

CONOCIMIENTOS DE ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS DE PRIMER CICLO ACERCA DE LA CÉLULA COMO UNIDAD DE FUNCIÓN

Matilde Mondelo Alonso
Susana García Barros
Cristina Martínez Losada
Pedro Vega Marcote
Universidade da Coruña.

INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la Teoría celular es un requisito necesario para comprender una gran variedad de conceptos y procesos biológicos como pueden ser la nutrición, la reproducción, o el propio concepto de “ser vivo”. Sin embargo, se ha constatado la gran dificultad que representa para el alumnado la asimilación de los principios básicos de dicha Teoría. En concreto, los estudiantes de distintos niveles educativos reconocen en menor medida la constitución celular de los vegetales que de los animales (Caballer y Jiménez, 1992; Banet y Ayuso, 1995; Mondelo y otros, 1997). Esta dificultad se extiende a organismos, órganos y tejidos que presentan un aspecto rígido, leñoso, coriáceo y resistente, probablemente porque no asocian tal aspecto con lo vivo. Las dificultades son todavía mayores cuando se trata de aplicar el conocimiento adquirido sobre la estructura celular (Mondelo y otros, 1997) o de considerar a la célula como unidad de función (Dreyfus y Jungwirth, 1989; Caballer y Jiménez, 1992).

Un gran número de trabajos se han encaminado a estudiar las posibles causas de las dificultades que tienen los alumnos a la hora de apropiarse de conceptos científicos, así como de sus implicaciones didácticas. Entre tales causas, son de especial importancia, en relación con la Teoría celular, los obstáculos epistemológicos -no se puede entrar en el interior de un ser vivo o de una célula-, las capacidades cognitivas del alumno y los procesos de enseñanza que no promueven el metaconocimiento, la indagación y reflexión sobre las propias ideas, el establecimiento de relaciones conceptuales, etc. (García y Sanmartí, 1998; Duschl, 1997).

En esta línea, el presente trabajo pretende conocer las ideas y modos de razonamiento que poseen y utilizan estudiantes universitarios de primer ciclo sobre la célula como unidad vital, ampliando así nuestras anteriores aportaciones sobre el concepto de “ser vivo” y su estructura celular (Mondelo y otros, 1997; 1998). Basándonos en tales aportaciones y considerando que el reconocimiento de la célula como unidad estructural es un prerequisite para asumirla como unidad funcional, se pretende averiguar concretamente si los alumnos que tienen una formación biológica y que cumplen dicho requisito previo, reconocen las principales estructuras celulares así como determinadas funciones o procesos básicos de la célula viva.

METODOLOGÍA

La información utilizada en el estudio se ha obtenido de las encuestas correspondientes a 24 estudiantes universitarios de primer curso de Biológicas y de Magisterio de las especialidades de Educación Primaria y Educación Infantil y a 17 de segundo de Biológicas, seleccionadas de un total de 139 encuestados. Así, únicamente se analizan las encuestas relativas a los alumnos de los grupos de primer curso -Biológicas y Magisterio, con similar formación no universitaria en Biología - y de 2º curso de Biológicas que mostraron poseer un adecuado dominio de la constitución celular de los seres vivos en las tres primeras preguntas del cuestionario suministrado al inicio del curso académico. Dichas cuestiones estaban centradas en el concepto de “ser vivo” y su constitución celular. El cuestionario recogía, además, otras cuatro preguntas, objeto de análisis en este trabajo, que hacían referencia a estructuras y funciones de las células (Anexo 1). En la primera de estas cuatro preguntas se incluían diferentes componentes celulares y se pedía que indicasen si estaban presentes en una célula animal y/o en una vegetal. En la segunda se debía señalar qué funciones, de las cinco presentadas, realizaban nueve tipos de células. La pregunta tres hacía referencia a una situación problemática en la que se preguntaba por qué es imprescindible que no se interrumpa el riego sanguíneo de un tejido -el miocardio-. En la número cuatro se debía explicar a nivel microscópico el crecimiento experimentado por una hoja.

Tras un examen preliminar de las respuestas obtenidas, éstas se categorizaron mediante la realización de redes sistémicas (Jorba y Sanmartí, 1996) para cada una de las dos preguntas abiertas (anexo 2).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Reconocimiento de estructuras de células "prototípicas" animal y vegetal

Todos los estudiantes de segundo de Biológicas y la gran mayoría del conjunto de los que inician su primer curso -Biológicas y magisterio- identifican los componentes celulares propuestos en células animales. Las excepciones encontradas en este último grupo atañen especialmente a los ribosomas y a la membrana plasmática, no señaladas por un 8 % del alumnado.

Por el contrario, la identificación de las estructuras celulares presentes en las células vegetales es menor. Así, en primer curso una minoría -alrededor del 17 %- muestra un adecuado conocimiento del conjunto de los componentes presentes en una célula vegetal prototípica. El resto de los estudiantes señala mayoritariamente la presencia de pared celular y cloroplastos -más del 70 %- pero menos del 10 % opina que poseen cromosomas, siendo, además, las estructuras menos reconocidas, aspecto ya puesto de manifiesto en otros trabajos (Banet y Ayuso, 1995, 1998). En segundo de Biológicas se observa un avance importante del conocimiento de la célula vegetal ya que el 83 % del alumnado reconoce todos los componentes y más del 90 % hace referencia a la presencia de cromosomas, lo que nos lleva a suponer que el conocimiento estructural de la célula se consolida a lo largo de los estudios realizados en primero de Biológicas, con materias como Biología Celular, Bioquímica, Fisiología, etc. Una opinión similar es mantenida por Dreyfus y Jungwirth (1988) al sugerir que el conocimiento de la bioquímica celular se traduce en una mejor comprensión de la célula como unidad de vida y como constituyente de los organismos pluricelulares.

Nos interesa, sin embargo detenernos en las diferencias halladas en los estudiantes de primer curso con relación a la estructura de la célula animal y vegetal. Posiblemente sean varias las causas que les conducen a reducir la célula de los vegetales a una pared celular que encierra cloroplastos, ignorando la existencia de estructuras tan universales como los cromosomas. En este sentido debemos tener presente la dificultad ya señalada que tienen los estudiantes de distintos niveles educativos para atribuir a los vegetales las características universales de la vida (Carey, 1985; Stavy y Wax, 1989) y en concreto para asumir su constitución celular (Caballer y Jiménez, 1992; Dreyfus y Jungwirth, 1988; Mondelo y otros, 1997; 1998). Creemos que la diferenciación que establecen a nivel macroscópico entre las formas de vida animal y vegetal se extiende al nivel de célula cuando ya se reconoce ésta como unidad estructural. En otras palabras, animales y vegetales estarían constituidos por células esencialmente diferentes que darían cuenta de las escasas características comunes que presentan a nivel de organismo.

Otra causa en nuestra opinión primordial de la mencionada reducción estructural radica en la enseñanza recibida. En primer lugar, los temas biológicos

tratados en tercero de BUP y COU son complejos y demasiado extensos para que se realice un aprendizaje significativo en el tiempo prescrito. Por otra parte, la no consideración de sus conocimientos previos así como la falta de relaciones entre los contenidos que se enseñan constituyen otro problema curricular relevante (Del Carmen, 1993). Además, los conceptos más inclusivos como “ser vivo”, “vegetal”, etc., suelen tratarse muy superficialmente, al suponer que existe un dominio de los mismos por parte del alumnado (de Manuel y Grau, 1996). También es de subrayar el especial énfasis que libros de texto y profesores en general ponen en el establecimiento de diferencias estructurales entre la célula animal y la vegetal, mientras que habitualmente suelen obviar las semejanzas existentes entre las mismas. Esta opción educativa puede reforzar el reduccionismo al que hemos hecho mención dado que los alumnos son más competentes a la hora de generar diferencias que similitudes (Strommen, 1995). Asimismo, las prácticas de laboratorio habitualmente realizadas no parecen contribuir a superar el citado reduccionismo. Concretamente, una de las que se llevan a cabo es la observación de epidermis en bulbo de cebolla. En tales células, los alumnos no observan cloroplastos y sí pueden percibir claramente el núcleo, sin embargo, no conectan esta observación con la teoría que la práctica pretende ilustrar, claro ejemplo de que frecuentemente el objetivo del profesor y el de los alumnos discurre por caminos paralelos (Osborne y Freyberg, 1991).

2. Reconocimiento de funciones celulares

La universalidad de funciones o procesos celulares básicos es muy poco reconocida por el alumnado; sólo un reducido número de estudiantes de segundo de Biológicas -el 17,6 %- señala que las diferentes células incluidas en la pregunta realizan todas las funciones propuestas, excepto las neuronas que no se reproducen.

Las funciones más asumidas por el conjunto de los estudiantes como características de todos los tipos celulares son la reproducción -a excepción de las neuronas- y la respiración, mientras que otros procesos como la “captación” de nutrientes, la elaboración de materia propia o la eliminación de sustancias de deshecho son atribuidas a células específicas. En concreto cerca del 60 % de los que cursan segundo de Biológicas y más del 50 % de primer curso señalan la reproducción en las distintas células presentadas salvo en las neuronas. El resto de los alumnos sólo indican esta función en células concretas, especialmente en las embrionarias -41,2 % y 37,5% del alumnado de cada grupo- (Figura 1). La idea de la no división de las neuronas, compartida por más del 95 % del alumnado, es lógica si se partiese del antagonismo existente entre diferenciación y división celular y no se tuviese presente la capacidad de reproducción que poseen las células en algún momento de su vida. Sin embargo, la no utilización de este principio para otras células como pueden ser las hepáticas o los pelos absorbentes, nos induce a pensar que tal idea es fruto tanto de la experiencia cotidiana -la no regeneración neuronal tras una lesión- como de la enseñanza, que la reitera sin establecer las debidas relaciones teóricas y los necesarios ejemplos y contraejemplos.

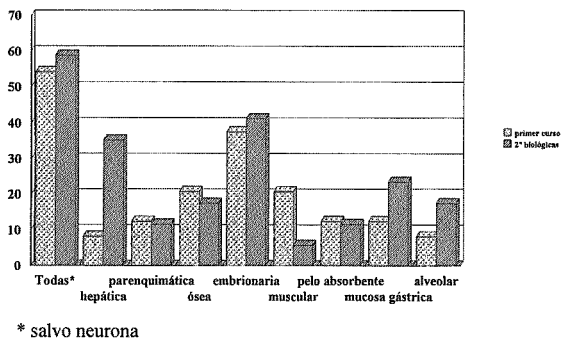


Figura 1. Porcentaje de alumnos que identifica la reproducción en los diferentes tipos celulares

También la respiración celular es señalada en todas las células por la mayoría de los alumnos de segundo de Biológicas -alrededor del 70 %- y en menor medida por los de primer curso -37,5 %- (Figura 2). Los restantes restringen el proceso a células específicas entre las que destacan en primer curso las células parenquimáticas y, en ambos grupos las de los alveolos pulmonares indicadas concretamente por el 23,5 % de los estudiantes de segundo y el 54,2 % de los de primero. Se aprecia, por tanto, en los dos grupos una asociación entre la función atribuida a los alveolos y la atribuida a sus células, equiparando de este modo la difusión de gases y la respiración celular, idea ésta ya constatada por otros autores (Anderson y otros, 1990; Banet y Núñez, 1990).

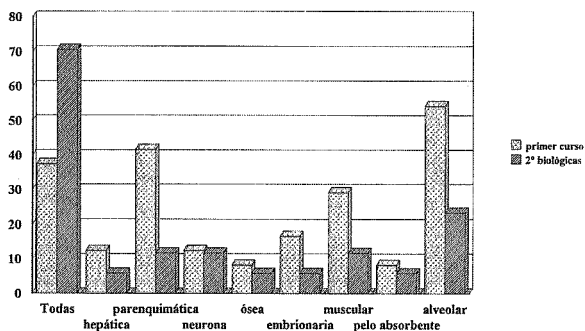


Figura 2. Porcentaje de alumnos que identifica la respiración en los diferentes tipos celulares

La consideración de la especialización celular es una pauta constante para el resto de los procesos celulares que se propusieron en la pregunta. Así, tan sólo

el 12,5 % de los estudiantes de primer curso indica que todas las células captan nutrientes. Este porcentaje asciende al 41,2 % en los de segundo de Biológicas, porcentaje que aún siendo notablemente superior, no por ello deja de ser preocupante desde el punto de vista educativo. Los alumnos de ambos grupos que no generalizan este proceso sostienen que sí lo realizan los pelos absorbentes, señalado por el 83,3% de los de primer curso y por el 58,8 % de los de segundo, las células de la mucosa gástrica -58,3% y 41,2 % respectivamente- y, en menor medida, las células embrionarias, óseas y, en primer curso parenquimáticas. Además, un número muy reducido, en ningún caso superior al 25 %, identifica la captación de nutrientes en células musculares, alveolares y hepáticas (figura 3). Es probable que las mayores referencias a la asimilación de nutrientes por las células de la mucosa gástrica en comparación con otros tipos de células animales se deba a la importancia que el alumnado de distintos niveles educativos concede al estómago en relación con la digestión, órgano que suele considerarse el centro de dicho proceso (Banet y Núñez, 1988). En tal caso, además de trastocar la absorción intestinal, se apreciaría una inadecuada comprensión de la nutrición al entender que sólo determinadas células asimilan los nutrientes procedentes del medio externo al organismo y al no reconocer el papel desempeñado por el medio interno en la nutrición celular. Esta conjetura se refuerza si tenemos en cuenta que la atribución de esta actividad a los pelos absorbentes fue mayoritaria en los estudiantes de ambos grupos.

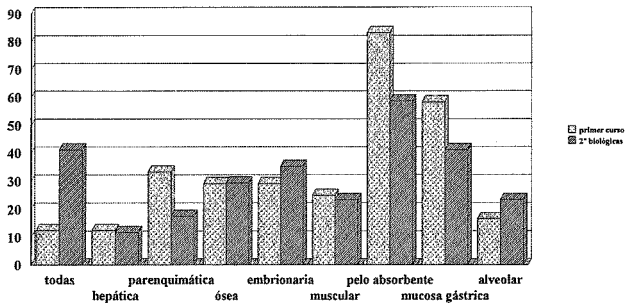


Figura 3. Porcentaje de alumnos que señala la "captación de nutrientes por los diferentes tipos celulares

El proceso de biosíntesis celular es el menos señalado en todas las células que se recogían en el cuestionario por el alumnado de ambos grupos, únicamente asumido por el 29,4 % de los alumnos de segundo curso y el 4,2 % de primero (Figura 4). La mayoría, por tanto, se inclina por señalar que la elaboración de

materia propia es una actividad realizada por células concretas, resultados coincidentes con los obtenidos por Dreyfus y Jungwhirth (1988). Las células en las que identifican la síntesis de materia son las parenquimáticas -35,3 % de segundo de Biológicas y 50 % de primer curso-, óseas -35,3 % y 37,5 %, respectivamente- y hepáticas -alrededor del 29 % en ambos grupos-. Las referencias en este sentido no superan el 25 % en las células embrionarias, mucosa gástrica y muscular y son nulas las relativas a la neurona, células alveolares y pelos absorbentes.

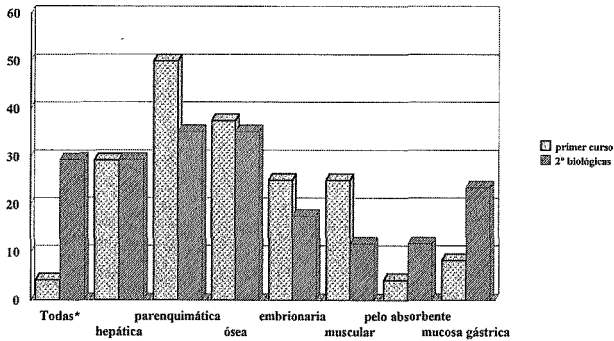


Figura 4. Porcentaje de alumnos que identifican la elaboración de materia por las diferentes células

Si bien la consideración de que las células parenquimáticas elaboran su propia materia y otras no lo hacen, se puede explicar como consecuencia de una inadecuada interpretación de los procesos de síntesis celular, que en este caso concreto se equipararía a la fotosíntesis, es más difícil interpretar el tipo de razonamiento que utilizan a la hora de extender esta actividad a las células óseas. A modo de hipótesis se podría sugerir que esta opción se sustenta en conocimientos tales como el menor crecimiento corporal y la posible descalcificación del hueso cuando el aporte de calcio es inadecuado, idea que está relativamente en consonancia con sus referencias a la captación de nutrientes por estas células.

Otra de las actividades celulares sobre las que se indagaba era la eliminación de sustancias.

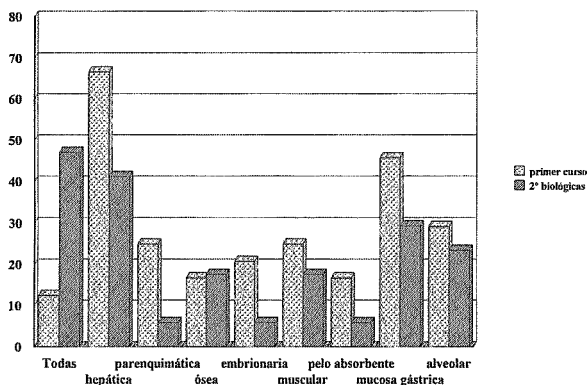


Figura 5. Porcentaje de alumnos que señala la eliminación de sustancias en las diferentes células

Una vez más los estudiantes de segundo de Biológicas extienden en mayor medida este proceso a todas las células -alrededor de la mitad-, que los de primer curso cuya proporción no alcanza el 13 %. Las más citadas por los restantes alumnos son las del hígado -41,2 % y 66,7 % de segundo de Biológicas y de primer curso, respectivamente-, las de la mucosa estomacal -alrededor del 30 % de los de segundo y del 46 % de primero- y las de los alveolos -23,5 % y 29,2 %, respectivamente- (Figura 5). Además, una cuarta parte de los de primero apunta esta actividad en las células parenquimática y muscular y un 20 % en las embrionarias, mientras que en segundo de Biológicas esta atribución es inferior al 18% en los tres tipos celulares. Si comparamos estos resultados con los relativos a la respiración (Figura 2), se puede apreciar en primer lugar que es muy superior el número de alumnos que sostienen que todas las células respiran que los que indican que todas eliminan sustancias y en segundo lugar que en las células hepáticas y de la mucosa gástrica, tipos celulares en los que identifican sobre todo la eliminación de sustancias, la respiración es menos señalada. En nuestra opinión tales diferencias se deben a que no asocian la eliminación de sustancias con la eliminación de productos finales del metabolismo celular -dióxido de carbono, por ejemplo- sino que tienden a relacionarla con procesos específicos característicos de órganos concretos como el hígado y el estómago. Podría pensarse que la alta consideración de la eliminación de sustancias por estas células se basa en su función secretora. Ahora bien, parte del alumnado que sí señala que las células hepáticas y las de la mucosa gástrica eliminan sustancias no indican sin embargo que elaboren materia. Concretamente el 29,4 % de los estudiantes de segundo de Biológicas y el 45,8 % y el 50 %, respectivamente, de los de primer curso responden en este sentido. Estos datos son indicativos de que sus respuestas no están fundamentadas en la consideración del papel biosintético y secretor de hormonas, bilis o secreción gástrica de estas células, idea constata-

da asimismo por otros autores al detectar que los alumnos no atribuyen a las células de las glándulas, en este caso concreto las salivales, la formación de las sustancias secretadas (Caballer y Jiménez, 1992). Por todo ello nos inclinamos a pensar que los estudiantes basaron sus respuestas en conocimientos más generales y cotidianos o que atañen al órgano en su conjunto. En esta línea y con relación a las células hepáticas, creemos que han tenido en cuenta sobre todo el consabido papel que desempeña el hígado en la degradación de sustancias como el alcohol, medicamentos, etc, y, en lo que a las células de la mucosa gástrica se refiere consideramos que centraron más su atención en el órgano -vaciado del estómago- que en la secreción celular.

Una de las conclusiones que se desprende de los resultados obtenidos es la reducción que hacen los alumnos de los procesos celulares universales que tienen lugar en células especializadas, asociando mayoritariamente un proceso concreto con la especificidad de la célula o del órgano del que forma parte. Así, las células embrionarias básicamente se reproducen, los pelos absorbentes captan nutrientes, las células hepáticas eliminan sustancias y las alveolares respiran. Esta relación también explica la inexistencia de referencias a la actividad vital de la neurona -no capta nutrientes, no elabora su propia materia, no elimina sustancias...- por parte de los estudiantes que no generalizan los diferentes procesos celulares. La mencionada asociación parece denotar un razonamiento basado en las características más sobresalientes de un acontecimiento (Driver y col., 1995), razonamiento que en este caso concreto se centraría en la función más específica y diferenciada de las células, obviando los aspectos comunes y por tanto la necesidad de que mantengan su vida para desempeñar tal función.

Si además de lo anteriormente apuntado tenemos en cuenta el reducidísimo número de alumnos que reconocen la universalidad de los procesos vitales celulares, podemos constatar que el alumnado no asume la célula como unidad de vida y que incluso tras el estudio de materias como bioquímica, fisiología, etc., no logran dominar este principio de la Teoría celular. En nuestra opinión este dominio no se consolida, entre otros factores, por la desconexión que suele existir entre los temas y las materias objeto de estudio y porque el profesorado no es consciente de la problemática que encierra su aprendizaje.

3. Aplicación de conocimientos sobre funciones celulares

Cuando a los estudiantes se les pregunta porqué es imprescindible la irrigación de un tejido, concretamente el miocardio, las respuestas obtenidas varían ampliamente en función del curso al que pertenecen. Así, en segundo de Biológicas tan sólo dos de ellos -el 11,8 %- responden que la irrigación del miocardio es fundamental para que funcione el corazón y que si se interrumpe el flujo de sangre ésta no llega al corazón interrumpiéndose la circulación sanguínea. Los

restantes explican el proceso en términos celulares. En concreto el 29,4 % señala que la sangre aporta oxígeno a las células y que si se interrumpe el flujo se produce una necrosis celular. Un mayor número de estudiantes, el 58,8 %, utiliza los mismos argumentos anteriormente señalados pero reconoce la necesidad de que la sangre aporte tanto oxígeno como nutrientes a las células para que éstas mantengan su actividad vital. Por el contrario, en primer curso el 54,2% da explicaciones basadas en el corazón como órgano que al no recibir sangre no la puede bombear al resto del cuerpo; el 37,5 % hace referencia a la necesidad de que la sangre aporte oxígeno a las células del miocardio porque sin este gas se mueren y tan sólo el 8,3 % considera que estas células necesitan nutrientes y oxígeno. En este grupo, por tanto, la mayoría de las respuestas ilustran la tendencia de los alumnos a prestar atención a estructuras y procesos macroscópicos -corazón, circulación sistémica- en detrimento de los microscópicos.

Con el fin de conocer el grado de consistencia de los alumnos en la utilización de sus conocimientos, comparamos las respuestas obtenidas en esta pregunta con las relativas a la identificación de diferentes procesos vitales en las células musculares. En este sentido se detecta que el 47,1 % de los alumnos de segundo de Biológicas, frente a tan sólo el 4,2 % de primer curso, señalan que una célula muscular “capta” nutrientes y que las células del miocardio necesitan el oxígeno y los nutrientes aportados por la sangre para mantener su actividad vital. Otros, en concreto el 12,5 % de los de primer curso y el 11,7 % de segundo, si bien identifican la captación de nutrientes en células musculares sólo consideran el oxígeno como gas esencial para las fibras cardiacas. Tanto en un caso como en el otro, estos alumnos también reconocen que las células musculares respiran. Otros estudiantes de primer curso, el 20,8 %, que señalan la respiración en la célula muscular pero no la captación de nutrientes, también tienen presente la necesidad de que la sangre aporte oxígeno a las células del miocardio. Se observa, por tanto consistencia en los alumnos de segundo de Biológicas que utilizan ideas científicamente adecuadas así como en los alumnos de ambos grupos que parece que entienden la respiración como un intercambio de gases. Las respuestas del resto del alumnado son más erráticas y posiblemente fruto no sólo de la falta de conocimientos o de su aplicación sino también de la escasa reflexión a la hora de emitirlas.

Respecto a la última pregunta en la que debían explicar a nivel celular el crecimiento experimentado por una hoja, tenemos que resaltar la adecuación de la mayoría de las respuestas obtenidas. Así, el 75 % del alumnado de primer curso y el 64,7 % de segundo especifica que el crecimiento de la hoja se debe al aumento del número de células o, más explícitamente a divisiones celulares. Otras explicaciones encontradas fueron el aumento de volumen celular -12,5 % en primer curso y 5,9 % en segundo de Biológicas-, o tautologías como “ha crecido”, “aumentó de tamaño”, etc.

Entre esta cuestión y la pregunta cerrada relativa a la reproducción, existen ligeras diferencias en los resultados obtenidos. En concreto, un mayor número de alumnos -el 20,8 % de primer curso y el 5,9 % de segundo- asumen ahora la división celular en comparación con los que anteriormente la identificaron en los diversos tipos celulares. Ahora bien ¿son consistentes en sus respuestas, qué relaciones conceptuales establecen?. En este sentido, el 41,2 % de los estudiantes de segundo de Biológicas se muestran coherentes al señalar que las células poseen cromosomas y que todas se reproducen, atribuyendo asimismo el crecimiento de la hoja a divisiones celulares. El grado de coherencia mostrado por los estudiantes de primer curso es sustancialmente inferior puesto que sólo 3 de los 24 alumnos encuestados -el 12,5 %- indican que toda célula contiene cromosomas y que se reproduce. Además son consistentes al explicar que la reproducción de las células es responsable del crecimiento de la hoja. Sin embargo una buena parte de los que consideran que las células vegetales carecen de cromosomas sí sostienen que se reproducen y que el crecimiento de una hoja se debe a divisiones celulares. Esto nos indica la falta de relación existente entre conceptos esenciales como son cromosomas y división celular (Banet y Ayuso, 1995).

En definitiva, se puede afirmar que los estudiantes, incluso los que inician segundo de biológicas, presentan conocimientos inadecuados sobre la anatomía y funciones celulares, detectándose, como ya han señalado otras autoras (García Rovira y Sanmartí, 1998), dificultades en ambos colectivos para aplicar principios generales a ejemplos concretos y para relacionar conceptos, base de un aprendizaje significativo.

4. Algunas consideraciones a tener en cuenta en la enseñanza

Los resultados obtenidos muestran que un importante número de los estudiantes consultados -en especial los universitarios de primer curso- no dominan los principios generales de la teoría celular al no considerar los cromosomas como componentes universales de las células ni atribuir a éstas funciones también universales, independientes, por tanto, de la función específica que realicen. En nuestra opinión las ideas mantenidas por los estudiantes no se deben tanto a las dificultades epistemológicas que sin duda presentan los principios de la Teoría celular, como a la enseñanza impartida, en la que se prima más la acumulación de conocimientos que la interpretación de los fenómenos cotidianos. En este sentido consideramos que la Historia de la Ciencia podría constituir un marco organizador de los contenidos a tratar (Duschl, 1997) en la enseñanza y aprendizaje de la Teoría celular. En cualquier caso y en líneas generales, un adecuado planteamiento didáctico debería fomentar:

- * La expresión de las ideas que poseen los estudiantes y su justificación razonada, lo que permite la reflexión sobre el propio conocimiento per-

sonal y sobre las posibles alternativas al mismo.

- * La realización de observaciones y estudio de células concretas que permitan la inducción de principios generales y la aplicación de los principios teóricos a ejemplos y observaciones concretas.
- * La diferenciación entre los distintos niveles de organización de los seres vivos, relacionando lo macroscópico y lo perceptible con lo microscópico y lo imperceptible.
- * El establecimiento explícito de relaciones entre los conceptos, superando las ya comúnmente establecidas entre estructura y función.

REFERENCIAS

- ANDERSON, C. W.; SHELDON, T. H. Y DUBAY, J. (1990). The effects of instruction of college nonmajors' conceptions of respiration and photosynthesis. *Journal of research in Science Teaching*, 27 (8), pp.761-776
- BANET, E. Y NÚÑEZ, F. (1988). Ideas de los alumnos sobre la digestión: aspectos anatómicos. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(1), pp. 30-37
- BANET, E. Y NÚÑEZ, F. (1990). Esquemas conceptuales de los alumnos sobre la respiración. *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (2), pp. 105-110
- BANET, E. Y AYUSO, E. (1995). Introducción a la genética en la Enseñanza Secundaria y Bachillerato: Contenidos de Enseñanza y conocimientos de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(2), pp. 137-153.
- BANET, E. Y AYUSO, E. (1998). La herencia biológica en la educación secundaria: reflexiones sobre los programas y las estrategias de enseñanza. *Alambique*, 16, pp. 21-31
- CABALLER, M.J. Y JIMÉNEZ, I. (1992). Las ideas de los alumnos y alumnas acerca de la Estructura Celular de los seres vivos. *Enseñanza de las Ciencias*, 10(2), pp. 172-180.
- CARMEN, L. DEL (1993). Una propuesta didáctica para analizar y reelaborar las secuencias de contenidos. *Aula de Innivación Educativa*, 10, pp. 5-8
- CAREY, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge. MA: MIT press.
- DREYFUS, A. Y JUNGWIRTH, E. (1988). The cell concept of 10th graders: curricular expectations and reality. *International Journal of Science Education*, 10(2), 221-230
- 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
- DRIVER, R., GUESNE, E. Y TIBERGHEN, A. (1995). *Children's ideas in Science*. Glasgow: Milton Keynes. Open University Press.

- DUSCHL, R. A. (1997). *Renovar la enseñanza de las Ciencias. Importancia de las Teorías y su desarrollo*. Madrid. Narcea
- GARCÍA ROVIRA, M. P. Y SANMARTÍ, N. (1988). Las bases de orientación: un instrumento para enseñar a pensar teóricamente en Biología. *Alambique*, 16, pp. 8-20
- JORBA, J. Y SANMARTÍ, N. (1996). *Enseñar, aprender y evaluar: un proceso de regulación continua. Propuestas didácticas para las áreas de la Naturaleza y Matemáticas*. Madrid. MEC.
- MANUEL, J. DE Y GRAU SÁNCHEZ, R. (1996). Concepciones y dificultades comunes en la construcción del pensamiento biológico. *Alambique*, 7, pp. 53-63
- MONDELO, M; GARCÍA BARROS, S.; MARTÍNEZ LOSADA, C. Y VEGA, P. (1997). La constitución celular. ¿Desconocimiento o dificultades en su aplicación?. *V Congreso Internacional sobre la Investigación en la Didáctica de las Ciencias*, pp. 147-148.
- MONDELO, M.; MARTÍNEZ LOSADA, C. Y GARCÍA BARROS, S. (1998). Criterios que utilizan los alumnos universitarios de primer ciclo para definir "ser vivo". *Enseñanza de las Ciencias*, 16 (3), pp. 399-408.
- OSBORNE, R. Y FREYBERG, P. (1991). *El aprendizaje de las Ciencias. Implicaciones de la Ciencia de los alumnos*. Madrid. Narcea.
- STAVY, R. Y WAX, N. (1989). 'Children's conceptions of plants as living things'. *Human Development*, 32, pp. 88-94
- STROMMEN, E. (1995). How are living things alike and different? First graders' knowledge of basic life Science concepts. *Journal of Biological Education*, 29(4), pp. 286-292

ANEXO 1

1. De los siguientes orgánulos y estructuras celulares señala cuáles encontrarías en células "típicas" animales y vegetales:

	CÉLULA ANIMAL	CÉLULA VEGETAL
Pared celular		
Membrana plasmática		
Mitocondrias		
Cromosomas		
Ribosomas		
Cloroplastos		

2. Señala con una cruz las funciones que realizan las siguientes células:

	SE REPRODUCEN	ELABORAN SU PROPIA MATERIA	CAPTAN NUTRIENTES	ELIMINAN SUSTANCIAS	RESPIRAN
Cel. de hígado					
Cel. de Parénquima clorofílico (Hoja)					
Neurona					
Cel. ósea					
Cel. embrionaria					
Cel. muscular					
Cel. pelo					
absorbente(raíz)					
Cel. mucosa estómago					
Cel. alveolos pulmonares					

3. Cuando por distintas causas no llega sangre a una zona del músculo cardíaco se puede producir un infarto de miocardio. ¿Qué crees que le ha sucedido a esa zona?. ¿Por qué es totalmente necesario que el riego del músculo cardíaco no se interrumpa?.

4. Una hoja de una planta, que en un momento determinado tenía una superficie de 4 cm^2 , alcanza al cabo de un tiempo los 6 cm^2 ¿Qué le ha ocurrido a nivel microscópico?.

ANEXO 2

Redes sistémicas relativas a la pregunta número tres.

La irrigación del miocardio es necesario porque

- Permite el funcionamiento del corazón -bombeo-
- Aporta oxígeno a las células
- Aporta oxígeno y nutrientes
- Otras

La interrupción del flujo sanguíneo en el miocardio provoca

- Interrupción de la circulación general de la sangre
- Necrosis celular
- Otras

Red sistémica relativa a la pregunta número cuatro.

El crecimiento de la hoja se debe a

- Crecimiento celular
- Reproducción celular
- Otras