

La modelización en la enseñanza de la biología del desarrollo

Antonio E. Felipe, Silvia C. Gallarreta y Graciela Merino

Departamento Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Nacional del Centro de la Prov. de Buenos Aires, Tandil, R. Argentina. email: aefelipe@vet.unicen.edu.ar

Resumen: La estrategia de enseñanza basada en modelos se fundamenta en la concepción de los mismos como el núcleo central del conocimiento científico y a la modelización, como el principal proceso para construir y utilizar ese conocimiento. En este trabajo se presenta la utilización de esas estrategias para trabajar con alumnos de profesorado en ciencias naturales empleando modelos descriptivos y explicativos. Tales modelos se aplicaron a contenidos seleccionados de biología del desarrollo (el proceso de segmentación embrionaria). Se promovió en los alumnos la reelaboración y utilización crítica de modelos con diferentes modos de representación.

Palabras clave: modelos, modelización, biología del desarrollo, segmentación.

Title: Modeling for teaching Developmental Biology

Abstract: The teaching strategy based on models is founded on the idea that they are the core to scientific knowledge and that modeling is the main process by which that knowledge is built and used. In this work, we present the use of those strategies to work with Natural Science Teacher Training students by using descriptive and explanatory models. Such models were applied to contents selected from Development Biology (the process of embryonary cleavage). Students were fostered to create models and use them critically using different ways of representation.

Keywords: models, modeling, Developmental Biology, cleavage.

Introducción

Las disciplinas científicas constituyen la fuente a partir de las cuales se seleccionan los contenidos relevantes para el trabajo educativo. De esa manera se contribuye al conocimiento por los estudiantes de los ámbitos especializados donde se organizan los saberes científicos (Romero Ayala, 2001). A su vez, la forma de organización de los contenidos no sólo incide en las actividades que realizan los estudiantes sino que también lo hace sobre la actitud de los mismos hacia el conocimiento. Para la formación docente se propone que los estudiantes adquieran y dominen un conjunto de saberes que constituyen el

perfil profesional deseado. Al perfil terminal de los estudiantes contribuyen las actividades y acciones que cada materia o curso desarrolle.

La experiencia presentada en este trabajo se refiere a la enseñanza de un proceso del desarrollo embrionario, la segmentación, basada en los modelos científicos y la modelización. Distintos trabajos dan cuenta del valor de los modelos como facilitadores de la comprensión de los conceptos científicos por los estudiantes (Acquistapace, 1997; Huddle y cols., 2000; Harrison y Treagust, 1998). De acuerdo con las posturas epistemológicas recientes, todas las teorías científicas se han generado y desarrollado contando con modelos (Gilbert y Boulter, 1995; Nersessian, 1992, Norman, 1983). Así, los modelos son inherentes a la producción, divulgación y aceptación del conocimiento generado por la ciencia, actuando como un puente entre las teorías científicas y el mundo tal como es experimentado (Gilbert, 2002).

Los objetivos de la experiencia didáctica desarrollada fueron que los alumnos lograran: a.- Comprender el proceso de segmentación embrionaria a partir de su estudio basado en modelos de enseñanza representativos de los fenómenos implicados en distintos niveles de organización; y b.- utilizar críticamente modelos científicos consensuados con diferentes modos de representación y, a partir de ellos, elaborar y reelaborar modelos expresados personales.

Los modelos y la ciencia

La ciencia es una empresa de carácter social, en la cual una estrategia para la producción de conocimientos es la construcción, utilización y revisión permanentes de modelos, tanto por parte de científicos individuales como por grupos de ellos (Bachelard; 1991; Giere, 1992, 1999). Gilbert (1991) unifica los productos y procesos de la ciencia e identifica a la construcción de modelos como un proceso supraordinado. De este modo, resulta imposible separar a la ciencia y a su enseñanza de los modelos, dado que dichos modelos son, a la vez, productos de la ciencia y las principales herramientas de aprendizaje y enseñanza (Gilbert, 1993). No obstante, mientras que el valor de los modelos y la modelización en la investigación científica tradicional está bien documentada (Black, 1962), tanto para la formulación de hipótesis como para testear y describir fenómenos o para facilitar la comunicación entre los científicos (Van Driel y Verloop, 1999), ha sido recién en la década pasada cuando se produjo el reconocimiento de su valor en la educación científica (Gobert y Buckely, 2000).

Albanese y cols. (1997) señalan que, con frecuencia, el propósito de las ciencias experimentales es explicar eventos y fenómenos del mundo natural, persistiendo actualmente un debate en torno a las formas lógicas y distintos niveles de explicación y sobre las relaciones entre teorías, modelos, observaciones y experimentos. En sus trabajos, esos autores demuestran que el nivel empírico (observacional y experimental) que conduce a la descripción de fenómenos es fundamental para dar forma científica a los objetos y procesos a ser explicados. La importancia de los modelos en la investigación científica radica

en que a través de ellos, los científicos formulan cuestiones acerca del mundo, describen, interpretan y explican fenómenos, elaboran hipótesis, testean su validez y realizan predicciones (García Monteiro y Justi, 2000; Gobert y Buckley, 2000). Hubber (2004) afirma que la única manera en que los científicos dan sentido a sus experiencias con los fenómenos naturales es mediante la construcción de teorías que incorporan a los modelos científicos. Gilbert y Boulter (1995) describen a un modelo como un intermediario entre las abstracciones de la teoría y las acciones concretas de un experimento.

Los modelos son "constructos humanos" y, por consiguiente, su existencia inicial es en la mente de una persona. Tales constructos individuales (privados y personales) son denominados *modelos mentales* (Moreira, 1999). Gilbert y Boulter (1995) señalan que es imposible acceder de manera directa a los modelos mentales por lo cual resulta necesario diferenciar esos modelos mentales de los *modelos expresados*. Los modelos expresados serían así aquellos que son colocados por un individuo en el dominio público a través de alguna forma de expresión (por ej: discurso, escritura) (Justi y Gilbert, 1999). Los modelos expresados se convierten en modelos consensuados a partir de su discusión y aceptación por parte de un grupo social. Si tal grupo social constituye una comunidad científica, el modelo consensuado puede denominarse *modelo científico*. Por lo general, tales modelos son difundidos a través de una publicación en una revista especializada (Gilbert y Boulter, 1995; Gilbert, 2002).

Ingham y Gilbert (1991) sostienen que un modelo es una representación simplificada de un sistema que concentra la atención en un aspecto específico. Cada modelo permite que algunos de sus aspectos (por ejemplo, objetos, eventos o ideas) estén en una escala diferente de la que son normalmente percibidos, o bien que entidades abstractas puedan hacerse visibles. Por su parte, Cartier (2000) plantea que los modelos científicos son conjuntos de ideas que describen un proceso natural. Esta concepción es compartida por Giere (1988) y por Kitcher (1984). Un modelo científico concebido de esa manera puede ser utilizado mentalmente, con ciertas limitaciones, para explicar o predecir fenómenos naturales. Una vez construídos, los modelos limitan el campo de cuestiones que los científicos pueden hacer sobre el mundo natural y los tipos de evidencia que ellos buscan como soporte para argumentos particulares.

Caracterización de los modelos científicos

Los modelos científicos pueden ser caracterizados en base a las siguientes aseveraciones: a- los modelos son construcciones de la mente humana, por lo tanto de naturaleza temporaria; b- son representaciones de ideas o conceptos que se tienen sobre algún aspecto de la realidad; c- son uno de los principales productos de la ciencia; d- cumplen un importante papel en la construcción del conocimiento y la comprensión de los fenómenos naturales; e- proveen representaciones de ideas y conceptos presentados dentro de una teoría; f- ayudan a los científicos a predecir, describir y explicar fenómenos naturales, objetos y estructuras; g- simplifican fenómenos o los hacen más fáciles para

trabajar con ellos; y h- coexisten distintos modelos que se pueden utilizar para describir un mismo aspecto de la realidad (Grosslight y cols., 1991; Gilbert, 1994; Gilbert y Boulter, 1995;).

Clasificación de los modelos

Bajo la denominación de modelo puede entenderse a representaciones físicas, explicaciones o ideas referidas a objetos o procesos reales. En el proceso de aprendizaje, los modelos han demostrado ser importantes ayudas para la enseñanza (Gilbert y Osborne, 1980). Gilbert y Boulter (1995) diferencian los modelos según su rol: modelos consensuados, modelos expresados y modelos mentales. El método más común de clasificar a los modelos es según su tipo, forma y estrategia de utilización (Gilbert y Osborne, 1980; Grosslight y cols., 1991). Harrison y Treagust (2000) distinguen: modelos a escala, pedagógico-analógicos, icónicos, simbólicos, teóricos, mapas, diagramas, tablas, de proceso y conceptos. Por su parte, Gobert y Clement (1994), los diferencian en estructurales, funcionales y espaciales. Buckley y cols. (1997) clasificaron a los modelos como dinámicos o estáticos, determinísticos o estocásticos, materiales o simbólicos. A los fines del desarrollo del presente trabajo se adoptó una tipología que permitiera incluir tanto a los modelos presentes en las publicaciones científicas utilizadas con los alumnos como a otros tipos de representaciones de dichos modelos (Figura 1).

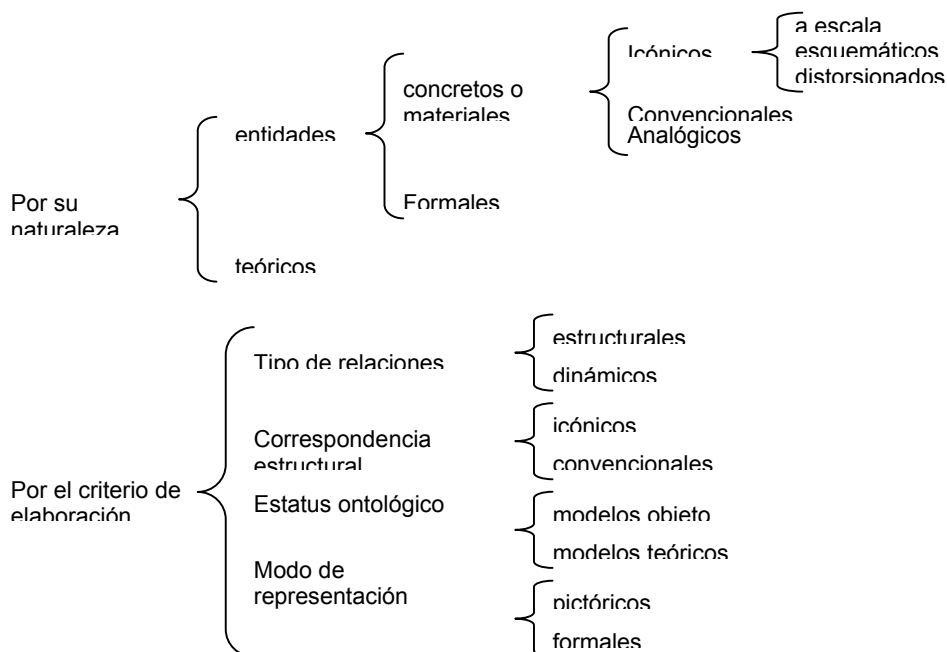


Figura 1.- Clasificación de los modelos en base a su naturaleza y criterios de elaboración.

Los modelos como entidades son construcciones (maquetas, fórmulas o esquemas como un circuito eléctrico o del sistema nervioso). Los modelos teóricos son conjuntos de enunciados. Los modelos formales son estructuras lógico-matemáticas (ecuaciones, fórmulas); los modelos materiales son representaciones espaciales de entidades o fenómenos (aislados o en conjunto). Estos pueden ser: convencionales (sin similitud entre el modelo y lo representado, como una pirámide poblacional); icónicos (con cierta semejanza entre lo modelizado y el modelo); o analógicos (utilizando un dominio o algo conocido para modelizar una realidad menos conocida). Los modelos icónicos pueden ser: modelos a escala (tratan de mantener o conservar los rasgos del fenómeno modelizado en forma y/o funcionamiento). Se pueden elaborar por magnificación (de una célula, de un órgano pequeño) o por reducción (maqueta de un barco). Otro tipo de modelos icónicos son los esquemáticos (se presentan seleccionando algunas propiedades) y los distorsionados (con algunas propiedades a escala y otras fijas, como una representación del sistema circulatorio). Considerando el criterio para su elaboración, los modelos pueden ser estructurales, cuando el objetivo es modelizar un conjunto de relaciones estructurales; o modelos funcionales, cuando se busca representar aspectos del funcionamiento de un sistema. Si se busca o no correspondencia estructural entre el modelo y el blanco, se habla de: modelos icónicos y modelos convencionales. Si el criterio es el estatus ontológico, se habla de modelos objeto y modelos teóricos, y si el criterio es el modo de representación: modelos pictóricos y modelos formales.

Junto con la tipología presentada (Figura 1) se consideró, durante el trabajo con los alumnos, la existencia de modelos mentales causales (de Kler y Brown, 1986). Bajo esa denominación se comprende a aquellos modelos mentales que permiten a un sujeto ir desde la estructura de un objeto o sistema (cómo está constituido) hasta su funcionamiento. Al respecto se presentan cuatro etapas: 1- la representación del sistema (su estructura), 2- visualizar el sistema (cómo funciona), 3- ejecutar el sistema (imaginarlo funcionando o simulación mental), y 4- comparar con la realidad los resultados imaginados del modelo (Moreira, 1999).

En forma complementaria con la tipología citada se consideró el trabajo de Gilbert (2002) sobre los modos de representación de un modelo en la educación científica. Este autor señala que la conversión de un modelo mental en uno expresado puede darse mediante una o más de cinco formas. Cada una de estas formas o modos de representación posee características que permiten enfocar los aspectos particulares de un modelo. Las formas son:

1.- modo concreto: se elabora con materiales resistentes una representación tridimensional. Este modo de representación permite expresar relaciones espaciales y temporales entre las entidades del modelo.

2.- modo verbal: tanto hablado como escrito (o simbólico), consiste en una descripción de las entidades y las relaciones entre ellas.

3.- modo matemático: es la elaboración de expresiones bajo la forma de ecuaciones.

4.- modo visual: utilizando diagramas, gráficos y animaciones.

5.- modo gestual: mediante el empleo del cuerpo o sus partes. Permite tratar relaciones de posición y movimiento.

Los modelos científicos y la enseñanza

La enseñanza basada en modelos y la modelización ocupa un lugar importante en muchas propuestas curriculares. Entre los requisitos para una enseñanza de las ciencias acorde con la concepción contemporánea de las mismas Jiménez y Sanmartí (1999) indican que se debería contemplar a la ciencia como construcción de modelos provisionales.

Los modelos de enseñanza juegan un rol importante en la educación científica. Ellos pueden ser definidos como modelos especialmente desarrollados para ayudar a los estudiantes a comprender modelos consensuados y a sostener la evolución de modelos mentales en determinadas áreas. Dada esta función, los modelos de enseñanza tienen un especial nivel de complejidad. Esto es, deben preservar la estructura conceptual del modelo consensuado, demostrar el constante y dinámico interjuego a través de la acción en ciencia y negociar con el conocimiento previo de los estudiantes para proveer modos en los que puedan construir su comprensión personal de la ciencia. En los modelos de enseñanza juegan un importante rol las analogías, especialmente para facilitar la comprensión de conceptos científicos. Esto ha sido intensamente estudiado en años recientes (Harrison y Treagust, 2000; Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001).

Los estudiantes desarrollan una amplia variedad de comprensiones en torno a la noción de modelo en el transcurso de su educación en ciencias (Justi y Gilbert, 2002). En las situaciones de enseñanza y de aprendizaje los estudiantes pueden conocer, comprender y elaborar modelos y además desarrollar una mejor comprensión de los procesos y propósitos de la ciencia junto con los contenidos mediante la modelización (Gobert y cols., 2002). Dado que el proceso de modelización es una parte significativa de los procesos y productos de la ciencia, es importante que los estudiantes obtengan algunos conocimientos sobre los modelos en la ciencia y su papel en la construcción del conocimiento científico. En este trabajo se concibió a la modelización como una serie de actividades en las cuales los estudiantes utilizaran diferentes formas de representación de los conceptos desarrollados para formular descripciones y explicaciones de los mismos, elaboraran sus propias representaciones, analizaran críticamente los modelos utilizados (señalando su utilidad y sus limitaciones), y los compararan con modelos presentados por libros de texto y publicaciones científicas.

Los estudiantes necesitan adquirir experiencia trabajando con modelos (utilizándolos como una herramienta para resolver problemas), reflexionando sobre esas experiencias, discutiendo las funciones de los modelos en la investigación científica (Grosslight y cols., 1991). Este tipo de trabajo incidiría positivamente en los modelos mentales de los estudiantes. En la teoría de los modelos mentales se afirma que el sujeto utiliza representaciones internas que

pueden ser proposiciones (cadenas de símbolos que corresponden al lenguaje natural), modelos mentales (análogos estructurales del mundo) e imágenes (modelos vistos desde un determinado punto de vista) (Moreira, 1999). Los modelos mentales pueden ser revisados recursivamente. Esto significa que los modelos mentales de los alumnos son revisados y modificados ante nuevas aserciones descriptivas (Moreira y cols., 2002)

Los modelos conceptuales desarrollados por los biólogos del desarrollo, como otros científicos, para organizar, describir y explicar sus observaciones del mundo natural y de laboratorio pueden tener un rol significativo en la enseñanza de la biología del desarrollo. Al utilizar los modelos elaborados por los científicos es necesario también que los estudiantes comprendan la naturaleza y las funciones de los modelos utilizados en ciencia (Hubber, 2004). Un modelo tiene en su núcleo una relación analógica que necesita ser construída y comprendida por los estudiantes (Duit y Glynn, 1995), a fin de no subestimar la naturaleza metafórica de los modelos (Barnea, 1997). Además, los estudiantes deben identificar todas las características del modelo (Kozma y Russell, 1997).

Contexto de trabajo

Las consideraciones teóricas presentadas anteriormente se utilizaron como marco de referencia para trabajar, durante los ciclos lectivos 2002 y 2003, en el Espacio Curricular Biología del Desarrollo Animal. Este espacio se ubica en el cuarto y último año del Profesorado en Ciencias Naturales. Dicho espacio está diseñado como una serie de encuentros para la síntesis e integración de contenidos trabajados en los años precedentes de la Carrera y la adquisición de nuevos contenidos.

Las actividades desarrolladas por el docente permitieron centrar su actitud como colaborador en el proceso de aprendizaje de los alumnos, tanto mediante el diseño de los materiales de trabajo, la estimulación de los estudiantes a participar activamente en el proceso, la co-evaluación de las tareas y la generación de un clima de trabajo donde se formularan preguntas y promovieran discusiones. Parte importante de la actividad docente se centró en evaluar la comprensión de los contenidos por los estudiantes para orientar el trabajo en cada clase y enfatizar el uso de los modelos como herramientas para la comprensión, representación y explicación de datos o conceptos científicos, resultantes tanto de la aplicación de teorías como de experimentos.

Los alumnos se comprometieron a constituirse en un grupo cooperativo de aprendizaje, asumiendo actitudes y comportamientos acordes con los de una comunidad científica. Para ello se analizaron pautas de trabajo (comportamiento y normas de participación) utilizadas por investigadores en situaciones de desempeñarse en laboratorios o asistir a reuniones científicas. Esta información se obtuvo mediante el análisis de las normas de presentación de trabajos en jornadas y congresos (defensas de pósters y comunicaciones orales) y la entrevista a dos investigadores en ciencias biológicas. Las normas seleccionadas fueron:

a.- Presentar la información con su correspondiente justificación empírica o teórica.

b.- Discutir con fundamentos.

c.- Trabajar colaborativamente.

d.- Presentar argumentos basados en la evidencia teórica o empírica.

e.- Respetar el origen de la información.

f.- Evitar emitir juicios valorativos con fundamentos subjetivos.

g.- Mantener una actitud de curiosidad e indagación.

h.- Juzgar las producciones propias y de otros con criterios considerados objetivos.

Con respecto a los modelos presentados en el material de trabajo o elaborados por los alumnos, las normas de trabajo fueron:

a.- Identificar el tipo de modelo utilizado y su función, infiriendo su correspondencia con el o los objetivos para los cuales fue elaborado.

b.- Establecer las correspondencias entre la fuente (el modelo) y el blanco (la estructura biológica que está siendo representada), determinando los elementos o procesos que han sido deliberadamente dejados de lado.

c.- Determinar la correspondencia de los modelos con los datos disponibles (presentados por el autor, tanto en el caso de una publicación científica como en la producción por los alumnos).

d.- Determinar el poder descriptivo, explicativo y predictivo de cada modelo, reconociendo sus limitaciones.

e.- Determinar la consistencia del modelo con otros modelos referidos al mismo objeto o proceso y con conceptos científicos.

Contenidos seleccionados

El contenido seleccionado fue el proceso de segmentación durante el desarrollo embrionario temprano en los metazoos. Previamente, se habían analizado los procesos de gametogénesis (ovogénesis y espermatogénesis), la fecundación y la morfofisiología de la cigota (Anexo 1). Al tratar estos temas se recuperaron conocimientos previos sobre anatomofisiología del sistema reproductor y sobre las características de las células y los tejidos.

Con respecto al proceso de segmentación, se comenzó el trabajo con un cuestionario para determinar concepciones previas (ver *Material de trabajo*). Luego se analizaron los aspectos morfológicos del proceso de segmentación en los mamíferos euterios, tomando como organismo modelo al ratón de laboratorio. Con esta base se comparó el mismo proceso en otros mamíferos y en aves, anfibios, peces e invertebrados utilizados en trabajos de laboratorio.

El trabajo con los alumnos se organizó en torno a dos ejes: la consideración de los tipos de modelos utilizados por los científicos y en la enseñanza de la biología del desarrollo y el análisis de la utilidad de los modelos en la disciplina.

Material de trabajo

Para las actividades de clase se elaboraron tres tipos de recursos didácticos:

1.- Modelos tridimensionales (concretos e icónicos) del desarrollo embrionario temprano. Estos consistieron en un conjunto de maquetas representativas de la serie de estadios y subestadios del desarrollo desde la cigota al estadio de blástula, en peces teleósteos, aves y mamíferos euterios, que incluía una secuencia completa del proceso de segmentación (Figuras 2, 3 y 4).



Figura 2.- Modelos concretos tridimensionales de cigotas.



Figura 3: Modelos concretos del proceso de segmentación en mamíferos.



Figura 4: Modelos concretos del proceso de segmentación en aves.

Los estudiantes, al trabajar con los modelos, debían efectuar su descripción utilizando los conocimientos teóricos tratados en forma previa. Durante esta tarea, se discutían tanto qué intentaba representar cada estructura de la maqueta y si la forma de representación podía inducir a errores de interpretación.

2.- Guía de trabajo: la guía de trabajo se diseñó para promover la modelización por los alumnos de los objetos y procesos que eran estudiados. La guía presentó:

a.- un texto introductorio al proceso en estudio, en el cual se ubicaba la etapa de segmentación en el contexto del desarrollo embrionario temprano.

b.- un texto descriptivo, sin imágenes, del proceso de segmentación en una especie modelo utilizada en estudios biológicos (ratón de laboratorio). A partir de la lectura e interpretación del texto, los estudiantes debían elaborar representaciones gráficas.

c.- láminas con figuras representativas del proceso de segmentación en ratón y otros mamíferos de laboratorio (marsupiales y euterios), elaboradas especialmente para este trabajo o seleccionadas de textos o publicaciones científicas.

d.- láminas con microfotografías de embriones de ratón y otros mamíferos de laboratorio (marsupiales y euterios), en diferentes subestadios de segmentación.

El contenido de las láminas y las microfotografías sirvieron para que los estudiantes compararan sus representaciones con las presentadas por libros de texto, elaboradas por el docente u obtenidas en laboratorios.

e.- láminas con representaciones del proceso de segmentación en otras especies modelo de laboratorio: un gusano nemátodo (*Caenorhabditis elegans*), erizo de mar (*Paracentrotus lividus*), un molusco (*Dentalium spp.*), una rana (*Xenopus laevis*) y la mosca de la fruta (*Drosophila melanogaster*).

Estas láminas permitieron discutir los límites de los modelos como generalizaciones, establecer comparaciones entre modelos y analizar el proceso de segmentación en distintas especies.

f.- Actividad "*Buscando patrones*". La consigna central de esta actividad fue la búsqueda del patrón de segmentación en un roedor a partir del análisis y del establecimiento de la secuenciación de subestadios de segmentación utilizando 54 microfotografías de embriones. Con esta actividad se promovió que los estudiantes construyeran, en modo semejante a lo que acontece en un laboratorio, un modelo.

g.- Actividad "*Tablas cronológicas del desarrollo preimplantacional*". Se presentaron diagramas espaciales y temporales del desarrollo temprano en dos roedores que permitieron localizar anatómica y cronológicamente los subestadios de segmentación en dos especies modelo. Con el análisis de las tablas cronológicas, los estudiantes pudieron establecer comparaciones entre dos modelos que tratan de explicar un mismo fenómeno en especies distintas, observando diferencias y similitudes.

Los componentes c, d y e de la guía implicaron la utilización de modos de representación visual.

3.- Guía de estudio. La guía de estudio se estructuró con el formato de una monografía sobre el proceso de segmentación. Como recursos bibliográficos para su elaboración se seleccionaron publicaciones científicas referidas al proceso de segmentación en las cuales se presentaran modelos descriptivos y explicativos contruídos por diferentes investigadores. Tales modelos correspondieron con aspectos parciales de la segmentación. La monografía se diseñó con una primera parte basada en el enfoque morfológico y una segunda parte de neto corte experimental. En ambos casos, se presentaron diferentes concepciones teóricas y/o experimentos históricos, así como actividades intercaladas en los textos, tanto para la revisión de conocimientos previos como para la aplicación de los nuevos contenidos.

La información textual y la figurativa se seleccionó para brindar información que enriqueciera las representaciones de los alumnos sobre el proceso de segmentación y los condujera desde un modelo descriptivo a modelos más complejos, que permitieran la realización de descripciones y explicaciones y la formulación de hipótesis abarcando diferentes niveles de organización o "*módulos funcionales*" organizados jerárquicamente con crecientes niveles de complejidad (Martínez Arias, 2002). De esta manera se adaptaron los contenidos disciplinares al enfoque contemporáneo de la biología del desarrollo (Gilbert, 2001; Gilbert y Tuan, 2001).

Secuencia didáctica

La secuencia didáctica desarrollada para la concreción del presente trabajo se presenta en el Anexo 2.

1.- Cuestionario sobre modelos:

El cuestionario estuvo compuesto por 12 ítems conformados de 20 preguntas, 16 de ellas de respuesta abierta (Cuadro 1). Parte de las preguntas fueron seleccionadas y modificadas de los trabajos de Crawford y Cullin,(2002 y 2004) y de Grosslight y cols. (1991). El cuestionario se elaboró a fin de obtener indicadores de las siguientes variables:

- identificación de modelos,
- concepto de modelo,
- clasificación de modelos,
- características de los modelos,
- función de los modelos,
- utilización y elaboración de modelos en los estudios,
- utilización y reelaboración de modelos en la investigación,
- cambios de los modelos científicos a través del tiempo,
- posibilidad de utilización de modelos múltiples,
- utilización personal de modelos múltiples,
- criterios para la selección de variables a incluir en la elaboración de un modelo.

1- Dada la siguiente lista de elementos: a) un auto de juguete; b) un esquema en un libro; c) una fotografía; d) un diagrama o mapa conceptual; e) un dibujo; f) una maqueta; g) una tabla de datos, h) una fórmula química; i) un gráfico circular.

1.1- ¿Cuáles consideras que pueden ser modelos?

1.2- ¿Por qué los consideras modelos?

1.3- Los elementos que seleccionaste como modelos: ¿pueden corresponderse con diferentes clases de modelos? ¿Cuáles son esas clases?

2- ¿Cómo podrías explicarle qué es un modelo a alguien que no sabe lo que es?

3- ¿Para qué sirven los modelos? (¿Cuál es su propósito?)

4.1- ¿Consideras que utilizaste modelos durante tus estudios? ... SI ...NO

4.2- ¿Qué ejemplos podéis mencionar?

5- ¿Qué relación consideras que debe existir entre el modelo de un objeto o fenómeno y el objeto o fenómeno en sí?

6- A tu criterio ¿qué características debería tener un buen modelo?

7.1-- ¿Consideras que has elaborado modelos en tus estudios? ... SI ...NO

7.2- ¿Qué ejemplos puedes mencionar?

7.3- Consideras que ha re-elaborado (o modificado) modelos en tus estudios? ... SI ...NO

7.4- ¿Qué ejemplos puedes mencionar?

8- ¿Cómo explicarías el proceso (o trabajo) seguido en la elaboración de un modelo (o modelización)?

- 9- ¿Consideras que se utilizan modelos en la investigación científica?
Siempre Muchas veces Pocas veces Nunca
- 10.1- Si tu respuesta fue afirmativa, ¿Crees que los modelos utilizados por los científicos han cambiado con el tiempo?. SINO.
- 10.2- ¿Por qué?
- 11- ¿Consideras que los investigadores pueden tener más de un modelo para el mismo objeto o fenómeno? Por favor, fundamenta tu respuesta.
- 12- ¿Consideras que al estudiar una materia has trabajado con más de un modelo para el mismo objeto o fenómeno? Por favor, fundamenta tu respuesta.

Cuadro 1: Items del cuestionario sobre modelos

Se efectuó un análisis cualitativo y cuantitativo de las respuestas dadas al cuestionario. El componente cuantitativo consistió en un análisis de porcentajes. Las variables enunciadas para el cuestionario fueron asumidas como categorías para su análisis. En el caso particular de la categoría "concepto de modelo" se consideraron tres posibles concepciones: estructural, funcional y estructural-funcional.

2.- Cuestionario inicial del tema (Anexo 3):

Este cuestionario constó de dos partes, ambas destinadas a la exploración de las representaciones mentales de los alumnos. En la primera, de resolución grupal, los alumnos debían responder preguntas orientadas a la recuperación de conocimientos sobre las etapas previas a la segmentación. En la segunda parte, referida a los componentes y procesos implicados en la división celular, se formulaban cuestiones que debían resolverse mediante la elaboración de respuestas escritas, dibujos y la interpretación de figuras. Así se explicitaban las concepciones de los alumnos en torno a la división celular (mitosis y citocinesis), los elementos celulares participantes y sus interrelaciones. Esta segunda parte se utilizó como componente del cuestionario final.

3.- Guía de trabajo:

a.- Texto introductorio. Mediante la lectura del texto, se amplió la recuperación de contenidos previos y se contextualizó el proceso de segmentación.

b.- Texto descriptivo. Los alumnos elaboraron individualmente representaciones gráficas de las descripciones presentes en el texto y fundamentaron las mismas sobre la base de sus conocimientos previos de biología general y celular. Cumplida esta fase, discutieron en grupo sus producciones a fin de acordar una representación común, la cual fue expuesta, con sus fundamentos, ante los demás grupos. Estos analizaron y evaluaron las presentaciones, buscándose un acuerdo general.

A continuación se realizaba el análisis grupal de las láminas y microfotografías, estableciendo comparaciones y elaborando interpretaciones. Con estas actividades se promovió que los alumnos aplicaran sus habilidades para moverse entre los distintos modos de representación de un modelo

4.- Las maquetas se analizaron en series individuales y en forma comparativa, tanto desde la perspectiva disciplinar como de su valor como representaciones de modelos interpretativos de la segmentación. Las mismas se utilizaron en dos instancias (Anexo 2). La primera, al finalizar la actividad con la Guía de trabajo y la segunda luego de analizar la guía de estudio. Esto permitió reelaborar gradualmente los conceptos y modelos.

5.- Guía de estudio:

Los alumnos trabajaron de manera autónoma con la guía. La misma además de implicar una apreciación de los enfoques históricos y el surgimiento de nuevos modelos a través del tiempo, permitió abordar el contenido desde distintos niveles de organización biológica. Así, los aspectos genéticos y proteómicos se abordaron desde el análisis de experimentos desarrollados con distintas especies modelo, para las cuales se presentaron los modelos explicativos y las predicciones elaboradas por diferentes investigadores. Los resultados del trabajo con la guía de analizaron en los encuentros teóricos del Espacio Curricular.

6.- Actividad "Buscando patrones". Con esta actividad se promovió la aplicación de conceptos sobre la morfología del proceso de segmentación. Observando y analizando las microfotografías, los alumnos tuvieron la posibilidad de obtener, analizar e interpretar datos, elaborar información y organizar los datos buscando patrones e intentar explicaciones de esos patrones mediante la utilización de un modelo científico consensuado o elaborado por ellos.

Trabajando con la guía de estudio y luego de cumplimentar la actividad "Buscando patrones", los estudiantes retomaron sus modelos elaborados a partir del texto descriptivo y del trabajo con las maquetas. Debieron entonces aplicar los nuevos conocimientos en la revisión de sus modelos. Esta tarea se efectuó tanto individual como grupalmente, debiendo los alumnos compartir sus modelos y las evidencias en las cuales los basaban. Las presentaciones individuales o grupales se concretaron mediante las sesiones de posters o afiches.

7.- Actividad "*Tablas cronológicas del desarrollo preimplantacional*". Con esta actividad se promovió la obtención de información a partir del análisis de representaciones gráficas que incorporaban variables espaciales y temporales del desarrollo temprano. Luego de consensuar el procedimiento de análisis con una de las especies seleccionadas, se aplicó el mismo a la segunda especie y se elaboraron conclusiones mediante un análisis comparativo. A continuación se retomaron los resultados obtenidos en las actividades previas para seleccionar aquellos contenidos que podían reelaborarse sobre la base de la nueva información.

8.- Cuestionario final del tema (Anexo 4): Se aplicó este cuestionario antes de la evaluación sumativa (ver monitoreo y evaluación). El mismo constó de dos partes. La primera, como se indicó, fue la misma que la de la parte B del cuestionario inicial. La segunda parte se basó en obtener diferentes tipos de representaciones (dibujos, diagramas, textos explicativos y descriptivos y formulación de predicciones) sobre el proceso estudiado.

9.- Cuestionario final sobre modelos: este cuestionario consistió en los ítems dos a doce del cuestionario inicial sobre modelos y modelización. Las respuestas dadas por los estudiantes se analizaron sobre la base de las mismas categorías que el inicial y sus resultados sirvieron para efectuar un análisis comparativo.

Durante el desarrollo de la secuencia didáctica se introdujeron lecturas breves sobre los modelos científicos y el proceso de modelización. A partir de tales lecturas se orientó el trabajo de análisis, valoración y utilización de los modelos durante el aprendizaje de la biología del desarrollo.

Seguimiento y evaluación

El seguimiento fue continuo y tuvo como fines el seguimiento de la calidad de la participación de los alumnos y la verificación de la utilidad de las actividades y acciones para la concreción de los objetivos. Se prestó especial atención a la comprensión de las consignas de trabajo y de los textos utilizados, al registro de las producciones de los alumnos, sus presentaciones orales individuales y grupales, su habilidad para interpretar modelos, para elaborar descripciones y explicaciones y formular predicciones (Tabla 1).

El seguimiento permitió mantener la necesaria flexibilidad del plan de trabajo en clase y la introducción de modificaciones cuando fueron necesarias, logrando gradualmente un ajuste a las necesidades y requerimientos de los alumnos. Por ejemplo, ante la necesidad de recuperar y profundizar conceptos trabajados en otros espacios curriculares, se efectuó su tratamiento en clase. Para ello se recurrió a las fuentes bibliográficas ya conocidas por los alumnos y el aporte de nueva bibliografía.

Las evaluaciones tuvieron carácter procesual, continuo y bidireccional (participaron de las mismas tanto los alumnos como el docente a cargo). Los alumnos autoevaluaron su desempeño, las producciones elaboradas y evaluaron los materiales y las estrategias didácticas utilizadas. La evaluación por el docente se basó en el trabajo en clase de los estudiantes, sus producciones y una prueba sumativa, al finalizar el tema, de tipo escrito e individual. La misma presentó una primera parte basada en un texto de divulgación científica en el cual los alumnos debían aplicar los contenidos trabajados, elaborar representaciones y justificar las mismas; y una segunda parte, donde se presentaron ítems para analizar figuras, explicar procesos, efectuar descripciones y formular hipótesis.

Fuente	Tipo de información obtenida
Cuestionario inicial	Preconcepciones.
Elaboración de dibujos relativos a la estructura y funcionamiento	Capacidad de representar gráficamente, tipo de representaciones, elementos representados, relaciones topográficas, complejidad, niveles biológicos seleccionados y representados. Asociación conceptos/imágenes.
Exposiciones individuales y grupales	Selección y uso de los conceptos, capacidad explicativa, interacción social.
Interpretación de modelos tridimensionales	Aplicación de conceptos, capacidad interpretativa (identificación de estructuras), inferencia de relaciones estructura/función, evaluación como representaciones.
Análisis de modelos bidimensionales	Aplicación de conceptos, capacidad interpretativa (identificación de estructuras), inferencia de relaciones estructura/función, evaluación como representaciones
Mapas conceptuales	Selección y uso de los conceptos, establecimiento de relaciones, jerarquización de contenidos, posibilidad de elaborar proposiciones derivadas de los mapas.
Exámenes	Selección y uso de los conceptos, capacidad explicativa y predictiva, asociación conceptos/imágenes.
Cuestionario final	Selección y uso de los conceptos, capacidad explicativa y predictiva, asociación conceptos/imágenes.

Tabla 1.- Fuentes de datos para el monitoreo y la evaluación

Resultados del cuestionario sobre modelos

En el Anexo 5 se presentan algunos resultados comparados entre las respuestas iniciales y finales al cuestionario sobre modelos.

Con respecto a la modelización, al comienzo de las actividades, los estudiantes la concebían como "hacer", "armar", "construir" modelos de tipo concreto. Al finalizar el trabajo la caracterizaron como un proceso y como una habilidad para elaborar representaciones sobre la base de objetivos predeterminados, utilizar para interpretar la realidad y evaluarlas con criterios teóricos y empíricos.

Resultados de la parte 2 del cuestionario inicial del tema

Los estudiantes no mostraron dificultades para describir el proceso de división en las células somáticas, caracterizando las fases de la mitosis. Sin embargo, al mencionar los componentes celulares implicados en ella, sólo hicieron referencia al huso mitótico y los cromosomas. En ningún caso se diferenció mitosis de citocinesis. Todos los estudiantes reconocieron que el ciclo celular presenta varias fases, pero no justificaron la afirmación; consideraron que la división celular dura el mismo tiempo en todos los organismos; que la división de un grupo celular está siempre sincronizada, que

la división de las células es simétrica, que en toda división celular, los componentes de la célula madre se distribuyen por igual entre las dos células hijas; que la división celular está regulada por genes y moléculas específicas y que la división celular implica siempre un aumento del tamaño (o volumen) de la célula progenitora. Ninguno de los estudiantes resolvió los ítems seis y siete del cuestionario (ver Anexo 3).

Resultados de la parte 1 del cuestionario final del tema

Al igual que en su resolución inicial de las actividades de este cuestionario, los estudiantes describieron el proceso de mitosis, enriqueciendo sus trabajos mediante la mención de todos los elementos celulares participantes y diferenciando este proceso del de citocinesis. La mayoría de ellos (un 88,2%), acompañó sus descripciones con dibujos del proceso. En cuanto a las afirmaciones del ítem 4, fueron justificadas de manera correcta (con referencia a los contenidos científicos) en todos los casos.

Resultados de la parte 2 del cuestionario final del tema

La mayoría de los alumnos definió de manera correcta y completa al proceso de fecundación, y los conceptos de cigota, segmentación, mórula, blástula y blastocisto. Todos elaboraron esquematizaciones de una cigota, una mórula, la segmentación y el blastocisto. En el caso de la segmentación establecieron las diferencias entre aves y mamíferos, caracterizando el proceso sobre la base de criterios científicos (por ejemplo: cantidad y disposición de vitelo). Con referencia a las cuestiones formuladas en el ítem 7 (ver Anexo 4), además de determinar la falsedad de la primera aseveración ("La segmentación de un óvulo es una serie de divisiones mitóticas"), fundamentaron su afirmación de falsedad de la segunda oración ("La segmentación es un proceso mediante el cual la cigota sufre una serie de divisiones mitóticas rápidas"), estableciendo las diferencias entre las mitosis de las células somáticas y las células embrionarias tempranas. Todos los estudiantes efectuaron una correcta distribución espacial de los subestadios de segmentación. El 84% de los estudiantes resolvieron de manera correcta las actividades del ítem 12.

Conclusiones y recomendaciones didácticas

El uso extensivo de modelos en la enseñanza de las ciencias de manera pasiva (sin analizar su papel, naturaleza simbólica, limitaciones y fortalezas), conduce al estudiante a la percepción de los modelos como meras descripciones y a una comprensión ingenua del papel de los modelos en ciencia. Esto ha quedado demostrado en las investigaciones sobre las concepciones que los estudiantes tienen sobre los modelos científicos (Harrison y Treagust, 2000). La utilización activa de los modelos, en cambio, puede contribuir a la percepción de los mismos como interpretativos y herramientas de predicción.

En el proceso de aprendizaje los modelos han probado ser ayudas para la enseñanza como proveedores de representaciones analógicas (Gilbert y Osborne, 1980). El trabajo con modelos requiere que los estudiantes identifiquen el análogo (el modelo) con el blanco (la realidad) (Gilbert y Boulter, 1995; Stephens y cols., 1999). Si el estudiante no logra esta conexión, el modelo carece de valor. Cuando los estudiantes utilizan modelos apreciando sus limitaciones, se forman conexiones entre el análogo y el blanco, y cada estudiante construye un modelo mental personal para el concepto.

Una de las actividades que apunta a la adquisición y el desarrollo de capacidades para la generación del conocimiento científico es la modelización. Comprender el conocimiento científico implica también aprender sobre la ciencia y hacer ciencia, esto es no sólo conocer los productos o resultados finales de la actividad científica sino también los procesos que conducen a los mismos. Si bien accedemos en la mayoría de los casos a la ciencia como una colección de "acuerdos sobre hechos", es posible acercarnos a ella a partir del conocimiento y la práctica de sus metodologías para la producción del conocimiento. Esto no necesariamente implica disponer de los equipos de laboratorio necesarios, sino intentarlo enfrentado a los alumnos con las experiencias presentadas en publicaciones científicas. Esto amplía las posibilidades del trabajo docente, al no quedar limitado al uso de modelos curriculares o instruccionales, elaborados por los docentes o presentados en los libros de texto (Justi y Gilbert, 1999).

Sigüenza Molina (2000), refiriéndose al trabajo con modelos y la resolución de problemas en genética señala que los docentes deberían trabajar, entre otros aspectos, favoreciendo *"la explicitación, por parte de los alumnos, de la topología del sistema (objetos, estados y procesos) para evitar en lo posible errores de etiquetado"* y *"cuestionando la robustez de los modelos generados por los alumnos para provocar la reflexión y facilitar la selección y adopción de modelos científicamente válidos"*. Con esto se contribuiría al *"avance en el conocimiento de las formas de percepción y de representación mental de conocimientos científicos particulares"*.

Trabajar con los atributos de un modelo permite a los estudiantes reconocer sus fortalezas y limitaciones, les da orientaciones para clasificar al modelo y reconocer el nivel de representación en la que el modelo se presenta. De esta forma se van adquiriendo criterios científicos de trabajo, que pueden, al interactuar con los criterios personales, reemplazarlos o enriquecerlos (Treagust y cols., 2001). Un componente importante de la enseñanza basada en modelos es favorecer las habilidades de los alumnos para moverse entre distintos modos y niveles de representación. La secuencia didáctica utilizada en este trabajo facilitó la integración conceptual e interdisciplinaria propia de la biología del desarrollo contemporánea e incluir la comprensión de los códigos asociados con los niveles canónicos de representación (Treagust y Chittleborough, 2001). Es importante recordar que los científicos utilizan, para comunicar sus modelos, dibujos, esquemas, gráficos, ecuaciones, estructuras tridimensionales o palabras. Esos modelos son juzgados por su capacidad

explicativa y/o predictiva y su coherencia con otros conocimientos, así como frecuentemente revisados (Cartier, 2000). De manera semejante, los docentes emplean muchas de esas formas de representación para comunicarse con sus alumnos. Por consiguiente, podemos destacar que no es suficiente, en la formación de futuros profesores, el trabajo con los contenidos disciplinares propios de un espacio curricular, sino que debería asumirse el compromiso de contribuir a su formación integral en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias. Los modelos y el proceso de modelización, utilizados activamente por los alumnos, pueden contribuir eficazmente con ese propósito.

Referencias bibliográficas

Acquistapace, V.L. (1997). Chemistry illustrated. *The Science Teacher*, 64 (4), 29-31.

Albanese, A.; Danhoni Neves, M.C. and Vicentini, M. 1997. Models in science and in education: a critical review on student's ideas about the earth and its place in the universe. *Science Education*, 6, 573-590.

Bachelard, G. (1991). *La formación del espíritu científico*. México: Siglo XXI Editores.

Barnea, N. (1997). The use of computer-based analog models to improve visualisation and chemical understanding. In J. Gilbert (Ed.), *Exploring Models and Modelling in Science and Technology Education* (first ed., Vol. 1). Reading UK: Faculty of Education and Community Studies, University of Reading.

Black, M. (1972). *Models and Metaphors*. Cornell: Cornell University Press.

Buckley, B.C., Boulter, C. y Gilbert, J. (1997). *Towards a typology of models for science education*. Reading UK: Faculty of Education and Community Studies, The University of Reading.

Cartier, J. (2000). Assessment of explanatory models in genetics: Insights into Students' Conceptions of Scientific Models. Report No. 98-1, NCISLA/Mathematics & Science, University of Wisconsin-Madison, pp.25.

De Kleer, J. y Brown, J.S. (1983). Assumptions and ambiguities in mechanistic mental models. En D. Gentner y A.L. Stevens (Eds.). *Mental models* (155-190). Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.

Duit, R. y Glynn, S. (1995). Mental modelling. Paper presented at the Science Education Research in Europe, Leeds 7-11 April 1995.

Galagovsky, L. y Aduriz-Bravo, A. (2001). Modelos y analogías en la Enseñanza de las Ciencias Naturales. El concepto de modelo didáctico analógico. *Enseñanza de las Ciencias*, 19 (2), 231-242.

Garcia Monteiro, I. y Justi, R.S. (2000). Analogias em livros didáticos de química brasileiros destinados ao ensino médio. *Investigações em Ensino de Ciências*, 5, 2. En: http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol5/n2/v5_n2_a1.htm

Giere, R. N. (1988). *Explaining science: A cognitive approach*. Chicago: The University of Chicago Press.

Giere, R. (1992). *La Explicación de la Ciencia*. México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

Giere, R. (1999). Del realismo constructivo al realismo perspectivo. *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra, 9-13.

Gilbert, J.K. (Ed.) (1993). *Model and modelling in Science Educations*. Hatfield, UK: Association for Science Education.

Gilbert, J.K. (1997). *Models in science and science education, Exploring models and modelling in science and technology education*. Reading, UK: The University of Reading.

Gilbert, J.K. (1994). Studies and fields: Directions of research in science education. *Studies in Science Education*, 25, 173-197.

Gilbert, J.K. (2002). Moving between the modes of representation of a model in science education: some theoretical and pedagogic implications. Conference Philosophical, Psychological, Linguistic Foundations for Language and Science Literacy Research, University of Victoria, Canadá.

Gilbert, S.F. (2001). Ecological developmental biology: developmental biology meets the real world. *Developmental Biology online*, 1-12.

Gilbert, S.W. (1991). Model building and a definition of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 28 (1), 73-79.

Gilbert, J.K. y Boulter, C. (1995). Stretching models too far. Paper presented at the Annual Conference of the American Educational Research Association, San Francisco.

Gilbert, J.K.; Boulter, C. y Rutherford, M. (1998). Models in explanations, Part. 1: Horses for courses?. *International Journal of Science Education*, 20 (1), 83-97.

Gilbert, J.K., y Osborne, R.J. (1980). The use of models in science and science teaching. *European Journal of Science Education*, 2(1), 3-13.

Gilbert, S.F. y Tuan, R.S. (2001). New vistas for developmental biology. *Journal of Biosciences* 26 (3), 293-298.

Gobert, J., y Clement, J. (1994). Promoting causal model construction in science through student-generated diagrams. Paper Presented at the annual meeting of the American Educational Research Association, New Orleans, LA.

Gobert, J. y Buckley, B. (2000). Introduction to model - based teaching and learning in science education. *International Journal of Science Education*, 22 (9), 891-894.

Gobert, J., Snyder, J. y Houghton, C. (2002). The influence of students' understanding of models on model-based reasoning. Paper Presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association, New Orleans, LO, April 1-5.

Grosslight, L., Unger, C., Jay, E. y Smith, C. (1991). Understanding models and their use in science: Conceptions of middle and high school students and expert. *Journal of Research in Science Teaching*, 28 (9), 799-822.

Halloun, I. (1996). Schematic modeling for meaningful learning of physics. *International Journal of Science Education*, 33(9), 1019-1041.

Harrison, A. G. y Treagust, D. F. (1998). Modelling in science lessons: Are there better ways to learn with models? *School Science and Mathematics*, 98 (8), 420-429.

Harrison, A. y Treagust, D. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22 (9), 1011-1026.

Hubber, P. (2004). Understanding Scientific Models within an Optics Context. Physics Teachers' Annual Conference, February 5. En http://www.vicphysics.org/events/stav2004/Physics_A5.doc

Huddle, A., P., White, M. D. y Rogers, F. (2000). Using a teaching model to correct known misconceptions in electrochemistry. *Journal of Chemical Education*, 77(1), 104-110.

Ingham, A. y Gilbert, J. (1991). The use of analogical models by students of chemistry at higher educations level. *International Journal of Science Education*, 13 (2), 193-202.

Jiménez, M.P. y Sanmartí, N. (1999). ¿Qué ciencia enseñar?: objetivos y contenidos en la educación secundaria. En: L. Del Carmen (comp.), *La enseñanza y el aprendizaje de las ciencias de la naturaleza en la educación secundaria* (17-45). Bs. Aires: Ed. Horsori.

Justi, R. y Gilbert, J. (1999). A Cause of ahistorical science teaching: the use of hybrid models. *Science Education*, 83 (2), 163-177.

Justi, R. y Gilbert, J. (2002). Development of the notion of model. Workshop Investigating the mysteries of models and modelling. PS7-E-Symp.

Kitcher, P. (1984). 1953 and all that. A tale of two sciences. *The Philosophical Review*, 93. 335-373.

Kozma, R.B. y Russell, J. (1997). Multimedia and understanding: Expert and novice responses to different representations of chemical phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(9), 949-968.

Martinez Arias, A. 2002. Towards a molecular analysis of development. En *Molecular Principles of Animal Development* (1-35). Cambridge: University of Cambridge.

Moreira, M.A. (1999). Modelos mentales. Texto de Apoyo nº 8. Programa Internacional de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias, Universidad de Burgos, Burgos, España.

Moreira, M.A.; Greca, I.M. y Rodríguez Palmero, M.L. (2002). Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza/aprendizaje de las ciencias. *Rev. ABREPEC* 2 (3), 36-56.

Nersessian, N. (1992). How Do Scientist Think? Capturing the Dynamics of Conceptual Change in Science. En R.N. Gere (Ed): *Cognitive models of science* (3-44) Vol. XV. Minnesota Studies in the Philosophy of Science. Minneapolis: Univ. Minnesota Press.

Norman, D.A. (1983). Some observations on mental models. En M. Gentner y A.L. Stevens (Eds.). *Mental models* (6-14). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Romero Ayala, F. (2001). El problema de la organización de las materias de enseñanza: intradisciplinariedad e interdisciplinariedad. *Revista Electrónica Escuela Pública, Asociación para la Mejora y Defensa de la Escuela Pública en la Región de Murcia (AMYDEP)*, v1 (n2).

En <http://www.amydep.com/revista/numero2/v1n2a5.htm>

Sigüenza Molina, A.F. (2000). Formación de modelos mentales en la resolución de problemas de genética. *Enseñanza de las Ciencias*, 18 (3) 439-450.

Stephens, S., McRobbie, C.J. y Lucas, K.B. (1999). Model-based reasoning in a Year10 classroom. *Research in Science Education*, 29 (2), 189-208.

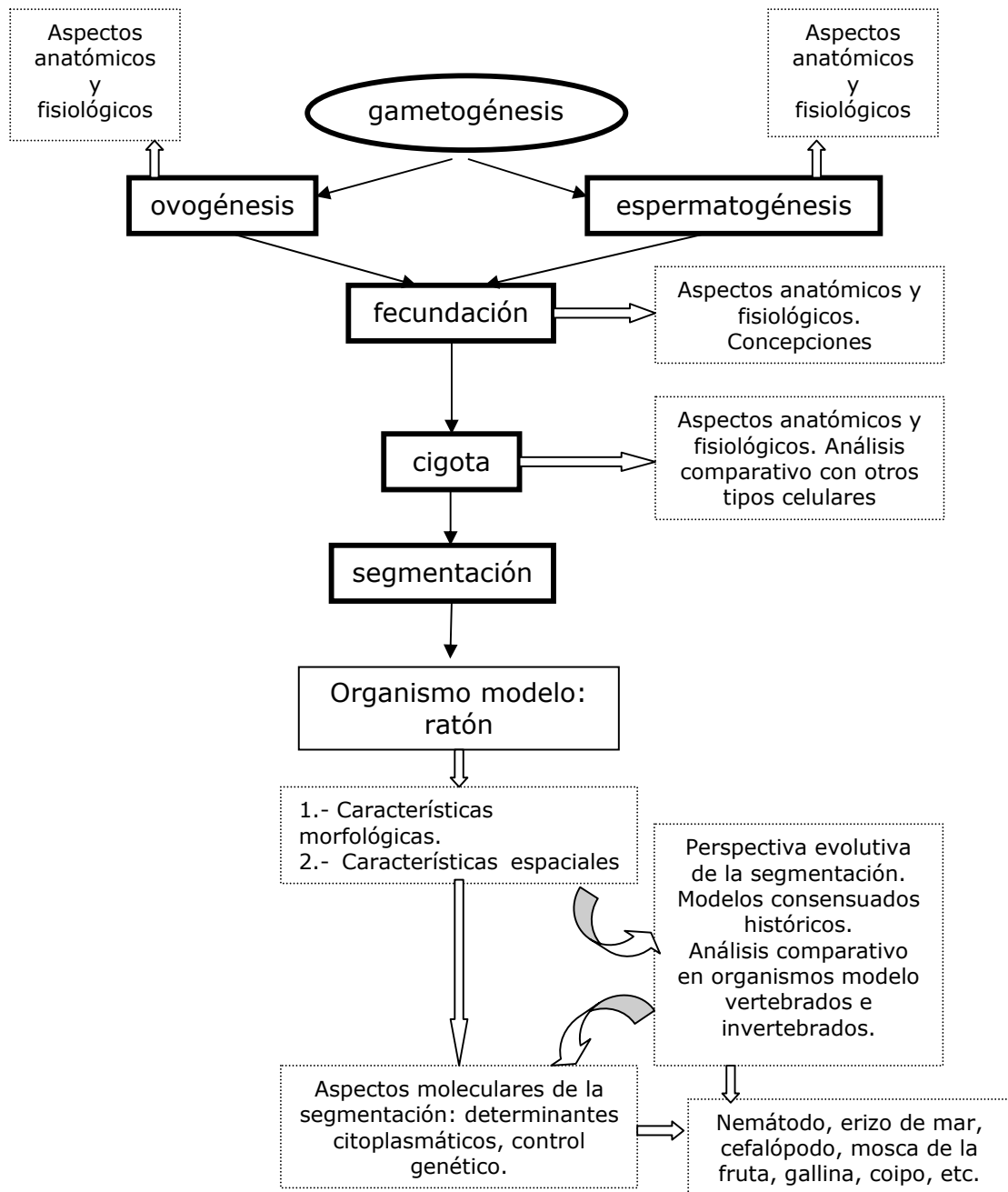
Treagust, D.F. y Chittleborough, G. (2001). Chemistry: a matter of understanding representations. Subject-specific instructional methods and activities, vol. 8, pp. 239-267, New York, Elsevier. Op. Cit. por Gilbert (2002).

Treagust, D.F.; Chittleborough, G. y Mamiala, T. (2001). Students' concept of models: An epistemological and ontological perspective. Proceedings Western Australian Institute for Educational Research Forum 2000. En <http://education.curtin.edu.au/waier/forums/2001/treagust.html>

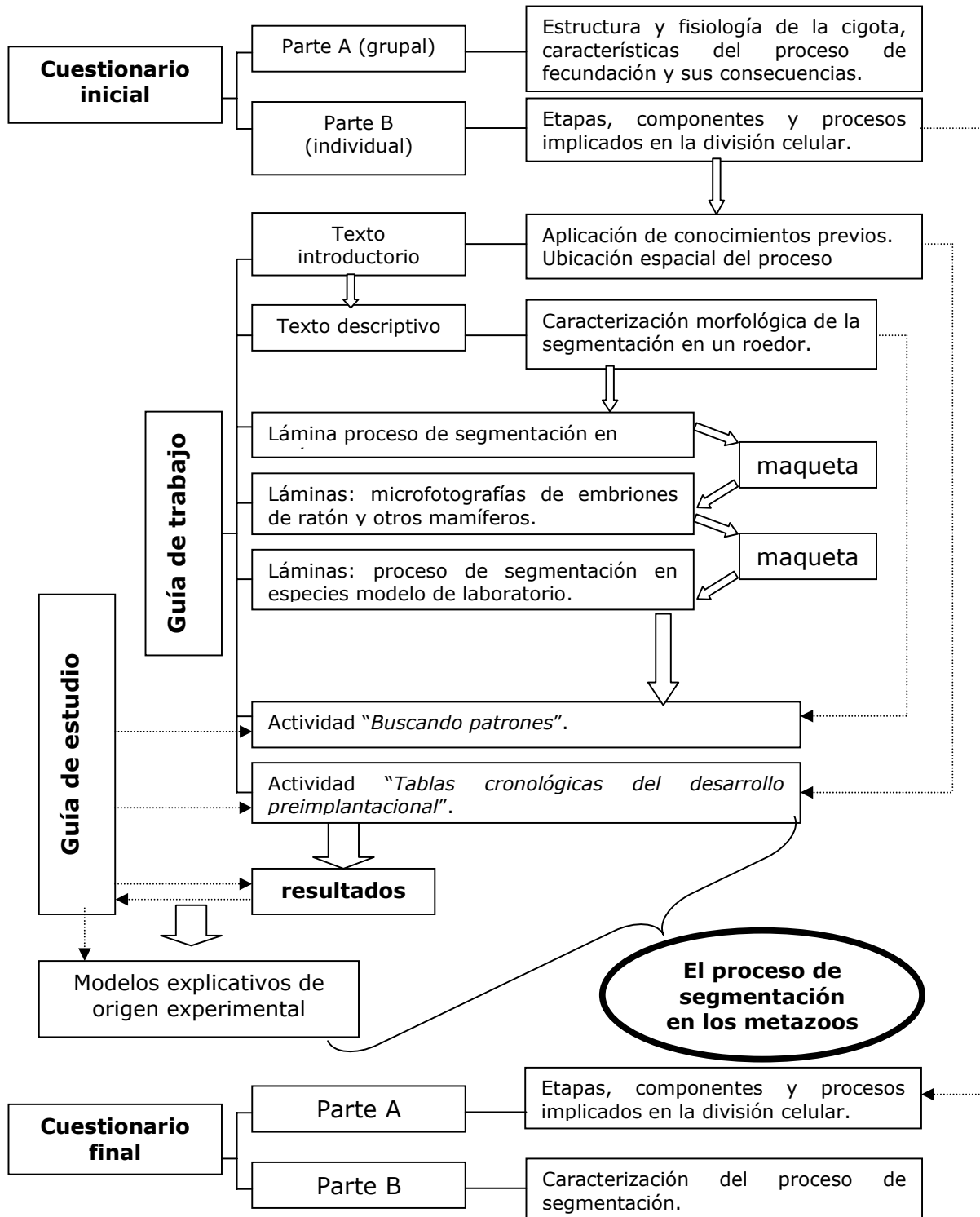
Toulmin, S. (1977). *La Comprensión Humana*. Tomo I: El uso colectivo y la evolución de los conceptos. Madrid: Alianza Editorial.

Van Driel, I. y Verloop, N. (1999). Teachers knowledge of models and modelling in science. *International Journal of Science Teaching*, 21 (11), 1141-1153.

Anexo 1. Diagrama de contenidos.



Anexo 2. Diagrama de la secuencia didáctica. Explicación en el texto. Las flechas blancas indican la contrastación de resultados con otras actividades; las flechas punteadas indican aplicación de conceptos en la resolución de actividades y el análisis y la valoración de modelos.



Anexo 3. Cuestionario inicial del tema.

Parte 1:

1.- Definí, de la manera que consideres más adecuada, los siguientes términos: fecundación, ovocito, espermatozoide, cigota, embrión.

2.- Realiza la esquematización (dibujo) de: a.- un ovocito u óvulo, b.- un espermatozoide, y c.- una cigota.

Coloca todas las referencias que consideres necesarias para señalar los elementos que componen cada dibujo.

Describe cada uno de los dibujos que elaboraste.

3.- Completa la siguiente tabla:

Estructura	Se parece a....	Porque....	Lo podés comparar con
ovocito			
cigota			

4.- Esquematiza una célula e indica todos los elementos representados en tu dibujo.

5.- a.- ¿Consideras que un ovocito es una célula? SI NO

b.- ¿Por qué?

c.- ¿Cuáles, de los elementos que presentaste en tu dibujo de una célula estarían, a tu criterio, presentes en un ovocito?

6.- a.- ¿Consideras que una cigota es una célula? SI NO

b.- ¿Por qué?

c.- ¿Cuáles, de los elementos que presentaste en tu dibujo de una célula estarían, a tu criterio, presentes en una cigota?

7.- Si estás de acuerdo con cada afirmación presentada en la siguiente tabla, colocá una cruz (X) en la columna de **SI**, si no estás de acuerdo, colocá la cruz en la columna **NO**. Por favor, justificá tu respuesta en el espacio punteado debajo de cada afirmación. Si tu respuesta no es SI ni NO, colocá un signo de pregunta (?) en ambas columnas. En este caso, te pedimos que justifiques tu duda.

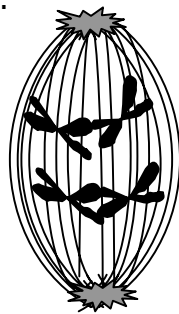
AFIRMACIONES	SI	NO
1. Una cigota puede compararse con "una esfera recubierta por una tela".		
2. La zona pelúcida es a los embriones como un papel de envolver a un paquete.		

8.- Elabora un mapa conceptual donde establezcas con los siguientes términos: ovocito - cigota - fecundación - zona pelúcida - células foliculares - espermatozoides - gametas - ovario - folículos.

9.- Redacta tres oraciones a partir del mapa conceptual elaborado.

Parte 2:

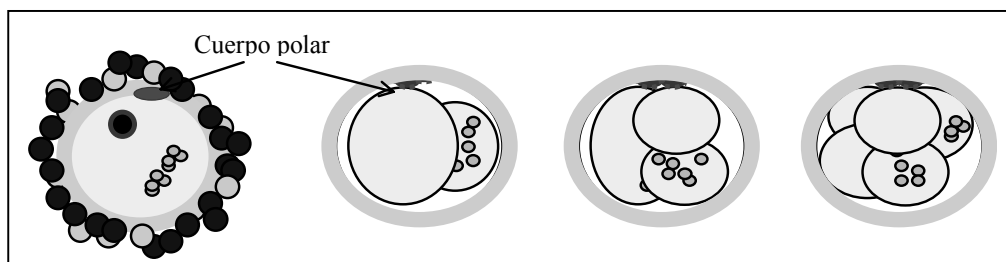
- 1.- Describe brevemente el proceso de división en las células somáticas.
- 2.- Indica los componentes celulares involucrados en el proceso de división en las células somáticas.
- 3.- Indica qué elementos y procesos de la división celular se tratan de representar en la siguiente figura.



4.- Indica la verdad (V) o falsedad (F) de las siguientes aseveraciones marcando con una cruz en el casillero correspondiente. Por favor, justifica tu respuesta.

Aseveraciones	V	F	No se
a.- El ciclo celular presenta varias fases.			
b.- La división celular dura el mismo tiempo en todos los organismos.			
c.- La división de un grupo celular está siempre sincronizada (todas las células se dividen al mismo tiempo).			
d.- La división de las células es simétrica (da origen a dos células iguales en tamaño y forma).			
e.- En toda división celular, los componentes de la célula madre se distribuyen por igual entre las dos células hijas.			
f.- La división celular está regulada por genes y moléculas específicas.			
g.- La división celular implica siempre un aumento del tamaño (o volumen) de la célula progenitora.			

5.- Explica el contenido de la siguiente figura.



6.- Indica lo que ocurriría, *en el mediano y en el largo plazo*, si en un medio donde se encuentran células en división....

a.- Se adiciona una sustancia inhibidora de la polimerización de los microtúbulos.
--

b.- Se adiciona una sustancia estimulante de la mitosis.
--

7.- Representa gráficamente las situaciones a y b del item anterior.

Anexo 4. Cuestionario final del tema.

Parte 1: Idem a parte 2 del cuestionario inicial.

Parte 2

1.- Define, de la manera que consideres más adecuada, los siguientes términos: fecundación, cigota, segmentación, mórula, blástula y blastocisto.

2.- Completa el cuadro realizando la esquematización (dibujo) de los estadios nombrados. Coloca todas las referencias que consideres necesarias para señalar los elementos que componen cada dibujo.

cigota	segmentación
mórula	blastocisto

3.- Completa la siguiente tabla

Estructura	Se parece a....	Porque....	Lo podés comparar con
Cigota			
Mórula			
Blastocisto			

4.- En los libros de texto suele compararse al estadio embrionario denominado "mórula" con "una pelota de células". Desde tu punto de vista:

a- ¿Es una buena comparación.SINO

b- ¿Por qué?

c- ¿En qué considerás que se asemeja una mórula a una pelota?

d- ¿En qué considerás que se diferencia una mórula de una "pelota de células"?

6.- Algunos investigadores consideran que un blastocisto es un "organismo en miniatura". Para sostener tal afirmación se basan en la complejidad estructural de ese estadio y las diferentes funciones que puede desarrollar.

a- Estás de acuerdo con la afirmación hecha.SINO

b- Por qué?

7.- Dada las siguientes definiciones de "segmentación", indica para cada una:

a- si es correcta o no, b- si está completa o no, - qué le modificarías (sacarías o agregarías). Por favor, fundamenta tu respuesta.

a- La segmentación de un óvulo es una serie de divisiones mitóticas.

b- La segmentación es un proceso mediante el cual la cigota sufre una serie de divisiones mitóticas rápidas.

8.- ¿Cómo le explicarías a alguien que no sabe nada de embriología qué es:

- a- la segmentación?
- b- una mórula?
- c- un blastocisto?

9.- La siguiente afirmación es correcta. Fundamenta por qué.

“ Los embriones desde la etapa de dos células hasta blastocisto recorren el oviducto sin que exista el riesgo de adherirse a su epitelio o de dispersión de sus células.”

10.- Explica por qué:

- a- Para realizar transferencia de embriones se prefieren aquellos que poseen una zona pelúcida intacta.
- b- La semejanza en forma y tamaño de los blastómeros indica la salud de un embrión preimplantacional.
- c- La diferenciación del embrioblasto es una condición imprescindible para que se desarrolle el cuerpo del embrión.

11.- Si estás de acuerdo con cada afirmación presentada en la siguiente tabla, coloca una cruz (X) en la columna de **SI**, si no estás de acuerdo, coloca la cruz en la columna **NO**. Por favor, justifica tu respuesta en el espacio punteado debajo de cada afirmación. Si tu respuesta no es SI ni NO, coloca un signo de pregunta (?) en ambas columnas. En este caso, te pedimos que justifiques tu duda.

AFIRMACIONES	SI	NO
1. Una cigota puede compararse con “una esfera recubierta por una tela”.		
2. La zona pelúcida es a los embriones como un papel de envolver a un paquete.		
3. Las células de una mórula permanecen unidas de manera semejante a las uvas en un racimo.		
4. El estadio de mórula recibe ese nombre por su semejanza a una mora.		

12.- Analiza los datos presentados a continuación y redacta las conclusiones correspondientes.

La segmentación en M. coypus

En la investigación sobre el desarrollo preimplantacional de *M. coypus* se consideraron como embriones en estadio de segmentación a aquellos especímenes que presentaron de 2 hasta 9 células (n=66). Los embriones con 10 o más células se incluyeron, de acuerdo a su morfología general en el estadio de mórula.

Lugar y tiempos de recolección:

Datos 1

a) Tabla 1: Características témporo-espaciales de los embriones en estadio de clivaje.

Subestadio	Número de embriones	Lugar de Recolección	Tiempo (días)		Otros Estadios
			poscoito	fin del estro	
2 células	34	Istmo cefálico	3 a 5	3 a 5	ovocito a 6 células
3 células	7	Istmo cefálico	3 a 5	3 a 5	ovocito a 6 células
4 células	6	istmo cefálico y medio	3 a 5	3 a 5	6 a 9 células
5-7 células	7	istmo medio y caudal (*)	3 a 6	3 a 7	2 células a mórula no compactada
8-9 células	12	istmo caudal	5 a 6	5 a 6	mórula no compactada

(*) no se incluye el embrión uterino de 6 células obtenido el día 7 p.c..

b.- Un espécimen de 6 células, obtenido el día 7 p.c. a escala uterina, hermano de embriones en estadio de mórula.

Análisis de los datos:

¿En qué sector o sectores del oviducto se recolectó un mayor porcentaje de embriones?

¿En qué período de tiempo se recolectó un mayor porcentaje de embriones?

¿Qué valor descriptivo le otorgarías *al espécimen de 6 células, obtenido el día 7 p.c. a escala uterina?* ¿Por qué?

Datos 2

Los datos de la tabla 2 se reorganizan en las tablas 3 y 4 por lugar de recolección y por tiempo p.c.

Tabla 3: Distribución de los embriones tubáricos en distintos subestadios de clivaje según el segmento oviductal de recolección. Valores en porcentajes.

Subestadio	Segmento oviductal		
	istmo cefálico	istmo medio	istmo caudal
2 células	100		
3 células	57,2	42,8	
4 células	33,3	66,7	
5-7 células		50	50
8-9 células			100

Tabla 4: Distribución de los subestadios de clivaje en días poscoito. Valores expresados en porcentajes.

Subestadio	Tiempo poscoito (días)			
	3	4	5	6
2 células	29,4	61,8	8,8	
3 células	71,4	14,3	14,3	
4 células	50		50	
5-7 células	14,3	57,2	14,3	
8-9 células			58,3	41,7

¿Cuál sería la conclusión general obtenida de los datos presentados con respecto a la progresión del proceso de segmentación en el coipo?

Anexo 5. Resultados del cuestionario sobre modelos.

Categorías	Previo al trabajo	Al finalizar el trabajo
Concepto de modelo	Casi todos los estudiantes (78,6%) consideraron a los modelos como representaciones estructurales y concretas de la realidad. Pocos alumnos (11%) reconocieron la existencia de los modelos estructural-funcionales o abstractos.	La mayoría de los estudiantes (94%) reconocieron la existencia de los modelos estructural-funcionales o abstractos.
Función de los modelos	la mayoría de los estudiantes (44%) consideró a los modelos como elementos facilitadores de la comprensión en la enseñanza. El resto les atribuyó las siguientes funciones: orientadores de la observación y el estudio; explicativos; facilitadores del establecimiento de relaciones y funciones; descriptivos.	La mayoría de los estudiantes (65%) consideró a los modelos como herramientas para la investigación y facilitadores de la comunicación de ideas científicas.
Utilización y elaboración de modelos en los estudios	La mayoría de los alumnos consideró haber utilizado modelos en sus estudios (86,2%).	La totalidad de los alumnos consideró haber utilizado modelos en sus estudios.
Utilización y reelaboración de modelos en la investigación	La mayoría de los estudiantes (92,3%) consideró que se utilizan modelos en la investigación.	La totalidad de los estudiantes consideró que se utilizan modelos en la investigación.
Cambios de los modelos científicos a través del tiempo	El 83 % de los estudiantes consideró que los modelos utilizados en las ciencias cambian con el tiempo.	La totalidad de los estudiantes consideró que los modelos utilizados en las ciencias cambian con el tiempo.
Posibilidad de utilización de modelos múltiples	El 71% de los estudiantes aceptó la posibilidad de utilización de modelos múltiples.	La totalidad de los estudiantes aceptó la posibilidad de utilización de modelos múltiples.
Utilización personal de modelos múltiples	Sólo el 12 % de los estudiantes afirmó haber utilizado más de un modelo para el mismo objeto o fenómeno.	La totalidad de los estudiantes afirmó haber utilizado más de un modelo para el mismo objeto o fenómeno.
Características de los modelos	Para el 50% de los estudiantes, un modelo debe presentar identidad con el objeto. Para el 22,5%, semejanza con el objeto. El resto no responde.	Para el 65% de los estudiantes, un modelo debe representar las características del objeto o fenómeno seleccionadas por el modelizador, concordando con los objetivos propuestos para su elaboración. El 35% restante hizo referencia a las semejanzas entre el modelo y lo representado.

