

**UNA APROXIMACIÓN COGNITIVA AL APRENDIZAJE DEL CONCEPTO “CÉLULA”:
UN ESTUDIO DE CASO***
(A cognitive approach to the learning of the cell concept: a case study)

M^a Luz Rodríguez Palmero

I.B. Dr. A. Glez.

C/ Felipe del Castillo n^o 15. Tejina.

38260. La Laguna, Tenerife, Canarias, España.

Marco Antonio Moreira

Instituto de Física

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

91501-970 Porto Alegre, RS. Brasil.

Resumen

Se realiza una interpretación de las respuestas emitidas por un alumno relativas al concepto célula, con objeto de determinar su modo de operar con el mismo y de pensarla. Para dicho análisis se usan dos teorías como referentes teóricos: la Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird y la Teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud. Del trabajo realizado se desprende la potencialidad de ambas teorías consideradas conjuntamente para dotar de comprensión sobre los procesos cognitivos puestos en juego por el alumno para su conceptualización.

Palabras-clave: modelos mentales, campos conceptuales, concepto de célula

Abstract

An interpretation of the answers given by a student regarding the cell concept is provided, aiming at inferring his way of thinking and using this concept. Two theories were used in such analysis: Johnson-Laird's mental models theory and Vergnaud's conceptual fields theory. From the work done it is concluded that both theories taken together are potentially useful to shed some light on the understanding of the cognitive processes involved in the acquisition of this concept by the student.

Keywords: mental models, conceptual fields, cell concept

Introducción

Los procesos de aprendizaje son complejos y por ello son muchas las teorías que se han presentado para dar cuenta de los mismos; son muchas también las teorías de enseñanza que han pretendido tratarlos, ya que lo que se procura es, precisamente, que ese aprendizaje se lleve a cabo. Por ello, la investigación educativa ha desarrollado un amplio conocimiento al respecto que atiende a un variado abanico de posibilidades diferentes, así como a posiciones epistemológicas distintas. Poco a poco, ese conocimiento se ha ido verificando y ampliando y ha sido de este modo como, por ejemplo, se comenzó por considerar las concepciones alternativas, el cambio conceptual (Moreira, 1994), la incorporación de la psicología cognitiva y, a su amparo, la importancia de las representaciones; el incremento en investigaciones de esta naturaleza ha sido considerable en los últimos años y ello se debe a la necesidad de entender qué es lo que está detrás de la cognición humana (Greca y Moreira, 2002). Cuando se trata de conocimiento científico, esos procesos parecen ser particularmente complicados y los resultados de sus aprendizajes evidencian la reclamación de

* Trabajo presentado oralmente en el *1 Encuentro Iberoamericano sobre Investigación Básica en Educación en Ciencias, Burgos, España, 18 a 21 de septiembre de 2002.*

más investigación y la búsqueda de mecanismos y soluciones a los problemas de aprendizaje que los alumnos muestran.

Célula ha sido históricamente un concepto difícil de aprender. Frecuentemente se observan problemas de conceptualización biológica como dificultades en la concepción de fotosíntesis, desconocimiento del nivel celular, ausencia de transformaciones químicas en la célula, ausencia de comprensión del destino de los nutrientes, visiones o ideas estáticas de la célula carentes de funciones, incompreensión de la división celular, desconocimiento o ausencia de comprensión de las funciones vitales, asignación celular a unos seres vivos y a otros no, etc, que obstaculizan la comprensión del comportamiento de los seres vivos pluricelulares. Son muchos aspectos diferentes, como distintos fueron también los objetos de estudio de las investigaciones que los produjeron como resultado, pero en todos se ve un problema común: ausencia de comprensión biológica de los seres vivos por desconocimiento y ausencia del significado de la célula como su unidad constituyente. Es evidente, pues, la importancia de este concepto y la necesidad de su investigación y análisis (Rodríguez, 1997, 2000 a, 2001).

Hablamos de conceptos científicos y de su forma de interiorizarlos en las estructuras cognitivas; si admitimos el enfoque que proviene de la psicología cognitiva, los conceptos se representan y, por lo tanto, actúan como elementos esenciales que deben ser tratados en cualquier teoría que verse sobre la mente y su funcionamiento (Greca, 2001). ¿Cómo se aprenden los conceptos? ¿Cómo se opera mentalmente con ellos? ¿Qué es lo que hace que se maneje un concepto, como célula, que no forma parte del sentido común? Los conceptos llevan a cabo funciones cognitivas, ya que nos permiten categorizar, percibir, recordar, inferir, deducir, generalizar, razonar, explicar, comprender, ... (ibid.) y por ello se requiere su estudio en términos cognitivos, sobre todo si tenemos en cuenta que es esa ciencia –conceptual- lo que queremos enseñar.

Desde esta perspectiva, se ha hecho necesario abordar el aprendizaje del concepto “célula”; es un concepto que se representa mentalmente de modos diversos que van desde los estructurales a otros modos de representación más complejos e integradores que responden de manera más veraz y fiel a lo que quieren representar (Rodríguez, 2000 b; Rodríguez, Marrero y Moreira, 2001). Esas representaciones se entienden básicamente como modelos mentales porque:

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

El objeto del presente trabajo es llevar a cabo una aproximación al concepto de célula usando para ello dos teorías cognitivas que intentan dar cuenta del complejo funcionamiento de la mente humana, como son la Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird y la Teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud; ambas teorías tienen algunos elementos comunes que pueden ayudarnos a comprender estos complejos procesos.

Modelos mentales de Johnson-Laird: una opción teórica.

Modelos mentales como perspectiva de análisis de las representaciones se ha convertido en la referencia actual, dado que la investigación educativa ha mostrado la necesidad de abordar el conocimiento del alumno desde un enfoque psicológico como ya se expresó. Surgen, así, los

modelos mentales como mecanismo para comprender el modo según el cual se construyen representaciones mentales más estables y una de esas posibilidades la ofrece la Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird (1983, 1990, 1993), (Rodríguez, Marrero y Moreira, 2001).

“La teoría de los modelos mentales se ha pensado para explicar los procesos superiores de la cognición y, en particular, la comprensión y la inferencia. Sugiere un inventario simple de tres partes para el contenido de la mente: hay procedimientos recursivos, representaciones proposicionales y modelos” (Johnson-Laird, 1983, pág. 446).

Se trata de una teoría de la mente adecuada explicativamente porque atiende tanto a la forma de la representación (proposiciones, modelos mentales e imágenes) (Johnson-Laird, 1983, 1996) como a los procedimientos que permiten construirla y manipularla: mente computacional, procedimientos efectivos, revisión recursiva y modelos mentales y todo ello construido sobre la base de un lenguaje mental propio, que da cuenta tanto de la forma de esa representación como de los procesos que con ella se producen, representación que trabaja sobre un contenido al que de este modo se le asigna significado (Rodríguez, 2000 b; Rodríguez, Marrero y Moreira, 2001).

Los modelos mentales son modelos de trabajo que operan en la memoria episódica; son modos de representación interna que nos permiten actuar frente al mundo y operar en él. Johnson-Laird (1983) considera que los modelos mentales están constituidos por elementos (tokens) de tres conjuntos finitos distintos: un conjunto de elementos que se corresponde con los objetos del mundo real; un conjunto de propiedades de esos elementos y un conjunto de relaciones entre los mismos, que se corresponde con las relaciones que establecen esos elementos en el mundo real. Los modelos mentales, por su capacidad para operar con la abstracción, van a permitir el establecimiento de deducciones y de inferencias que dotan de poder explicativo y predictivo a su usuario.

¿Tiene alguna ventaja explicar los procesos de razonamiento e inferencia por intermedio de los modelos mentales? Parece ser que sí si tenemos en cuenta, en primer lugar, que trabajar con modelos mentales supone y permite conjuntos de posibilidades, incluso de manera comprimida, y además pueden ser conjuntos dentro de conjuntos; de este modo, se justifica al mismo tiempo inducción, deducción y pensamiento probabilístico por estimación de posibles estados de asuntos. Y, en segundo lugar, se hacen predicciones basadas en la distinción entre información explícita e implícita y en las limitaciones de procesamiento de la memoria de trabajo (Johnson-Laird, 1994). Podemos explicar, pues, la estructura y el comportamiento de la mente humana, su complejidad, su versatilidad, ..., y no sólo el razonamiento y la deducción recurriendo a modelos mentales como sus elementos articuladores, ya que la construcción y manipulación de los modelos mentales da cuenta de todos y cada uno de sus procesos y mecanismos característicos.

Los modelos mentales son representaciones internas, son análogos estructurales de estados de cosas del mundo que permiten comprenderlo en la medida en que dotan a los individuos de la capacidad de explicar y de predecir. Son correlatos mentales de la realidad ante la imposibilidad de aprehenderla directamente, siendo de ese modo como se le atribuye significado; se caracterizan por su gran funcionalidad, entendida esta como la capacidad de que le resulten útiles a la persona que los construye. El constructo "modelo mental" desde esta perspectiva parece más comprensible, plausible y fructífero que otros planteamientos teóricos, ya que da explicaciones convincentes que nos permiten interpretar las representaciones del alumnado, razón por la que se ha optado por este referente teórico para la investigación (Rodríguez y Moreira, 1999).

La Teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud

Es una teoría psicológica que atiende a la complejidad cognitiva; se ocupa de los mecanismos que conducen a la conceptualización de lo real. El objeto que persigue Vergnaud (1996 a)

es entender cuáles son los problemas de desarrollo específicos de un campo de conocimiento; ese conocimiento lo aprehende el sujeto formando parte de sus estructuras cognitivas por un proceso de integración adaptativa con las situaciones que vive, proceso que se desarrolla a lo largo del tiempo (Franchi, 1999). Su blanco es el sujeto en situación (Vergnaud, 1996 a), su forma de organizar la conducta y su modo de conceptualizar ante esa situación y para ello utiliza el concepto de **esquema** de Piaget; Vergnaud (1990, 1993) considera que los esquemas constituyen el centro del proceso de adaptación de las estructuras cognitivas y, por tanto, juegan un papel esencial en la asimilación y en la acomodación, ya que un esquema se apoya en una conceptualización implícita (Rodríguez y Moreira, 2002).

Podría considerarse que un esquema es aquello que se aplica del mismo modo ante situaciones similares, es decir, aquello que posee la mente humana como sustrato y que 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 individuo frente a una clase de situaciones dada, no considerándose invariantes ni los elementos formales ni las acciones en sí mismas (Franchi, 1999).

Para Vergnaud (1990), un esquema está constituido por invariantes operatorios (conceptos en acción y teoremas en acción), anticipaciones, reglas de acción e inferencias. El papel que ejercen los conceptos en su planteamiento es esencial. El primer rasgo destacable de los mismos es que se entiende que un concepto no puede considerarse de manera trivial y no debe reducirse a su definición; adquiere su significado para el sujeto a través de su uso y aplicación a diferentes situaciones y problemas (Vergnaud, 1993), de lo que se deduce la necesidad de abordar su aprendizaje a largo plazo y en más de una ocasión. Por eso un concepto no puede ser reducido a su definición, sobre todo si nos ocupamos de su aprendizaje y de su enseñanza; las prácticas educativas tienden a poner el énfasis en las definiciones conceptuales. En todo caso, el proceso de definir es la mayor abstracción que se hace del conocimiento, pero aun así no se tiene en cuenta en la escuela, ya que se exagera el uso del conocimiento explícito, subestimando el conocimiento implícito, que tiene una influencia decisiva en la aprehensión de los conceptos (Vergnaud, 1994).

En términos cognitivos, según Vergnaud (1993), el concepto se conforma en función de tres conjuntos: conjunto de las situaciones que dan sentido al concepto (referente); conjunto de invariantes en los que se basa la operatividad de los esquemas (significado); conjunto de las formas de lenguaje que permiten representar simbólicamente el concepto, sus propiedades, las situaciones y los procedimientos de tratamiento (significante). Conceptos en acción y teoremas en acción constituyen el conocimiento implícito del individuo; se denominan como invariantes operatorios y, como ya se expresó, forman parte de los esquemas de asimilación.

Un concepto en acción puede estar constituido bien por un concepto en sentido estricto, bien por un objeto o por un predicado que se considera pertinente por parte del sujeto y que es implícito (Vergnaud, 1995). *“Los conceptos en acción son relevantes o no relevantes, o más o menos relevantes, para identificar y seleccionar información”* (Vergnaud, 1998, pág. 173). Un concepto en acción no necesariamente es un concepto específico de la disciplina en la que se trata; es un concepto clave para resolver un problema, para poder interpretarlo. Son los conceptos en acción los que nos llevan a buscar la información necesaria para resolverlo, pero no nos permiten razonar; para eso disponemos de teoremas en acción, de tal manera que si el razonamiento no tiene la forma de un teorema en acción, no nos facilita la resolución del problema o la situación. Los teoremas en acción se construyen con conceptos en acción; por eso, del mismo modo que un concepto no es verdadero o falso, sino pertinente o no pertinente, un teorema sí que puede ser verdadero o falso (Vergnaud, 1998). El teorema en acción es una construcción mental más compleja, ya que se trata de una proposición que se puede considerar verdadera o falsa (ibid.). Son relaciones que no es fácil que se expresen verbalmente y por ello se constituyen en modos de analizar las estrategias intuitivas de los estudiantes, pudiendo, de este modo, ayudarlos a transformar su conocimiento (Vergnaud, 1988).

Las posibilidades de aplicación de esta teoría en los procesos de enseñanza y de aprendizaje son claras, como se desprende de la breve exposición que se ha hecho. Como el propio Vergnaud afirma:

“La teoría del campo conceptual suministra un esqueleto para comprensión de las relaciones entre situaciones ofrecidas a los estudiantes y las diferentes tareas cognitivas con las que ellos deben tratar, los conceptos en acción que son relevantes para seleccionar la información, los teoremas en acción que son necesarios para computar las reglas adecuadas de acción y expectativas y los diferentes términos y representaciones simbólicas que puedan usarse provechosamente para hacer las estructuras y los procedimientos explícitos en diferentes fases del proceso de aprendizaje de los estudiantes” (Vergnaud, 1997, pág. 24).

Una propuesta integradora: la comprensión de la cognición humana

Los procesos cognitivos son complejos y eso es algo que nadie duda; su comprensión es una tarea ardua y difícil y por eso es por lo que se ha recurrido a la psicología cognitiva. Sendos enfoques teóricos comparten muchos puntos y de su conexión se desprenden interesantes reflexiones para la investigación en enseñanza de las ciencias y para la docencia. (Greca y Moreira, 2002; Rodríguez y Moreira, 2002). Podemos comprender mejor los procesos que se desarrollan en el aprendizaje de conceptos científicos y por ello ambas teorías resultan complementarias. En términos teóricos, existe una clara relación entre modelos mentales y esquemas, de modo que unos nos llevan a otros; pero son conceptos diferentes y es importante no confundirlos.

Los modelos mentales son representaciones mentales que se construyen y se ejecutan en el momento para hacerle frente al mundo y aprehenderlo. Por lo tanto, se construyen y operan en la memoria episódica o de corto plazo. Los esquemas, por el contrario, se desarrollan a través de procesos que se llevan a cabo a largo plazo; son elementos que articulan el conocimiento disponible en la acción y que evolucionan generando procesos y pautas de adaptación al medio. Podría pensarse, pues, que estos esquemas están operando en la memoria de largo plazo.

Debe quedar claro, por tanto, que se trata de construcciones teóricas distintas. El modelo mental se construye para la comprensión porque dota de capacidad explicativa y predictiva al sujeto, pero sólo para el momento, descartándose una vez acabada su función. Por el contrario, el esquema determina la organización invariante de la conducta y, por lo tanto, goza de un carácter de perdurabilidad y estabilidad que el modelo mental no tiene (Moreira, 2002), a pesar de que opere recursivamente.

La construcción del conocimiento está reclamando una conexión entre la representación primera, inmediata, de la situación y su interiorización. Entendiendo y observando que las explicaciones ofrecidas nos remiten a los mismos elementos de los modelos mentales y de los esquemas o de partes de los mismos, podría concluirse que los modelos mentales de Johnson-Laird pueden generar y articular los esquemas de Vergnaud y, por lo tanto, contribuyen a su construcción, siendo así éstos los que quedan como sustrato cognitivo de aquéllos (Moreira, 2002; Greca y Moreira, 2002).

Al construir un esquema, la persona lo usa asimilando de ese modo una determinada clase de situaciones; dado que es la organización invariante de la conducta ante las mismas circunstancias y en contextos similares, ese esquema permite su dominio. Pero al enfrentarse a una situación nueva para la que el esquema no es suficientemente eficaz, éste ya no funciona, lo que reclama por parte

del sujeto algún mecanismo que le permita asimilarla. Para ello, podría pensarse que se construye un modelo mental que actúa de intermediario y que permite hacerle frente a esa nueva realidad (Greca y Moreira, 2002); su dominio progresivo podría llevar también a una paulatina estabilización de esa primera representación, lo que nos conduce a su transformación en esquema (Moreira, 2002). Hemos de recordar que nuevos invariantes son los que condicionan nuevos conceptos y teoremas en acción y, por lo tanto, nuevos esquemas; debemos tener en cuenta también que tanto los modelos mentales como los esquemas pueden contener esos invariantes y que, consecuentemente, una vez que los modelos mentales vayan dando un mayor dominio por revisión recursiva, pueden ir constituyéndose en esquemas de asimilación.

Integrar ambas teorías ofrece un referente explicativo más amplio que nos permita mejorar nuestra comprensión respecto al proceso complejo y completo de la cognición humana (Rodríguez y Moreira, 2002). Y como el objeto que nos ocupa es comprender mejor qué ocurre en la mente de un alumno cuando se enfrenta a la célula como concepto, la consideración de ambas en esta aproximación cognitiva resulta relevante, ya que nos puede ofrecer comprensión al respecto.

Metodología

Explorado el alcance y el grado de aplicación de la Teoría de los Modelos Mentales en un contexto natural de aula, se han identificado y tipificado diferentes modelos mentales como modos de representar la célula por parte del alumnado (Rodríguez, 2000 b; Rodríguez, Marrero y Moreira, 2001;). Esos modelos mentales hallados son: modelo mental A o estructural, modelo mental B o dual, modelo mental C o causal discursivo y modelo mental D o causal imagístico. Estos modelos mentales relativos a la célula se relacionan con los criterios y categorías definidas para llevar a cabo el análisis de las producciones y verbalizaciones obtenidas del alumnado y, consecuentemente, con las diferentes fuentes de recogida de datos que han permitido su recopilación. Los procedimientos de análisis de esos procesos que determinan la tipificación de representaciones como modelos mentales diferenciados de célula son complejos (Rodríguez, Moreira y Marrero, 2002).

En este contexto se utilizaron trece instrumentos de recogida de información como fuentes de datos; el objetivo del presente trabajo es hacer una relectura de esos datos en cinco de los instrumentos usados desde la perspectiva que ofrece la consideración de Vergnaud, expresada en su Teoría de los Campos Conceptuales, dado que, como se ha mostrado, ambas tienen puntos comunes que pueden permitirnos comprender de mejor modo el proceso de cognición desarrollado.

Para ello, se ha llevado a cabo el análisis de lo que nos ha aportado un alumno (17/18 años) de la asignatura de Biología de COU (Curso de Orientación Universitaria previo a la Universidad). La información recopilada se ha obtenido dentro de lo que han sido las actividades ordinarias del aula, siendo el alumnado desconocedor de su condición de sujetos de investigación. Tanto en esa primera caracterización (modelos mentales desde el enfoque de Johnson-Laird) como en la presente ocasión, la investigadora principal es la misma; también ejerció como docente a cargo de la asignatura.

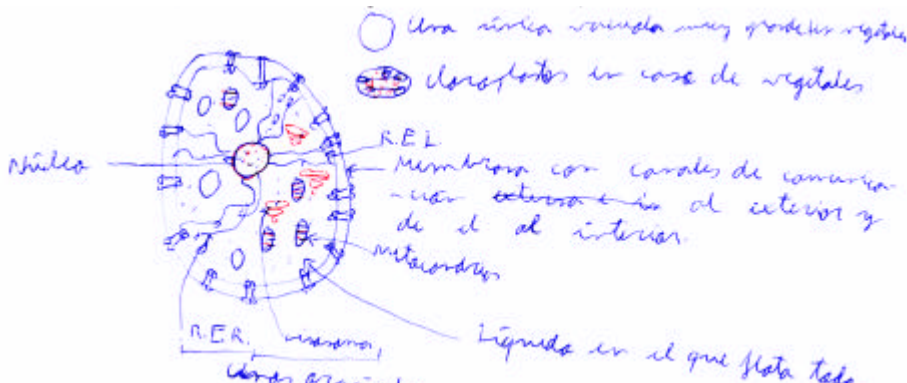
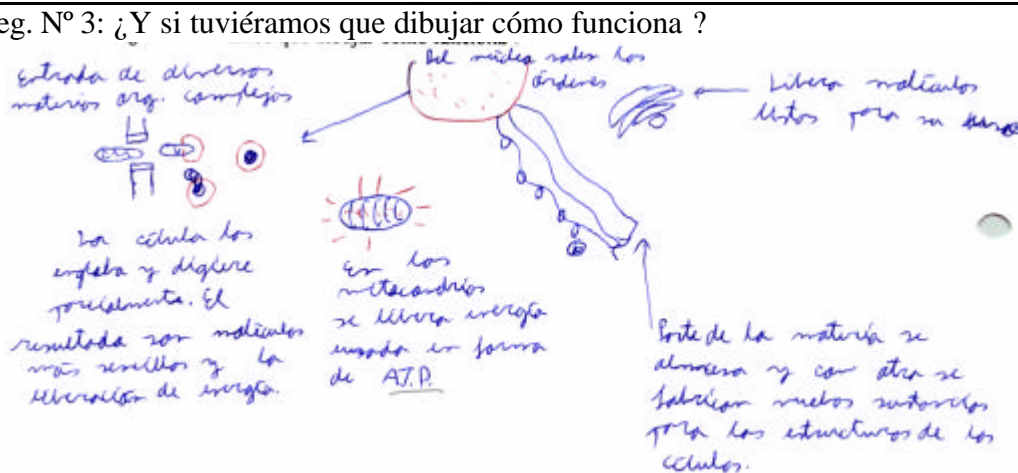
El procedimiento seguido en esta ocasión, desde la perspectiva de Vergnaud, ha consistido en la búsqueda de algunas regularidades que nos permitan determinar, si es posible, conceptos en acción y teoremas en acción en las respuestas del alumno investigado; para ello, se han seleccionado sus producciones en cinco ocasiones distintas a respuestas frente a la demanda hecha sobre la célula. Se han utilizado como instrumentos los cuestionarios inicial y final (el mismo en ambas ocasiones, lo que nos permite comparar las respuestas), de los que se han seleccionado dos cuestiones; su contestación a la explicación de la célula reclamada en dos exámenes (Origen de la vida y Lípidos) y algunos fragmentos de la entrevista efectuada al finalizar el curso escolar

1996/1997). Los datos obtenidos de este modo se presentan en la Tabla nº 1, en la que figuran los instrumentos utilizados y las fechas en las que se han registrado, las preguntas seleccionadas y las respuestas emitidas por el alumno, así como el modelo mental sugerido por cada uno de esos instrumentos considerados en su conjunto y el modelo mental final atribuido. Se han puesto en la casilla correspondiente al instrumento los conceptos utilizados por este joven en las respuestas seleccionadas; se han caracterizado en función de que sean organulares, moleculares, funcionales metabólicos, funcionales de otra índole y generales.

Análisis y discusión

Observando las respuestas de Orlando en su conjunto, salta a la vista una primera consideración evidente: se muestra una gran estabilidad en su modo de responder ante las distintas situaciones en las que ha requerido operar con el concepto célula. Este joven actúa de manera similar en las cinco ocasiones; teniendo en cuenta que un esquema es la organización invariante de la conducta para una clase de situaciones dada (Vergnaud, 1994), hemos de admitir que detrás de lo que nos muestra Orlando hay un esquema cognitivo de célula que está condicionando su conceptualización.

Tabla nº 1. Datos obtenidos de los instrumentos señalados, así como modelo mental inferido de cada uno de ellos considerado en su totalidad. (Se reflejan los conceptos usados por este alumno caracterizados por su naturaleza: **orgánulos**, **moléculas**, **conceptos metabólicos**, **conceptos funcionales no metabólicos**, **conceptos generales**).

Fuentes de datos/fecha		Modelo mental
<p>Cuestionario inicial. 22/10/96</p> <p>Vacuola, vegetales, cloroplastos, núcleo, retículo endoplasmático o liso, membrana, mitocondrias, retículo endoplasmático o rugoso, lisosoma, orgánulos.</p> <p>Materia orgánica, célula, energía, moléculas, ATP, materia, núcleo, mitocondrias.</p>	<p>Preg. Nº 2: ¿Cómo podemos representar una célula? ¿Cómo haríamos un dibujo de la misma?</p>  <p>Preg. Nº 3: ¿Y si tuviéramos que dibujar cómo funciona?</p>  <p>Entrada de diversos materias org. complejas</p> <p>La célula las digiere parcialmente. El resultado son moléculas más sencillas y la liberación de energía.</p> <p>En los mitocondrios se libera energía usada en forma de ATP.</p> <p>Parte de la materia se almacena y con otra se fabrican nuevas estructuras para los estructuras de los células.</p> <p>Libera moléculas listas para su uso</p>	B
<p>Ex. de Origen Vida. 18/11/96</p> <p>Vida, seres</p>	<p>Explica : célula. " Es la unidad morfológica de la vida, la unidad constituyente de todos los seres vivos (ex(c)pto los virus). Se trata de un sistema formado por orgánulos en medio acuoso y un aislamiento del medio, y que además realiza todas las funciones vitales propias de la vida (nutrición, relación, reproducción). Siendo además la unidad que va localmente contra la entropía degradando materia y tomando la energía liberada".</p>	C

vivos, orgánulos, medio, funciones vitales, nutrición, relación, reproducción, materia, entropía, energía.

membrana
núcleo
Apar. de Golgi
R.E.R.
vacuolas

Ex. de Lípidos. 26/2/97
Vida, entropía, organización, célula, funciones, degradación, materia, energía, síntesis, moléculas, nutrición, relación, reproducción.

Explica : célula "Es la unidad básica de la vida, la estructura más pequeña con capacidad para ir, por sí misma y con sus medios, localmente contra el caos, reduciendo los niveles de entropía (localmente).
Compuesta por moléculas orgánicas, en organización, que poseen un lugar determinado en la célula y unas funciones que realizan gracias a sus propiedades físicoquímicas particulares; teniendo, además, la capacidad de mantener y renovar estas estructuras realizando procesos de degradación de materia para obtener energía y síntesis de materia propia, ya que si van localmente contra el caos es porque utilizan energía contenida en moléculas complejas. Realizan todas las funciones que se le atribuyen a los seres vivos: nutrición, relación, reproducción, nacimiento y muerte -sólo lo vivo nace y muere".

membrana plasmática
Nucléolo
Núcleo
Apar. de Golgi
Lisosomas
mitocondrias

caracteres en vegetales:
Pared celular rígida y con poros (vegetales)

B

Cuestionario final. 29/5/97
Materia, agua, sales, núcleo, ribosomas, sustancias orgánicas, retículo endoplasmático o liso, aminoácidos, mitocondrias, vacuolas, retículo endoplasmático o rugoso, mensajero, proteínas, almacén, síntesis.

Preg. Nº 2: ¿Cómo podemos representar una célula ? ¿Cómo haríamos un dibujo de la misma ?
"Un cuerpo con volumen, de aspecto semiesférico o amorfo, con corpúsculos flotando en su interior, destacando una parte esférica central y unas especies de bolsas plegadas desde el centro a los límites exteriores".

B

Preg. Nº 3: ¿Y si tuviéramos que dibujar cómo funciona ?

materia orgánica
Núcleo: centro de control
Apar. de Golgi
Ribosomas
mitocondrias
vacuolas
Sustancias orgánicas almacenadas en el R.E.L.
R.E.R. Almacén de síntesis de proteínas
zona basal de un flagelo
vacuolas: Almidón y taninos

<p>Entrevista. 19/6/97</p> <p>Célula, núcleo, membrana.</p>	<p>Frag. A: ML: ¿célula? ¡ya, ya! ya te entiendo. ¿Célula? Orlando: ..., lo primero que se pasó por la mente. ML: esa imagen es la que tienes; descríbeme todo lo que ves. Orlando: siempre se ve una mancha oscura, una mancha oscura por un lado, otras más pequeñas y como unas bandas finas que se mueven y parecen, y como e, y parece que hay, como cuando coges una bolsa de agua. ... ML: ¿qué elementos distingues en esa imagen que me estás describiendo? Orlando: a una estructura exterior finita. ML: finita. Orlando: bastante delimitada, un líquido, se veennn como estructuras que parecen transparentes, longitudinales o enrolladas ... muchos puntitos pequeños, otros mayores ... un, uno grande que tiene comooo, como si fuera unas, unas estrellas. ML: ¡mj! Orlando: como si le salierannn, radios, radios.</p>	B
	<p>Frag. B: ML: (...) ¿por qué identificas esas cosas como las has identificado? Orlando : ... por la posición en la que se encuentran porque siempree pues también tengo un modelo en la cabeza acerca de los lugares en los que está cada cosa, siempre se ve la célula. ML: ¡ahij! ¿cómo? explícame eso, que tú tienes un modelo en la cabeza. Orlando : a ver, a ver, siempre que se piensa en célula. ML: sí. Orlando : se piensa un núcleo, se piensa unos, unos elementos característicos colocados más o menos siempre en una posición determinada y entonces por la distribución, la membrana al exterior, el núcleo más o menos al centro, no está exactamente al centro pero siempre separado por una membrana y luego unas estructuras externas ...</p>	
	<p>Frag. C: Orlando : sí, siempre hay una repetición, todas las células siguen un patrón, me parece a mí.</p>	
	Modelo mental final asignado: B	

Desde el punto de vista de la Teoría de los Campos Conceptuales las situaciones ejercen un papel esencial en la conceptualización de lo real, hasta el extremo de que son las que determinan la referencia que da sentido a los conceptos. El dominio de las primeras situaciones y problemas enfrentados condiciona la evolución posterior de ese aprendizaje (Vergnaud, 1996 b). Eso justificaría que la influencia ejercida por esas primeras situaciones en las que se intentó aprehender un determinado concepto científico, léase el que nos ocupa, tiene una gran importancia en esa conceptualización determinando su evolución posterior en los procesos de aprendizaje. Célula no es un concepto cotidiano sino que está introducido a lo largo de la escolaridad; es un concepto que Orlando está interiorizando y que en su mente tiene funciones cognitivas que le permiten determinar algunos rasgos característicos de su estructura y de su funcionamiento, ya que puede categorizar, recordar, inferir, razonar, explicar, etc (Greca, 2001) de manera intuitiva, aunque ese conocimiento del que dispone no sea todo lo que la docencia y el status científico pretenden de su aprendizaje.

En los datos que nos muestra Orlando puede verse esa influencia que resulta evidente si recordamos que el tratamiento habitual de este contenido es básicamente descriptivo, usándose con frecuencia diseños gráficos que condicionan la percepción y el aprendizaje de lo que es una célula. Este alumno utiliza imágenes y actúan para él como el foco en el que se concentra para expresar propiedades del objeto que trata; para Vergnaud (1990) la percepción visual ejerce un papel fundamental en la construcción del conocimiento, lo que le da un carácter funcional en ese proceso (Moreira, 2002). Ese sistema de percepción visual parece haber ejercido una influencia decisiva en la conceptualización que Orlando está realizando y probablemente tenga su origen en las primeras imágenes o diseños de célula que vio en su escolarización. Podría admitirse que esa percepción visual desarrollada está actuando como obstáculo epistemológico para comprender mejor el concepto célula. Orlando utiliza abierta y libremente esas imágenes en todas las ocasiones, ya que cuando no realiza los diseños, los describe con asombrosa identidad; incluso recurre a ellos en dos ocasiones en las que no se solicita su uso explícitamente, como son las preguntas de los exámenes. En sus compañeros este modo de actuar es casi inexistente, ya que sólo recurren a texto para responder.

Si atendemos a la Teoría de los Modelos Mentales, estas imágenes no son sólo epifenómenos en su modo de razonar; podríamos pensar que actúan en los modelos mentales que Orlando ha construido en cada una de estas ocasiones como marcos significativos de la realidad que pretende aprehender. De este modo, presta atención a aquellos elementos que considera relevantes, ya que se trata de una simplificación, considerándolos, así, como conceptos en acción.

Esos modelos mentales que se construyen como análogos estructurales del mundo son modelos de trabajo; son isomórficos con respecto a la realidad de la que son intermediarios. Por eso es por lo que en ese proceso de mediación con el sujeto, éste capta de la misma aquello que le resulte relevante y no todos los elementos que la configuran. Los esquemas determinan la organización invariante de la conducta ante determinadas situaciones; son modos invariantes de operar y, por lo tanto, gozan de estabilidad. Pero son también homomórficos con respecto a lo que aprehenden de esas situaciones (Rodríguez y Moreira, 2002). Podría admitirse, por tanto, que Orlando ha construido modelos mentales en estas cinco ocasiones en las que se le ha reclamado pensar en la célula y que esos modelos al mismo tiempo están sirviendo de fuente para generar esquemas y siendo influidos por esos primeros esquemas que construyó en las situaciones iniciales a las que se enfrentó con la célula como contenido. La relación que se establece entre modelos mentales y esquemas, desde esta perspectiva, es dialéctica, siendo los modelos mentales las representaciones que trabajan en la memoria episódica, a partir de algunos ingredientes o elementos (tokens) como pueden ser los conceptos en acción y teoremas en acción, mientras que los esquemas son las estructuras que dotan de perdurabilidad y estabilidad a ese contenido operando también con los mismos invariantes en la memoria a largo plazo; éstos pueden también ser modificados por los modelos mentales (Greca y Moreira, 2002).

Como se recordará, un concepto en acción es un elemento cognitivo clave para resolver una situación o un problema; los conceptos no se aprenden solos o aislados y por eso se propone la idea de campo conceptual. Esos conceptos en acción son implícitos y corresponde a la enseñanza provocar que se expliciten en el sentido que el conocimiento científico les ha atribuido. Los conceptos en acción son relevantes o no relevantes para el sujeto y orientan la búsqueda de la información necesaria para hacerle frente a dicha situación o conjunto de ellas. Los conceptos que ha utilizado Orlando en sus respuestas a las preguntas planteadas se han mostrado en la Tabla nº 1. Desde el punto de vista de la construcción de los modelos mentales correspondientes en cada ocasión, se categorizan dentro de tres conjuntos (Rodríguez, 2000 b): un conjunto finito de elementos ("tokens") celulares que representan un conjunto finito de los elementos o *estructuras celulares* como entidades físicas (orgánulos y moléculas); un conjunto finito de propiedades de esos elementos, es decir, un conjunto que representa la composición y la estructura de cada uno de los elementos ("tokens") (sus *propiedades y características*; un conjunto finito de relaciones entre los elementos articuladas como la representación de las funciones de los orgánulos y de los procesos celulares que realizan, así como de las que lleva a cabo la célula, justificando, por lo tanto, el comportamiento celular (*relaciones e interacciones* físico-químicas).

Se entiende que los orgánulos y moléculas formarían parte del primero de ellos; sus propiedades y características físico-químicas, el segundo y las relaciones e interacciones -lo que supone procesos metabólicos y de otra naturaleza- el tercero. Como puede observarse, para Orlando lo que es relevante guarda relación básicamente con estructuras celulares -en términos de conceptos utilizados- expresando y usando tanto en discurso como gráficamente pocos conceptos que tengan que ver con el dinamismo que caracteriza a una célula; para ello incluso recurre a conceptos generales antes que los conceptos científicos específicos del funcionamiento celular, y de su relación con su estructura, a pesar de haber sido trabajado intensamente ese contenido en las clases, lo que muestra que para este joven no fueron relevantes. Dado que los conceptos que usó este alumno en las cinco situaciones son marcadamente semejantes, que son los que determinan la

búsqueda de la información pertinente y que son los considerados relevantes, frente a todos los que obvió, podría admitirse que esos conceptos operan en su mente como conceptos en acción que, consecuentemente, forman parte invariante de su esquema, puesto que generan o provocan una conducta similar.

Pero los conceptos en acción no permiten razonar; para ello disponemos de teoremas en acción que se construyen con conceptos en acción. En oposición a los conceptos en acción que no son verdaderos o falsos sino relevantes o no, los teoremas en acción sí que son verdaderos o falsos; son relaciones entre conceptos que tienen formato de proposición y que determinan las posibilidades de comprensión.

A la vista de los datos aportados por Orlando, podemos inferir que actúan de un modo invariante, como ya se expresó, y que lo que nos entrega es, por tanto, producto de un mismo esquema, en el que son fácilmente deducibles algunos postulados o proposiciones que podrían estar actuando como teoremas en acción. Lo primero que llama la atención es que ese esquema del que echa mano lo hace actuar de manera distinta cuando trata la estructura y cuando trata el funcionamiento; cuando genéricamente se le pide que represente una célula, él plasma sólo su estructura y lo hace de un modo extraordinariamente similar y estable a lo largo del curso escolar. La misma identidad se observa cuando se le pide que refleje su funcionamiento, hasta el extremo de que “coloca” en el mismo lado del dibujo la materia compleja. Parece evidente la conclusión de que se trata de “dos células” diferentes que no tienen nada que ver entre sí lo que Orlando maneja cognitivamente y a lo largo del tiempo. Eso guarda relación con el modelo mental que se le asignó como modelo de trabajo en cada una de esas ocasiones mayoritariamente (recuérdese que es el modelo mental atribuido al instrumento completo y no sólo a las cuestiones seleccionadas). Sólo en una ocasión (examen de Origen de la Vida) se determinó un modelo mental causal, integrado, pero si consideramos nuevamente lo que Vergnaud postula (1990), el proceso de aprendizaje no es lineal sino que es complejo y está lleno de continuidades y rupturas; esto muestra que, efectivamente, se mezclan en su proceso de aprendizaje elementos de una representación más estable, que ha primado en su evolución posterior, con elementos de una representación más inmediata y funcional, como es el modelo mental (Greca y Moreira, 2002).

Está claro, también, que alguna incorporación conceptual hay en el proceso y que Orlando le está dando sentido y relevancia a algunos conceptos más que va incorporando como invariantes; entropía puede ser un ejemplo. Esto nos da pie para considerar que efectivamente el proceso de explicitación de contenido científico es lento y requiere ayuda (Moreira, 2002).

Volvamos a los teoremas en acción e intentemos identificar algunos de ellos presentes en la forma de actuar de este joven. Son modos de razonamiento implícitos que intentamos deducir utilizando para ello la manera de actuar de los sujetos, sus conductas y respuestas, lo cual no está exento de cierto peligro, ya que se analizan desde el exterior. Los teoremas en acción han sido evidentes en Matemáticas (los ejemplos presentados por Vergnaud son múltiples; para él, un teorema en acción sería la relación matemática implícita en los estudiantes cuando se enfrentan a un problema que puede ser expresado por fórmulas, simbolismos o proposicionalmente) o en Física (por ejemplo, el estado del sistema antes de una medida es igual al estado del sistema después de la medida) (Greca y Moreira, 2002). En Biología no parece tan fácil o tan evidente aplicar del mismo modo este constructo, pero aun así, pueden encontrarse y establecerse ciertas regularidades en lo que este estudiante nos aporta que se podrían considerar teoremas en acción; éstos, como invariantes operatorios que son de los esquemas, son subyacentes a la conducta. El carácter de estabilidad de los esquemas se debe a esos teoremas en acción y a los conceptos en acción que los conforman y por eso, las conductas se repiten ante situaciones similares. Orlando parece actuar en función de los siguientes posibles teoremas en acción:

La célula es la unidad morfológica de la vida.

Los componentes de la célula ocupan siempre un lugar determinado.

Todas las células siguen un patrón común.

La célula tiene una parte esférica en posición central y elementos desde el centro hacia los bordes externos.

Todas las células realizan nutrición, relación y reproducción.

El núcleo ejerce el control y ordena.

La célula usa materia orgánica que rompe para liberar energía.

La célula almacena.

Los últimos los plasma sólo en la pregunta nº 3 de los cuestionarios inicial y final. Como puede observarse, no todos son científicamente admitidos o correctos, lo que da muestras de su limitada capacidad explicativa y predictiva; esto se evidencia en sus últimos dibujos o en su expresión. Es evidente también que piensa o en una célula-estructura o en una célula-funcionamiento, es decir, en términos duales, lo que se determinó cuando se analizaron sus producciones y verbalizaciones desde la perspectiva de los modelos mentales de Johnson-Laird (Rodríguez, 2000 b; Rodríguez, Marrero y Moreira, 2001).

“Partimos de la idea de considerar a los modelos mentales como representaciones mediadoras entre la situación y el conocimiento que el sujeto posee. Los conceptos en acción y los teoremas en acción son los que guían el proceso de construcción de los modelos mentales, en la medida en que determinan los elementos de la situación que resultan relevantes para el sujeto y las propiedades que se pueden aplicar sobre los mismos” (Greca y Moreira, 2002, pág. 14).

Analizando los materiales que se han seleccionado de Orlando, parece clara la conexión entre ambas teorías cognitivas. Las nuevas situaciones ofrecidas no fueron capaces de reestructurar los invariantes operatorios de su esquema, lo que, por otra parte, es herencia de sus primeros contactos con este concepto; esto ha podido ejercer como obstáculo epistemológico en su proceso de aprendizaje de una entidad celular no sólo estructural o funcional sino única, causal e integrada, que es lo que la Biología considera como significado característico del concepto célula. Su proceso de conceptualización puede comprenderse de mejor modo considerando el papel que han ejercido en el mismo los modelos mentales que generó en cada ocasión y el esquema de asimilación construido, lo que nos lleva a considerar de manera positiva la integración de ambas teorías utilizadas para llevar a cabo la aproximación cognitiva que se pretendía.

Bibliografía

- 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.
- Greca, I. (2001). Conceptos. Actas de la IV Escuela Latinoamericana de Enseñanza de la Física. Puerto La Cruz. Venezuela.
- Greca, I. y Moreira, M. A. (2002). Além da detecção de modelos mentais dos estudantes. Uma proposta representacional integradora. *Investigações em Ensino de Ciências*, Vol.7, nº 1. (<http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>).
- Johnson-Laird, P. (1983). *Mental Models. Towards a Cognitive Science of Language, Inference, and Consciousness*. Harvard University Press. Cambridge. 513 p.
- Johnson-Laird, P. (1990). *El Ordenador y la Mente. Introducción a la Ciencia Cognitiva*. Cognición y desarrollo humano. Ed. Paidós. Barcelona. 407 p.

- Johnson-Laird, P. N. (1993). La théorie des modèles mentaux. En: Ehrlich, M. F.; Tardieu, H. y Cavazza, M. (Eds). *Les modèles mentaux. Approche cognitive des représentations*. Masson.Pp. 1-22.
- Johnson-Laird, P. N. (1994). Mental models and probabilistic thinking. *Cognition*, 50, pp. 189-209.
- Johnson-Laird, P. N. (1996). Images, Models and Propositional Representations. pp. 90-127. En De Vega, M; Intons-Peterson, M. J.; Johnson-Laird, P. N.; Denis, M. y Marschark, M. *Models of Visuospatial Cognition*. Oxford. University Press. 230 p.
- 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*.(Pendiente de publicación).
- Moreira, M. A. (1994). Cambio conceptual: crítica a modelos y una propuesta a la luz de la teoría del aprendizaje significativo. In: Science & Mathematics Education for the 21st Century: Toward innovatory approaches. Concepción, Chile. Atas. Pp. 81-92.
- Nersessian, N. (1992). How Do Scientist Think? Capturing the Dynamics of Conceptual Change in Science. En Gere, R.N. (Ed): *Cognitive models of science*. Vol. XV. Minnesota Studies in the Philosophy of Science. Mineapolis, Univ. Minnesota Press. pp. 3-44.
- Novak, J.D. y Gowin, D.B. (1988). *Aprendiendo a aprender*. Ed. Martínez Roca. Barcelona. 228 p.
- Rodríguez Palmero, M. L. (1997). Revisión bibliográfica relativa a la enseñanza/aprendizaje de la estructura y del funcionamiento celular. *Investigações em Ensino de Ciências*, Vol. 2, nº 2. (<http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>).
- 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. (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. (1999). Modelos mentales de la estructura y del funcionamiento de la célula: dos estudios de casos. *Investigações em Ensino de Ciências*. Vol. 4, nº 2. <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>
- 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.
- 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*. Vol. 5, nº 3. <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>
- 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*. Vol. 6, nº 3. <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>
- Rodríguez. Palmero, M. L. y Moreira, M. A (2002). La Teoría de los Campos Conceptuales de Gérard Vergnaud. Pendiente de publicación.
- Vergnaud, G. (1988). Multiplicative structures. In Hiebert, H. and Behr, M. (Eds.). *Research Agenda in Mathematics Education. Number Concepts and Operations in the Middle Grades*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum. pp. 141-161.
- Vergnaud, G. (1990). La théorie des champs conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 10 (23): 133-170.
- Vergnaud, G. (1993). Teoría 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. (1995). Au fond de l'apprentissage, la conceptualisation. Actes de Lécole d'Été. IREM de Clermond Fernad.

- Vergnaud, G. (1996 a). A trama dos campos conceituais na construção dos conhecimentos. *Revista do GEMPA*, Porto Alegre, N° 4: 9-19.
- Vergnaud, G. (1996 b). Education: the best part of Piaget's heritage. *Swiss Journal of Psychology*, 55(2/3): 112-118.
- Vergnaud, G. (1997). The nature of mathematical concepts. In Nunes, T. & Bryant, P. (Eds.) *Learning and teaching mathematics, an international perspective*. Hove (East Sussex), Psychology Press Ltd.
- Vergnaud, G. (1998). A comprehensive theory of representation for mathematics education. *Journal of Mathematical Behavior*, 17(2): 167-181.