determinar cómo debe ser esa célula.
Amadeo D D	Para ser físicamente una célula debe ser una estructura que esté compuesta por unos elementos característicos y que se organicen de una forma determinada. Para funcionar como tal debe ser capaz de transformar la energía y la materia de tal forma que vaya en contra de la entropía, y así puede realizar las tres funciones vitales (nutrición, reproducción, relación).	Para ser una célula físicamente le hace falta materia orgánica e inorgánica y diferentes organizaciones de la misma. Para funcionar como una célula hace falta que dichas organizaciones se relacionen para ser capaces de realizar sus funciones.
Adelto D C/(D)	A la célula le hace falta MATERIA y ENERGIA para "SER" física y fisiológicamente. Físicamente, necesita tanto moléculas orgánicas como inorgánicas (lípidos, agua, sales, ...) y fisiológicamente necesita "combustible", que a veces es ATP, nucleótidos no nucleicos (FAD, NAD, ...) que actúen como coenzimas, enzimas, ... y agua, para poder llevar a cabo el metabolismo en este medio.	La célula necesita al núcleo, su información genética, ¿ácido nucleico en el núcleo?, para ser físicamente necesita una constitución (de proteínas creo recordar); creo que físicamente se apoyaba en proteínas; y para su funcionamiento necesita "los centros de fabricación", como las mitocondrias, algunos f(c)ilios (creo que se llamaban así) en la corteza para comunicarse con el medio. Para funcionar necesitaba interactuar con el medio, tomar y dar al medio (yo sé que es extraño, pero lo que más se me quedó fue la interacción con el medio: necesita y lo necesitan).

Tabla nº 8. Extractos de las entrevistas realizadas a cuatro de los jóvenes.

	1997	2002
Yemayá A A	<p><b>ML</b> : ¿célula ?</p> <p><b>Yemayá</b> : ..., ..., ¿célula ?</p> <p><b>ML</b> : sí.</p> <p><b>Yemayá</b> : ¡jeeehhh ! ... .</p> <p><b>ML</b> : ¿qué imagen tienes en este momento en la mente ?</p> <p><b>Yemayá</b> : ... algo impresionante porque hace un montón de cosas, es ... un rebujón enorme.</p> <p><b>ML</b> : unn rebujón.</p> <p><b>Yemayá</b> : pero que tiene orden.</p> <p><b>ML</b> : que tiene orden. A ver, descríbeme lo que estás viendo, descríbeme lo que estás viendo ; puedes coger de fuera a dentro, de dentro a fuera, tú ve describiéndome la imagen que tienes en este momento en la cabeza. ... ¿Qué imagen tienes ?</p> <p><b>Yemayá</b> : que todo está en movimiento.</p>	<p><b>ML</b>: te sugiere luz. ¿Entropía?</p> <p><b>Yemayá</b>: ..., ..., ..., ... disparte, necesnn, no sé ... mucha mezcla deee colores o mezcla de movimientos.</p> <p><b>ML</b>: eso es lo que estás viendo en este momento.</p> <p><b>Yemayá</b>: sí, que no tienn, ... sí, que, que se tropiezan, que no tienen ningún destino.</p> <p><b>ML</b>: ¿célula?</p> <p><b>Yemayá</b>: mmm, célula pues muchas cosas pequeñitas todas en movimiento ... y nada, muchos colores [...].</p> <p><b>ML</b>: descríbeme lo que estás viendo.</p> <p><b>Yemayá</b>: estoy viendo un montón de dibujos pequeños que están en continuo movimiento eee ... .</p> <p><b>ML</b>: ¿tienen alguna forma definida?</p> <p><b>Yemayá</b>: ..., ... no.</p>
Pío B B	<p><b>ML</b> : {...}¿Célula ?</p> <p><b>Pío</b> : una cosa minúscula.</p> <p><b>ML</b> : una cosa minúscula, descríbemela, por favor. ... mmm señales, [...] a ver, descríbeme lo que estás viendo en tu mente.</p> <p><b>Pío</b> : ¡ahjhj ! una cosa redondeada que tiene un montón de partes ... un núcleo, todos los componentes esos deee, lo normal.</p> <p><b>ML</b> : lo normal.</p> <p><b>Pío</b> : lo de siempre. [...] claro, sí.</p> <p><b>ML</b> : a ver, esa imagen que me estás describiendo ¿es estática, es como una foto o es dinámica ?</p> <p><b>Pío</b> : estática. [...] un dibujo ... .</p>	<p><b>ML</b>: no estás equivocando el concepto. Célula.</p> <p><b>Pío</b>: una cosa chiquitita así redonda, esférica.</p> <p><b>ML</b>: esférica. [...] ¿qué es? ¿la estás viendo desde fuera?</p> <p><b>Pío</b>: ... ¿cómo que desde fuera? No sé.</p> <p><b>ML</b>: ¿desde fuera o estás dentro de la célula?</p> <p><b>Pío</b>: no, desde fuera.</p> <p><b>ML</b>: desde fuera. ¿Qué aspecto tiene?</p> <p><b>Pío</b>: yo qué sé, la veooo esférica.</p> <p><b>ML</b>: esférica.</p> <p><b>Pío</b>: como siempre, lo de todo el mundo la hace, la hace esférica.</p> <p><b>ML</b>: ¿está quieta?</p> <p><b>Pío</b>: sí, la tengo ahí ... es que como se mueva, le doy. [...] sí, ¡jeje!</p> <p><b>ML</b>: ¿pero no se mueve?</p> <p><b>Pío</b>: no.</p>
Yamila C C	<p><b>ML</b> : ¡aja !. entonces, ¿en ese modelo que tú tienes de célula estás reflejando tanto su estructura como su funcionamiento ?</p> <p><b>Yamila</b> : sssí.</p> <p><b>ML</b> : ¿en qué sentido estás reflejando en ese modelo que me describiste antes de célula el funcionamiento ?</p> <p><b>Yamila</b> : ... pues en el, cuando me refiero a movimiento, me refiero a su funcionamiento al, al, al pase de moléculas de un sitio a otro, el, ¡aaahhh ! pues mandándose ..., sí ¡eh ! me imagino que están realizando el metabolismo celular, todos los procesos y.</p> <p><b>ML</b> : ¡aja ! ¿Ha cambiado algo tu modelo de célula desde el principio de curso hasta ahora ? ¿tu idea de célula ?</p> <p><b>Yamila</b> : sí.</p> <p><b>ML</b> : ¿sí ? ¿en qué ?</p> <p><b>Yamila</b> : sí porque, por ejemplo, antes yo nooo, no, no me imaginaba la célula ¡tch ! me imaginaba la del libro, la que vemos en ... el dibujo de la célula pero ... tampoco tenía idea de, de lo que hacían unos orgánulos u otros sino ... unam ig, estática. [...] por así, por así decirlo.</p> <p><b>ML</b> : te la imaginabas estática, como una imagen fija.</p> <p><b>Yamila</b> : sí.</p> <p><b>ML</b> : ¡ah ! ¿y ahora no ?</p> <p><b>Yamila</b> : no, ahora no.</p>	<p><b>Yamila</b> : ¡explicarles la estructura!, ..., ..., yo supongo que empezaría explicándoles ..., ..., de forma general no la definirí, no la definiría primero porque ... yo creo que la célula más o menos se entiende lo que es después de haber visto estructuras externa, interna de toda la célula yyy lo queee, la importancia ... [...] que tiene.</p> <p><b>ML</b>: no la definirías de entrada y ¿qué harías?</p> <p><b>Yamila</b>: yo supongo que lo más fácil es siempre poner algo visual ... es enseñar algún ... tipo de dibujo, pero siempre ... explicando muchos ejemplos. [...] sí ... y que como no todo es un modelo único ..., ... que no tenemos un modelo único de célula, que no es esto es una célula y todas las células ... sino que.</p> <p><b>ML</b>: ¡ah!, ya te entiendo, me llamaba la atención antes.</p> <p><b>Yamila</b>: hay un conjunto.</p> <p><b>ML</b>: si te dijera: explica también el funcionamiento, ¿cómo organizarías la clase?</p> <p>[...]</p> <p><b>Yamila</b>: probablemente ... explicando también ..., ... a niv, a nivel general para el resto de las células ... poniendo como ejemplo, pues, el resto de los seres vivos o funciones generales.</p>
Amadeo D D	<p><b>ML</b> : pero es un modelo que atiende a la estructura ¿no ? Si yo te dijera ¡aaahhh ! ¿Tienes un modelo ... que atiende al funcionamiento ?</p> <p><b>Amadeo</b> : ... ¡mmm ! sí, sí, más o menos ; sí como unnn camino queee, que recorre todo, todas las sustancias ¿no ? ... .</p> <p><b>ML</b> : ¿ese modelo es gráfico ? ¿gráficamente estás viendo en tuuu.</p> <p><b>Amadeo</b> : sí.</p> <p><b>ML</b> : en tu mente ?</p> <p><b>Amadeo</b> : por ejemplo, yo sé que ... como eeennn ... en los ribosomas se sintetiza, se sintetizan las proteínas ... a partir deee, del catabolismo de todos los nutrientes ¿no ? ... para obtener loos, sí, como las laas sustancias más simples, entonces en eeeell, en el los ribosomas se sintetizan las proteínas con la información que llega del núcleo, de lo, del ADN, de, esas proteínas pasan aal retículo donde se almacenan ... y seee [...] después pasan al aparato de Golgi donde se, como que se empaquetan todas las que son de la mismaa o tienen la misma función para ser ... secr, ¡jeeehhh ! secretadas o, o al, o al exterior, al exterior paraaa ... o eeennn la propia ... célula para realizar la, la digestión celular.</p> <p><b>ML</b> : me estás contando un montón de cosas de funcionamiento ; esas cosas de funcionamiento están en tu mente.</p>	<p><b>Amadeo</b>: eh, a la imagen queee, que tenemos, a lo que es la imagen sí porque es la, la imagen que se te queda grabada; es el, es lo más que ves ..., no sé, porque es que yo, yo es que tengo ... por un lado la imagen y por otro, una vez que te pones a pensar, tal vez el concepto de célula sería, no sería lo mismo que la imagen que tienes de célula. [...]</p> <p><b>Amadeo</b>: ... pues a ver, es una organización eh, mmmaaa, aquí habría materia y es la mmm, la mínima organización de un ser vivo mediante el cual pues puede mantener su, su organización global, ¿no?, y entonces ... mmm la célulaaaa, la célula realiza las tres funciones vitales que habíamos mencionado, ¿no?, y entonces aquí hayyy, porque esto de aquí me parece que son los mitocondrias, ¿no?, lo que siempre se te queda más grabado la formita que tenían, que es donde se rea, donde se obteníaa la energía, los ATP mediante una cadena de, de reacciones químicas, se iba liberando esa energía. Después, eso con respecto a la, a la obtención de, de la energía ... después aquí, aquí no se ve laaa, la membrana, ¿no?, la membrana de fuera no se ve; sería laaa parte de la célula por la cual se relaciona con otras células pero en sí toda la materia que hay dentro de una célula también se tendría que relacionar, pero eso ... habrían, yo veo como que habrían varios tipos de relación.</p>

El aprendizaje del concepto célula que se generó en estas nueve personas ha sido desigual, evidenciándose que efectivamente se tienen dificultades en este proceso que no siempre resulta exitoso si atendemos al significado de célula que se pretendía enseñar y al que estos estudiantes le

han atribuido; como puede observarse en los resultados obtenidos, las respuestas no siempre son científicamente aceptadas, lo que da muestras de que la docencia ejerció en su momento una pobre influencia en una parte del alumnado, como Osborne y Freyberg (1991) expresaban. De hecho, se detectan obstáculos epistemológicos, que han actuado como un freno a la hora de incorporar e interiorizar aspectos funcionales de la célula o su integración con las estructuras que los realizan y soportan, en aquellas personas que operan mentalmente con modelos mentales A, B o intermedios en el sentido expuesto por Pozo y Gómez Crespo (1998) y Pozo (1999). Estos obstáculos guardan relación con pautas invariantes en los modos de respuesta y en las conductas (las formas de hacer los dibujos, por ejemplo) que en estas personas manifiestan una concepción parcial del contenido trabajado.

Es un hecho, pues, que aprender el concepto célula es un problema de difícil solución, a juzgar por la bibliografía consultada y por los datos obtenidos, como lo es, también, que para superarlo, se requiere un mayor conocimiento de los procesos cognitivos que el alumno pone en juego para lograrlo. Abordar estos procesos desde la perspectiva de las representaciones, tanto episódicas como a largo plazo, permite comprender dichos procesos y, por ende, establecer las estrategias adecuadas para que ese aprendizaje sea eficaz. Las explicaciones generadas por los jóvenes que han ejecutado modelos mentales C o D dan signos de que se hayan establecido en sus estructuras cognitivas las interacciones y correlaciones que justifican una célula integrada, causal, no sólo una estructura; sus representaciones episódicas incorporan elementos celulares, sus propiedades/características y sus interacciones. No ocurre así con los jóvenes que operan mentalmente sólo con estructuras celulares o con éstas por un lado y con funcionamiento por otro, de manera independiente. Una vez determinado el mecanismo mental por el que se piensa en la célula, la docencia deberá proporcionar situaciones que propicien la integración de todos esos elementos y, por lo tanto, faciliten la construcción de modelos mentales integrados más acordes con lo que la Biología de vanguardia establece que es una célula.

De los resultados obtenidos se desprende que efectivamente estos nueve jóvenes han construido una representación mental de célula como modelo de trabajo ante la demanda que se les ha planteado. Aun a pesar de haber transcurrido un largo periodo de tiempo sin tener contacto con contenido biológico alguno en términos académicos, ya que han seguido trayectorias diferentes a la científica, han generado un modo cognitivo de conceptuar la célula que da cuenta de la comprensión que tienen de este concepto biológico; han construido un modelo mental de célula tanto en una como en otra ocasión, que se deduce, como inferencia, de lo que estas personas exteriorizan textual, gráfica y verbalmente. Han elaborado modelos mentales de célula que son representaciones que se generan en el momento, para hacerle frente a la demanda solicitada. Tanto en una como en otra fecha (1997 y 2002, cuestionario y entrevista, en su caso) estos jóvenes han ejecutado un modelo mental como modo de hacerle frente al requerimiento hecho de pensar en este concepto biológico como mundo real, ante la imposibilidad de aprehenderla directamente. Pero ¿qué es lo que ha hecho que después de tanto tiempo sin estar en contacto con este contenido científico -escolar- hayan podido hacerlo en esta nueva ocasión? ¿Por qué ha perdurado, al menos, esa posibilidad de hacerlo? ¿Qué es lo que hay en sus estructuras cognitivas que ya no es un modelo mental, porque actúa en la memoria episódica, pero que sí que les permite generarlo o ejecutarlo nuevamente y a lo largo del tiempo?

El procedimiento de análisis seguido determina modelos mentales porque se planificó consistentemente con la Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird; se delimitan en el mismo tres niveles destinados a la selección de conceptos, a su uso y a la utilización de imágenes y, en su caso, naturaleza de las mismas, lo que justifica el soporte de la indagación en la construcción de posibles y diferentes modelos mentales de célula. 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.

Pero esa simple selección no nos sirve de mucho si no se analiza su utilización (2º nivel), b 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. Y, por último, 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. Una esquematización de este procedimiento se ha presentado en la Fig. nº 1.

Cabe preguntarse por qué se entiende que las representaciones halladas son modelos mentales; el protocolo seguido para su indagación, como se expresa en el párrafo anterior, es consistente con los planteamientos teóricos de Johnson-Laird y se desprende de los mismos. Existen una serie de rasgos, atributos y características que se le asignan desde esta perspectiva a los modelos mentales que los resultados obtenidos muestran. Estos modos de representación se consideran modelos mentales 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 de construirse y de evolucionar; 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 (Rodríguez, 2000 b; Rodríguez, Marrero y Moreira, 2001).

Y esos modelos mentales se han seguido tipificando del mismo modo. En ninguno de los casos hubo silencio o respuestas en blanco en esta ocasión; las nueve personas, a pesar del tiempo transcurrido, han sido capaces de expresar, de exteriorizar algo que se relaciona con el concepto “célula”, de tal modo que se concluye, nuevamente, que algo al respecto existe en sus estructuras cognitivas. Pero ese algo es distinto; otra vez nos encontramos con modos de pensar en la célula sólo estructurales (modelo mental A), duales (modelo mental B), integrados y causales pero sin el uso de imágenes (modelo mental C) o imagísticos (modelo mental D). Los modelos mentales se caracterizan por su funcionalidad y ello se debe a su carácter recursivo. Debe ser esa recursividad lo que le ha permitido a estos jóvenes retrotraerse en sus estructuras cognitivas y rescatar de ellas aquello que requerían para enfrentarse a la demanda solicitada. Algunos elementos hay en esas estructuras que les han supuesto aprendizaje, algo han construido en su momento que les ha permitido seguir dando cuenta de la entidad celular. Si bien es cierto que los modelos se generan en el momento, algo de ellos ha perdurado en las mentes de estas personas; algunos de los elementos y rasgos de los que construyeron hace ya cinco años se han constituido como esquemas cognitivos interpretativos que todavía hoy les siguen siendo útiles.

De los datos aportados se deriva otra conclusión interesante: se observa una disminución general en el número de conceptos utilizados que es importante y significativa en lo que se refiere al uso de conceptos específicos, tales como orgánulos, moléculas o procesos metabólicos. La razón de esta disminución en el uso es bastante obvia si se tiene en cuenta la ausencia total de contacto académico con este contenido escolar, si bien hemos de admitir que el conocimiento biológico forma parte de la vida cotidiana y así se refleja, pro ejemplo, en los medios de comunicación; pero aun así, se exteriorizan en todos los casos explicaciones consistentes y psicológicamente coherentes que echan mano de un mayor número de conceptos generales. De lo anterior se desprende que esos conceptos generales constituyen elementos importantes y necesarios para la comprensión de lo que es una célula, dado que facilitan la atribución de significado científico (biológico en particular). Conceptos como materia, energía, entropía, forma, estructura, funcionamiento, interacción, relación, medio, organización, etc, algunos de los cuales son científicos pero no específicamente considerados biológicos y otros son cotidianos, están ejerciendo, por lo que se ve, una influencia

grande en la conceptualización de la célula y, por lo tanto, puede concluirse que forman parte de su campo conceptual.

Realmente se ha producido un aprendizaje en estas mentes que se mantiene a lo largo del tiempo con poder explicativo y predictivo aunque no lleve aparejado un uso abundante de conceptos específicos. Esos poderes explicativos y predictivos, esa comprensión, en suma, están constituyendo piezas cognitivas que se siguen usando del mismo modo, a juzgar por los datos obtenidos, como ya se comentó. Lo que se preserva es una representación (esquema) que da pie a que ante una nueva situación, incluso pasado mucho tiempo, se ejecute un modelo mental similar a aquél último con el que se trabajó. Esto significa que el aprendizaje se produce por un proceso que supone un conjunto de representaciones episódicas -modelos mentales- que van incorporando elementos a una representación más estable que opera en la memoria de largo plazo -esquema- como invariantes operatorios del mismo. Son esos invariantes los que se manifiestan nuevamente y del mismo modo en la nueva situación y por eso es comprensible que los modelos mentales que generan en la misma sean los mismos en un número tan significativamente alto de personas como el que muestran los datos.

No obstante, parece desprenderse también de los resultados que las situaciones ofrecidas a los estudiantes no fueron significativas para todos ellos o, al menos, lo suficientemente eficaces como para que todos ellos reestructuraran su concepto de célula en el sentido deseado. Para Vergnaud (1993) las situaciones ejercen un papel esencial en los procesos de conceptualización de lo real; son éstas las que conforman la conceptualización y, por tanto, el aprendizaje. La comprensión y la conceptualización de célula está demandando, pues, nuevas situaciones que posibiliten en el alumnado ese proceso; se derivan, pues, importantes consecuencias pedagógicas, ya que la docencia debe procurar que esas situaciones sean más eficaces.

¿Por qué estas entidades mentales que han permanecido estables se entiende que son esquemas de asimilación? Porque según Vergnaud (1990), los esquemas son las estructuras cognitivas que generan la asimilación y la acomodación mental de los individuos; estas personas han podido asimilar esta nueva situación y acomodarse a ella porque tienen una conceptualización implícita referida a la célula que les ha permitido dar cuenta de la misma nuevamente. Además, han respondido de modo similar a como lo hicieran tiempo atrás, de tal manera que, efectivamente, es una forma estructural de su actividad, de su respuesta, hasta el extremo de que se han detectado incluso los mismos modos de organizarla. Esto es posible porque se han construido mentalmente esos esquemas y lo es, también, porque contienen invariantes operatorios, algunos de los cuales se han ejemplificado en los datos obtenidos.

En cada una de las dos situaciones contrastadas, estas personas han construido una representación mental de célula, ante la demanda planteada, un intermediario que han generado como modelo de trabajo, en el momento; pero esos modelos mentales “se parecen” mucho en ambas fechas teniendo, como se ve en las respuestas emitidas por estos jóvenes una serie de rasgos o pautas invariantes; son elementos, detalles y signos que se usan tanto en uno como en otro momento y lo hacen del mismo modo.

No parece suficientemente explicativo aceptar que esta similitud en el modo de hacerle frente a las preguntas y de contestarlas sea cuestión de mera casualidad, cuando son tantas las coincidencias apreciadas. Si volvemos a la Tabla nº 6, se detecta un alto grado de identidad y uniformidad, por ejemplo, en los dibujos plasmados por Pío, Adela, Yamila, Bárbara (el realizado en 1997 y la célula animal hecha en 2002), Amadeo y Adeldo; también se observa una pauta invariante en la descripción hecha por Yemayá en 1997 y su dibujo de 2002; en la insistencia del aspecto redondo y circular de Verónica o esférica y circular de Gonzalo; la atención prestada por Adela a la forma; la imposibilidad de representar una forma determinada porque hay muchos tipos,

según comentan Yamila o Adolto, joven éste que entiende que hay mil maneras de hacerlo, dada su diversidad, pero que usa una forma “típica”. Son modos de actuar semejantes en ambos registros que dan cuenta de algo subyacente que condiciona su respuesta.

Los modelos mentales se construyen frente a la tarea asignada en el momento, en la hora, para poder representar el mundo, la célula en el presente caso; y es un hecho que se ha representado tanto hace cinco años como ahora. Son representaciones que tienen por objeto la comprensión de lo real, ya que dotan a los individuos de poder explicativo y predictivo; por eso permiten el establecimiento de deducciones e inferencias. Pero esos modelos mentales han actuado como fuente de representaciones más estables porque, si no es así, no podemos explicar cómo después de tanto tiempo se vuelve a representar, de modo que en sus estructuras cognitivas, estos jóvenes han preservado algo de ese contenido trabajado tiempo atrás que les permite dar cuenta de la misma entidad en esta nueva situación. El modo de hacerlo, la representación generada, el modelo mental en suma, también y al mismo tiempo, además de ser fuente de ese esquema cognitivo, se ve condicionado por el mismo, dado su carácter de estabilidad, de tal modo que determina o influye el modelo mental que se construye, ya que contiene los invariantes operatorios ya citados que condicionan la conducta o respuesta.

Resulta difícil explicar de otro modo la gran regularidad observada en los datos relativa al modelo mental detectado en 1997 y en 2002. Como se ha puesto de manifiesto, en todos y cada uno de los sujetos contrastados en esta nueva ocasión se han podido encontrar algunas pautas de respuesta que son similares en ambas ocasiones; son modos de actuar que constituyen invariantes operatorios desde la perspectiva de Vergnaud (1983 a y b). Pero los esquemas de asimilación, dado su carácter de estabilidad y su “localización” en la memoria de largo plazo, no son entidades mentales dinámicas que permitan explicar y predecir de modo inmediato y de manera funcional; éstas son, como se ha expuesto, características de los modelos mentales.

Una forma de entender cómo se ha desarrollado la cognición en lo que al concepto célula se refiere es considerar que estas personas generan modelos mentales relativos a la misma como intermediarios, ante las situaciones en las que se les enfrenta con este contenido; esos modelos, como hemos tenido ocasión de comprobar, responden a diferentes grados de incorporación y asimilación dependiendo de la relevancia asignada a los conceptos presentados y trabajados y, en cualquier caso, manifiestan la funcionalidad que los caracteriza, permitiendo al sujeto inferir y deducir. Ante situaciones similares, se va alcanzando progresivamente dominio, dado que se recurre a algunos elementos considerados, nuevamente, relevantes por un proceso de revisión recursiva; de este modo, se interiorizan constituyéndose en invariantes operatorios característicos de los esquemas de asimilación construidos. Estos esquemas, una vez constituidos, y teniendo en cuenta su carácter de perdurabilidad, se activan ante una nueva situación y, como es lógico, lo harán de modo similar, lo que justifica los resultados obtenidos.

Así, se establece una relación dialéctica entre modelos mentales como representaciones episódicas y esquemas como representaciones que trabajan en la memoria de largo plazo, de tal modo que los modelos mentales favorecen la formación de esquemas de asimilación y, al mismo tiempo, éstos condicionan los modelos mentales que se construyan. Cabe aun una consecuencia más: no será posible modificar los esquemas si no se reestructuran los modelos mentales de los que se nutren; estos modelos son dependientes de las situaciones en las que se generan y no tendrán esa posibilidad de reestructuración si se construyen sólo puntualmente o si no obligan a incorporar nuevos elementos que puedan constituirse en invariantes operatorios. El aprendizaje de conceptos científicos requerirá, por tanto, la toma de contacto del sujeto con múltiples ocasiones y situaciones en las que tenga que resolver problemas y enfrentarlas, de manera que pueda ir construyendo progresivamente los conceptos que va a ir necesitando para superarlas. ¿Habría que hablar, desde esta perspectiva de cambio conceptual? ¿Sería un cambio representacional? Parece apuntarse hacia

una visión más sencilla y cognitivamente eficaz que tiende a considerar el aprendizaje como resultado de la interacción adecuada entre un modo de representación episódica y otro que opera en la memoria de largo plazo.

La comprensión de un concepto científico supone la construcción de un modelo mental, como Nersessian (1992) plantea; pero ese aprendizaje requiere algo más, como se acaba de señalar. Los modelos mentales actúan en la memoria episódica y, por lo tanto, no podrían dar cuenta de los datos obtenidos al transcurrir el tiempo, aun a pesar de su carácter recursivo. Recuperar información estable que se ha trabajado cinco años atrás -como hemos visto que estas personas son capaces de hacer- es hablar de entidades cognitivas que ya no sólo operan en la memoria episódica, sino en la memoria a largo plazo; es una competencia que capacita la adaptación y eso es un esquema. Para Vergnaud (1996 b), la conceptualización de lo real se lleva a cabo a través de las situaciones que nos vemos obligados a enfrentar y dominar. El aprendizaje de conceptos científicos supone, consistentemente con lo anterior, la generación o vivencia de un conjunto de situaciones que obliguen a construir modelos mentales; en ese proceso progresivo de dominio se establecen invariantes operatorios, rasgos comunes que van formando parte de estructuras más sólidas y estables, que son los esquemas. Así, se produce una interacción entre modelos mentales y esquemas que conduce a que se produzca aprendizaje de esos conceptos científicos, como expresan Moreira (2002), Greca y Moreira (2002) y Rodríguez y Moreira (2002).

Este modo de explicar el aprendizaje de conceptos científicos tiene claras connotaciones y consecuencias pedagógicas; la docencia deberá procurar presentar al alumnado un conjunto de situaciones que generen en el mismo la construcción de modelos mentales cada vez más explicativos y predictivos, como representaciones episódicas; a partir de éstos, y por un proceso de progresivo dominio, deberá facilitar que se establezcan sus elementos fundamentales, de modo que se constituyan en esquemas de asimilación.

Cabe concluir, por tanto, que el aprendizaje de conceptos científicos, como célula, es un proceso mental complejo que supone la construcción de representaciones episódicas y en la memoria de largo plazo. Esas representaciones que operan en niveles distintos deben tener elementos y relaciones que las conecten para que el proceso sea eficaz y pueden considerarse como modelos mentales y esquemas de asimilación, contemplados desde las perspectivas de la Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird y de la Teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud. Entender y analizar la cognición humana como una propuesta global articulada en torno a estas dos teorías ofrece comprensión sobre los procesos mentales inmersos en el aprendizaje de la ciencia, lo que hace que su consideración resulte efectiva, y el presente trabajo da cuenta de ello.

## **Bibliografía**

- Brumby, M. N. (1982). Students' Perceptions of the Concept of Life. *Science Education*, 66 (4), pp. 613-622.
- Caballer, M.J. y Giménez, I. (1992). Las ideas de los alumnos y alumnas acerca de la estructura celular de los seres vivos. *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (2), pág. 172-180.
- Caballer, M.J. y Giménez, I. (1993). Las ideas del alumnado sobre el concepto de célula al finalizar la Educación General Básica. *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (1), pág. 63-68.
- Cubero Pérez, R. (1986). Estudio de los esquemas de conocimiento relativos al proceso digestivo. Actas de las IV Jornadas de Estudios sobre la Investigación en la Escuela. Pág. 139-143.
- Díaz, J. y Jiménez, M.P. (1993). ¿Ves lo que dibujas? Observando células con el microscopio. *Enseñanza de las Ciencias*, Nº Extra (IV Congreso), pág. 161-162.
- Díaz de Bustamante, J. y Jiménez Aleixandre, M.P. (1996). ¿Ves lo que dibujas?. Observando células con el microscopio. *Enseñanza de las Ciencias*, 14 (2), pág. 183-194.

- Dreyfus, A. y Jungwirth, E. (1988). The cell concept of 10<sup>th</sup> grades: curricular expectations and reality. *International Journal of Science Education*, 10 (2), pp. 221-229.
- Dreyfus, A. y Jungwirth, E. (1989). The pupil and the living cell: a taxonomy of dysfunctional ideas about an abstract idea. *Journal of Biological Education*, 23 (1), pp. 49-55.
- Eisenck, M. y Keane, M. (1991). *Cognitive Psychology: a student's handbook*. London: Erlbaum.
- Finley, F. N.; Stewart, J. y Yaroch, W. L. (1982). Teachers Perceptions of Important and Difficult Science Content. *Science Education*, 66 (4), pp. 531-538.
- Fourez, G. (1994). La construcción del conocimiento científico. Ed. NARCEA. Madrid.
- Franchi, A. (1999). Considerações sobre a teoria dos campos conceituais. En: Alcântara Machado, Silvia Dias et al. *Educação Matemática: uma introdução*, São Paulo. EDUC. pp. 155-195.
- Galagovsky, L. y Adúriz-Bravo, A. (2001). Modelos analógicos en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de modelo didáctico analógico. *Enseñanza de las Ciencias* 19 (2). Págs. 231-242.
- García Barros, S., Mondelo, M. y Martínez Losada, M.C. (1989). Planteamiento didáctico de la teoría celular en las concepciones previas de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, N° Extra (III Congreso). Tomo 1, pág. 73-74.
- Gayford, C. G. (1986). Some aspects of the problems of teaching about energy in school biology. *European Journal of Science Education*, 8 (4), pp. 443-450.
- Greca, I.M. y Moreira, M.A. (1997). The kinds of mental representations - models, propositions and images - used by college physics students regarding the concept of field. *International Journal of Science Education*, Vol, 19, n. 6, pp. 711-724.
- Greca, I. y Moreira, M. A. (2002). Além da detecção de modelos mentais dos estudantes. [http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol7/n2/v7\\_n2\\_a2.htm](http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol7/n2/v7_n2_a2.htm)
- Gutiérrez, R. (1996). Modelos mentales y concepciones espontáneas. *Alambique*. Didáctica de las Ciencias Experimentales. N. 7, pp. 73-86.
- Haslam, F. y Treagust, D. F. (1987). Diagnosing secondary students' misconceptions of photosynthesis and respiration in plants using a two-tier multiple choice instrument. *Journal of Biological Education*, 21 (3), pp. 203-211.
- Johnson-Laird, P. (1983). *Mental Models. Towards a Cognitive Science of Language, Inference, and Consciousness*. Harvard University Press. Cambridge. 513 p.
- Johnson-Laird, P. N. (1988). How is meaning mentally represented? *International Social Science Journal*, 40 (1), pp. 45-61.
- Johnson-Laird, P. (1990). *El Ordenador y la Mente. Introducción a la Ciencia Cognitiva*. Cognición y desarrollo humano. Ed. Paidós. Barcelona.
- 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.
- Krapas, S.; Queiroz, G.; Colinvau, D. y Franco, C. (1997). Modelo: Terminologia e Sentidos na Literatura de Pesquisa em Ensino de Ciências. Encontro Linguagem, Cultura e Cognição: Reflexões para o Ensino de Ciências. Belo Horizonte, M.G.
- Moreira, M. A. (1994). Cambio Conceptual: Crítica a modelos actuales y una propuesta a la luz de la Teoría del Aprendizaje Significativo. II Simposio sobre Investigación en Educación en Física. Buenos Aires. Argentina.
- Moreira, M.A. (1997). Modelos Mentais. *Investigações em Ensino de Ciências*. Vol. 1, n. 3 (<http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol1/n3/a1.htm>).
- Moreira, M. A. (2000). Modelos mentales. I Escuela de Verano sobre Investigación en Enseñanza de las Ciencias. Org: Moreira, M. A.; Caballero Sahelices, C. y Meneses Villagrà, J. Universidad de Burgos.
- Moreira, M. A. (2002). A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. *Investigações em Ensino de Ciências*, vol. 7, nº 1. [http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol7/n1/v7\\_n1\\_a1.htm](http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol7/n1/v7_n1_a1.htm)



- Moreno Marimón, M. (1998). La Psicología Cognitiva y los modelos mentales. En Moreno, M. Sastre, G., Bovet, M. y Leal, A. (1998). *Conocimiento y cambio*. Ed. Paidós. Temas de Psicología. Pp. 350.
- Nersessian, N. (1992). How Do Scientist Think? Capturing the Dynamics of Conceptual Change in Science. En Gere, R.N. (Ed): *Cognitive models of science*. Vol. XV. Minnesota Studies in the Philosophy of Science. Minneapolis, Univ. Minnesota Press. pp. 3-44.
- Norman, D.A. (1983). Some Observations on Mental Models. En Gentner, D. y Stevens, A.L. *Mental Models*. LEA. New Jersey. pp 7-14.
- Núñez, F. y Banet, E. (1993). Modelos conceptuales de los alumnos sobre las relaciones entre digestión-respiración-circulación. *Enseñanza de las Ciencias*, N° Extra (IV Congreso), pág. 181-182.
- Osborne, R. y Freyberg, P. (1991). *El aprendizaje de las ciencias. Implicaciones de la ciencia de los alumnos*. Ed. Narcea. Madrid.
- Pintó, R.; Aliberas, J. Y Gómez, R. (1996). Tres enfoques de la investigación sobre concepciones alternativas. *Enseñanza de las Ciencias*, 14, (2), pp. 221-232.
- Pozo, J.I. y Gómez Crespo, M. A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia*. Ed. Morata. Madrid.
- Pozo, J.I. (1999). Más allá del cambio conceptual: el aprendizaje de la ciencia como cambio representacional. *Enseñanza de las Ciencias*, 17 (3). Págs. 513-520.
- Reid, D. y Hodson, D. (1993). *Ciencia para todos en secundaria*. Ed. Narcea.
- Rodríguez Palmero, M.L. (2000 a). Revisión bibliográfica relativa a la enseñanza de la Biología y la investigación en el estudio de la célula. *Investigações em Ensino de Ciências* [[http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol5/n3/v5\\_n3\\_a5.htm](http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol5/n3/v5_n3_a5.htm); mayo 2002]
- Rodríguez Palmero, M. L. (2000 b). Modelos mentales de célula. Una aproximación a su tipificación con estudiantes de COU. Tesis Doctoral. Departamento de Didáctica e Investigación Educativa y del Comportamiento. Univ. de La Laguna.
- Rodríguez Palmero, M.L., Marrero Acosta, J. y Moreira, M.A. (2001). 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. *Investigações em Ensino de Ciências*. [[http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol6/n3/v6\\_n3\\_a1.htm](http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol6/n3/v6_n3_a1.htm); mayo 2002]
- Rodríguez Palmero, M. L. (2002). La concepción científica de célula para la enseñanza de la biología. Una reflexión aplicable a la escuela secundaria. *Revista de Educación en Biología*, vol.5, nº 1. Asociación de Docentes de Ciencias Biológicas de la Argentina. Córdoba. Argentina.
- Rodríguez Palmero, M. L. y Moreira, M. A. (2002) La teoría de los Campos Conceptuales de Gérard Vergnaud. Texto de apoyo. Programa Internacional de Doctorado en enseñanza de las Ciencias. Universidad de Burgos y Universidad Federal de Río Grande del Sur.
- Rodríguez Palmero, M. L., Moreira, M. A. y Marrero Acosta, J. Cell mental models: a scheme for the analysis for students in graduation year. Pendiente de publicación.
- Vergnaud, G. (1982). A classification of cognitive tasks and operations of thought involved in addition and subtraction problems. In Carpenter, T., Moser, J. & Romberg, T. (1982). *Addition and subtraction. A cognitive perspective*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum. pp. 39-59.
- Vergnaud, G. (1983 a). Multiplicative structures. In Lesh, R. and Landau, M. (Eds.) *Acquisition of Mathematics Concepts and Processes*. New York: Academic Press Inc. pp. 127-174.
- Vergnaud, G. (1983 b). Quelques problèmes théoriques de la didactique a propos d'un exemple: les structures additives. *Atelier International d'Eté: Recherche en Didactique de la Physique*. La Londe les Maures, França, 26 de junho a 13 de julho.
- Vergnaud, G. (1990). La théorie des champs conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 10 (23): 133-170.
- Vergnaud, G. (1993). Teoria dos campos conceituais. In Nasser, L. (Ed.) *Anais do 1º Seminário Internacional de Educação Matemática do Rio de Janeiro*. p. 1-26.
- Vergnaud, G. (1994). Multiplicative conceptual field: what and why? In Guershon, H. and Confrey, J. (1994). (Eds.) *The development of multiplicative reasoning in the learning of mathematics*. Albany, N.Y.: State University of New York Press. pp. 41-59.

- Vergnaud, G. (1996a). Education: the best part of Piaget's heritage. *Swiss Journal of Psychology*, 55(2/3): 112-118.
- Vergnaud, G. (1996b). A trama dos campos conceituais na construção dos conhecimentos. *Revista do GEMPA*, Porto Alegre, Nº 4: 9-19.
- Vergnaud, G. (1998). A comprehensive theory of representation for mathematics education. *Journal of Mathematical Behavior*, 17(2): 167-181.

Recebido em 31.07.2002

Aceito em 10.01.2003

### ANEXO: Fuentes de datos.

#### A: Cuestionario:

NOMBRE :

GRUPO :      FECHA      N°

- 1.- ¿Qué interés tiene estudiar la célula para ti?
- 2.- ¿Cómo podemos representar una célula ? ¿Cómo haríamos un dibujo de la misma ?
- 3.- Si tuviéramos que decir con tres frases lo que es una célula ¿qué diríamos ?

? a :

? b :

? c :

¿Y si tuviéramos que decir cómo funciona ?

? a :

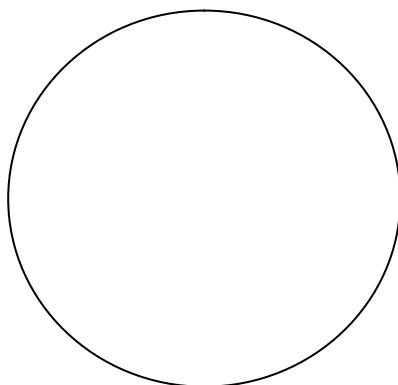
? b :

? c :

¿Y si tuviéramos que dibujar cómo funciona ?

4.- ¿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 ?

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



6.- Aprovecha este espacio para explicar el funcionamiento que tú crees que tiene una célula.

7.- Imagina una célula y cuenta lo que ves.

#### B: Guión de la entrevista:

? ¿Tú eres un ser vivo?

? ¿Por qué?

? ¿Si no sale “célula”!: ¿cómo estás constituido?

? ¿Tendrá que salir “célula”!: ¿y qué es eso?

? Te voy a ir diciendo una serie de palabras y tú me dices las primeras que te vengan a la mente con las que las relaciones: vida, ser vivo, célula, organización, entropía, energía, nutrición, relación, reproducción, agua, sales minerales, metabolismo.

? Ahora yo digo palabras y tú me describes la imagen que te viene a la mente: glúcido, proteína, lípido, ácido nucleico, energía, entropía, célula, catabolismo, meiosis, reproducción, anabolismo, ser vivo, nutrición, relación.

? Enseñar una foto de microscopía electrónica: ¿se parece esto a tu imagen de célula? ¿qué es esto? ¿me lo interpretas? Me gustaría que lo hicieras en voz alta.

? Si tuvieras que dar una clase a un grupo de alumnos sobre la estructura de la célula ¿cómo la harías?

? ¿Y si tuvieras que explicar su funcionamiento? ¿Qué harías? ¿cómo organizarías tu clase?

? ¿Qué has sentido en relación con lo que hemos hecho a lo largo del curso? ¿cómo te has sentido estudiando la célula? ¿qué sensaciones o emociones recuerdas en relación con la célula?