

HABILIDADES DE VISUALIZACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE EMBRIOLOGÍA VETERINARIA

VISUALIZATION SKILLS OF STUDENTS OF VETERINARY EMBRYOLOGY

Antonio Eduardo FELIPE¹; Silvia Carmen GALLARRETA¹; Graciela MERINO²

¹Depto. Cs. Biológicas, Fac. Cs. Veterinarias, UNCPBA, Campus Universitario (B7000GHG) Tandil; ² UNLP; Buenos Aires, República Argentina.

Dirección postal: J. Hernández 353, (B7000GHG) Tandil, TE: 0291-449332.

E-mail: afelipe@vet.unicen.edu.ar

Resumen. Las representaciones científicas son imágenes visuales que pueden ser decodificadas, interpretadas y valoradas en sus alcances y limitaciones. El propósito de este estudio fue caracterizar las habilidades de visualización de estudiantes de embriología utilizando representaciones gráficas. Se trabajó con 32 estudiantes universitarios voluntarios del primer año de Ciencias Veterinarias. Se efectuaron dos series de entrevistas. La primera, con la totalidad de los estudiantes, se centró en la indagación de nociones sobre términos relacionados con las habilidades de visualización. En la segunda serie, 12 estudiantes resolvieron instrumentos de visualización, orientación y relaciones espaciales. Los estudiantes calificaron a las tareas como de alta dificultad por su falta de hábitos en el trabajo con imágenes, reconociendo que hacían uso de las mismas sólo para distraerse o por obligación. La mayoría de los estudiantes (83.3%) señaló que habían elaborado representaciones ante las exigencias de sus docentes. La mayoría de los estudiantes (58%) resolvió al menos la mitad de las rotaciones solicitadas. El rango de respuestas correctas en el establecimiento de relaciones espaciales fue del 50 al 92%. En conclusión, la mayoría de los estudiantes carecía de experiencia en la utilización didáctica de imágenes, mostrando deficiencias en las habilidades de visualización.

Palabras clave: visualización, estudiantes, embriología.

Abstract. Scientific representations are visual images that count on referring concepts and can be decodified, interpreted and valued. The aim of the present study was to characterize the visualization skills of students of veterinary embryology using graphic representations. Thirty two first year Veterinary Sciences voluntary students were interviewed in two occasions. First interview included all students and assessed their knowledge about terminology related with visualization skills. Twelve students participated in the second interview which was based on the resolution of instruments of spatial visualization, spatial orientation and spatial relationships. Student's opinion was that the work was very difficult. This could be explained for their inexperience in working with images; moreover they recognized that they had just used them for entertainment or obligation. The majority of interviewees (83.3%) expressed they had previously made representations only to fulfill teacher's requirements. Fifty eight percent of students were able to resolve at least half of the rotations. In regard to the ability to establish spatial relations, the range of right answers was 50 to 92%. It can be concluded that most of the students lacked experience in the didactic use of images, showing deficiencies in their visualization skills.

INTRODUCCIÓN

La memoria a largo plazo ha sido considerada como la capacidad, siempre mejorable, de registrar, retener y recordar conceptos, hechos, fenómenos y relaciones. La mejora de este tipo de memoria se basa en la utilización eficiente de estrategias y técnicas, las cuales se centran en tres mecanismos básicos: la asociación, la categorización y la visualización. En este trabajo

nos ocupamos de la visualización, entendida fundamentalmente como la capacidad para “ver mentalmente”, para representar en la imaginación un objeto concreto y dotarlo de un color, tamaño, forma y características definidos. El término *visualización* se emplea para referirse a las actividades de imaginación visual y se extiende en su uso para aplicarlo a la creación de imágenes externas que permiten expandir la

experiencia visual o imaginación (1, 2, 3). Numerosos avances científicos parecen deberse a la capacidad de visualización (4).

Diferentes autores han señalado que la esencia de la creatividad científica está asociada con la imaginación visual, metafórica y temática, concibiendo a los científicos como pensadores y comunicadores visuales (4, 5, 6). Mathewson (6) destaca que *“Los fenómenos y procedimientos de la ciencia y la tecnología son visuales, analógicos y temáticos. Basados en estas características, el núcleo visual de la ciencia puede ser descrito en términos de imágenes maestras (master images) en el contenido de la ciencia y procesos visuales en la práctica de la ciencia”* (p. 529).

Muchas de las representaciones científicas son consideradas como imágenes visuales (diagramas, esquemas, microfotografías, imágenes digitalizadas, ecografías, etc.) que, en alguna etapa de su elaboración, contaron con una mediación instrumental o tecnológica. Tales representaciones disponen de un concepto científico que actúa como referente y pueden ser decodificadas por los expertos, interpretadas y valoradas en sus alcances y limitaciones. Entre estas últimas, la distancia entre la reconstrucción visual del concepto referente y su representación. En cambio, los alumnos pueden aceptar como verdaderas a tales representaciones, sin contemplar la mediación instrumental existente (7). Prendes Espinosa (8) conceptualiza a las imágenes externas como representaciones de la realidad, sin necesidad de mantener relación de semejanza con ella, que se constituyen con lenguaje y códigos particulares. De esta forma, las imágenes pueden ser susceptibles de diferente lectura y análisis, como se señaló, entre expertos y novatos. Cabe considerar aquí que los expertos poseen una red compleja de representaciones de distintos órdenes y que pueden moverse en esa red con facilidad, pudiendo cambiar de modelo en base a la actividad que desarrollan. Esto se basa en que poseen los conocimientos de las hipótesis teóricas que establecen nexos entre el modelo y la realidad modelizada (7). Esta amplia capacidad

de moverse entre los modos y niveles de representación, no puede atribuirse, de manera automática, a los estudiantes. Varias investigaciones han demostrado la complejidad que presenta la habilidad para moverse entre modos y submodos de representación. Recordemos que esta habilidad es central para el logro de una completa comprensión de los modelos científicos. La información contenida en las imágenes se procesa de un modo diferente a la contenida en un texto. Por otra parte, las imágenes poseen un contenido informativo polisémico, dificultando predecir la o las posibles interpretaciones que puede realizar un sujeto de una imagen dada (9).

Así como en el terreno de la ciencia la capacidad de visualización es considerada relevante en la producción de nuevos conocimientos, en el ámbito educativo resulta importante el desarrollo de habilidades de alfabetización visual, estrechamente relacionadas con la capacidad de visualización. Barnea (10) establece tres habilidades (aplicables a todos los modos de representación) en orden ascendente de importancia: a.- visualización espacial: habilidad para entender con precisión objetos tridimensionales desde sus representaciones bidimensionales; b.- orientación espacial: habilidad para imaginar cómo se verá una representación desde una perspectiva diferente; y c.- relaciones espaciales: habilidad de visualizar el efecto de operaciones como rotación, reflexión e inversión, o para manipular objetos mentalmente.

En el caso particular de la enseñanza de contenidos embriológicos, las imágenes utilizadas requieren del establecimiento de relaciones topológicas. Estas son internas dentro de una figura u objeto, o constituyen relaciones bicontinuas simples entre dos o más figuras. Tales relaciones se construyen cuando el espacio se percibe como relaciones de proximidad y separación, continuidad y sucesión, interioridad, exterioridad y contorno. Dada su particular complejidad y el constante uso que se hace de las imágenes en la enseñanza de la embriología, el

propósito de este estudio fue caracterizar la capacidad de visualización de estudiantes de esa disciplina utilizando representaciones gráficas (imágenes pictóricas concretas).

METODOLOGÍA

Muestra: se trabajó con 32 estudiantes del segundo cuatrimestre del primer año de Ciencias Veterinarias que habían aprobado el Curso de Histología, Embriología y Teratología. Los estudiantes fueron notificados de los fines del trabajo y participaron voluntariamente.

Contexto de trabajo: se utilizaron los mismos espacios físicos destinados a las actividades prácticas del Curso, efectuándose entrevistas individuales fuera de las actividades curriculares habituales.

Fases e instrumentos de trabajo: El trabajo se organizó en dos series de entrevistas individuales. La primera abarcó a la totalidad de

la muestra y se centró en la indagación de sus nociones sobre términos relacionados con las habilidades de visualización. Para ello se elaboró una entrevista semiestructurada centrada en los conceptos de posiciones en el espacio, rotación, eje de rotación, inversión, grados de rotación y relaciones entre componentes de un objeto (ver Anexo 1). Durante el trabajo, se les solicitó a los estudiantes la realización de esquematizaciones libres que ejemplificaran algunos de esos conceptos.

En la segunda serie de entrevistas, se trabajó con 12 participantes seleccionados al azar. Para estas entrevistas, a fin de evaluar la capacidad de visualización de los estudiantes, se elaboraron tres instrumentos de resolución individual, uno para cada habilidad implicada (visualización espacial, orientación espacial y relaciones espaciales) (Cuadro 1 y Anexo 2).

Instrumento - Habilidad	Descripción	Puntaje
1.- Visualización espacial	a.- Dada una representación bidimensional los estudiantes debían describir (en formas oral y escrita) y esquematizar cómo sería el objeto en su vista tridimensional. Objeto: diagrama de embrión mamífero en estadio de gástrula con dos de sus anexos (amnios y saco vitelino).	- descripción oral adecuada y completa: 1 punto. - descripción oral adecuada e incompleta: 0.5 punto. - descripción escrita adecuada y completa: 1 punto. - descripción escrita adecuada e incompleta: 1 punto. - esquematización adecuada: 1 punto. (total: 3 puntos)
	b.- Dadas representaciones bidimensionales seriadas de embriones con sus anexos, los estudiantes debían seleccionar la opción correcta de cada uno de los cuatro conjuntos de afirmaciones dadas.	- 1 punto por cada acierto (total 4 puntos).
2.- Orientación espacial	Dadas representaciones bidimensionales yseudotridimensionales los estudiantes debían describir cómo se vería el objeto si se rotara 45° y 90° a la derecha. Objetos: blastocisto mamífero y feto de ratón de 15 días de gestación.	- 1 punto por cada acierto (total 8 puntos).
	Se muestra un objeto en dos posiciones diferentes, que representan sendas rotaciones según los ejes X, Y- o Z-. Los estudiantes deben seleccionar de una serie de imágenes dadas, el objeto cuya posición representa la siguiente rotación en el patrón establecido. Objetos: esquemas del desarrollo del páncreas y del encéfalo.	- 1 punto por cada acierto (total 2 puntos).
3.- Relaciones espaciales	Dadas representaciones bidimensionales los estudiantes debían describir cómo se vería el objeto si fuera observado "desde arriba", "desde abajo" y "desde adentro". Objeto: discoblástula.	- 1 punto por cada acierto (total 3 puntos)

Cuadro 1. Instrumentos elaborados para evaluar la capacidad de visualización de los estudiantes.

En todos los casos se utilizaron imágenes concretas pictóricas. Estas fueron seleccionadas de manera tal que presentaran el menor número de detalles secundarios a fin de que estos no obraran como obstáculos para la comprensión de los alumnos. Cada elemento representado en las figuras estaba identificado con una letra y se aclaró a los estudiantes que no se requería de la denominación científica de los componentes.

Durante las entrevistas de la segunda serie, al enfrentar a los estudiantes con las primeras representaciones gráficas, se les pidió que enunciaran en voz alta su manera de analizar las imágenes. Para ello se les formularon preguntas orientadoras del tipo: “¿Qué haces para analizar la imagen?, ¿En qué piensas?, ¿Qué tienes en cuenta al mirarla?, ¿Cómo la analizas?” En forma complementaria, se solicitó a los estudiantes que calificaran cada una de las tareas por su grado de dificultad (alta, media, baja o nula) y se les pidió que justificasen su valoración.

Análisis: La puntuación para cada uno de los participantes se determinó por la sumatoria de respuestas correctas y calculando el porcentaje sobre el puntaje total (20 puntos). Se asumió que con un porcentaje igual o superior al 80%, la capacidad de visualización era alta, en tanto que valores ubicados entre 79 y 60%, 59 y 40% y 39% o menos era media, baja o muy baja, respectivamente.

Para el análisis de algunas respuestas se consideraron alternativas factibles cuando los estudiantes desconocían la conformación tridimensional real. Por ejemplo, en el caso del instrumento 1 en el cual dada una representación bidimensional, los estudiantes debían describir y esquematizar el objeto en su vista tridimensional, podían concebir que se trataba de un corte transversal de una estructura esférica o cilíndrica y dar respuestas que, aunque no fueran correctas desde el punto de vista del conocimiento científico, fueran coherentes con la información que se podía inferir del análisis de la imagen.

RESULTADOS

Entrevistas sobre términos relacionados con la capacidad de visualización

Todos los estudiantes definieron a la rotación de un objeto utilizando términos asociados con la posibilidad de que el mismo “gire” o “de vueltas” en el espacio. Se identificaron dificultades al tratar la existencia de ejes de rotación, por cuanto, un 62,5% de los entrevistados no habían considerado la posibilidad de existencia de tales ejes. Asociaban los mismos con sus estudios previos en el nivel secundario con los ejes de la Tierra, pero no con una estructura biológica como un embrión preimplantacional (mórula, blastocisto, gástrula, etc.). Un 31,3% de los participantes habló de los ejes de simetría de la gástrula e hizo referencia a la notocorda, pero no pudo elaborar descripciones o explicaciones al respecto. Esto es, reconocían la existencia de un “eje” y lo ejemplificaban sin poder precisar el significado del concepto. Otro porcentaje similar al anterior, señaló los planos de simetría o de corte, en referencia a sus estudios de anatomía, pero destacó que nunca imaginaron que para un embrión se pudieran considerar ejes.

La noción de inversión fue definida tautológicamente por la mayoría (68,8%) como que “algo se invierte” o “se da vuelta” (50%). Un 46,8% confundió el término con eversión (sin utilizar este) al sostener que imaginaban la inversión como “que algo de adentro sale afuera”. Un 71,8% de los estudiantes sólo conocía el término desde el punto de vista económico (“invertir plata”) o “invertir tiempo” y señaló que nunca lo aplicarían a un objeto biológico.

Al trabajar sobre las relaciones entre componentes de un objeto, fue necesario explicarles al 75% de los estudiantes, en qué consistía la descripción de un objeto. Para ello se recurrió a solicitarles que respondieran a la pregunta “Si tuvieras que describir la mesa que tienes frente a vos, ¿qué dirías?”

En cuanto a las esquematizaciones, todos los estudiantes recurrieron a la representación de

objetos cotidianos y que tenían a su alcance, como lapiceras, carpetas y teléfonos celulares. El 62,5% de los entrevistados elaboró dibujos sin manipular los objetos, en tanto que un 25% manifestó la necesidad de mover los objetos (rotarlos), antes de representarlos. Los restantes estudiantes (12,5%) no pudieron elaborar representaciones.

Entrevistas sobre habilidades de visualización

La mayoría de los estudiantes (75%) calificaron a las tareas presentadas durante las entrevistas sobre visualizaciones como “dificultosas” o “muy dificultosas”. Atribuyeron su valoración a la falta de hábitos en el trabajo con imágenes, reconociendo que hacían uso de las mismas sólo como elementos para distraerse durante las lecturas de los textos o por obligación, cuando alguna tarea les requería su análisis en las

actividades prácticas. Un alto porcentaje de los estudiantes (83,3%) señaló que sólo habían elaborado representaciones gráficas para cumplir con las exigencias de sus docentes.

En cuanto a sus expresiones sobre la manera en que analizaban las imágenes, la mayoría de ellos (58,3%) sólo consideraban el aspecto general, dejando de lado los detalles; se centraban en describir a partir de los contornos o límites y no otorgaban importancia al tamaño diferente de los componentes representados.

Sólo dos estudiantes mostraron una capacidad de visualización considerada como alta, en tanto que tres fueron categorizados como de capacidad media, cuatro como baja y tres como muy baja. Para cada habilidad implicada se obtuvieron valores similares. En la Tabla 1 se muestran los porcentajes de respuestas correctas por estudiante.

Estudiante	Habilidades		
	1.- Visualización espacial	2.- Orientación espacial	3.- Relaciones espaciales
1	100	100	100
2	42.8	16.6	66.7
3	42.8	33.3	66.7
4	57.1	16.6	33.3
5	28.6	33.3	66.7
6	100	50	100
7	92.9	66.7	33.3
8	42.8	33.3	100
9	42.8	50	33.3
10	7	100	66.7
11	64.3	66.7	33.3
12	28.6	50	33.3

Tabla 1. Respuestas correctas por estudiante (valores expresados en porcentajes).

Habilidad de visualización espacial: La mayoría de los estudiantes describieron de manera adecuada pero incompleta, tanto en forma oral (58%) como escrita (67%), la representación bidimensional de un embrión mamífero en estadio de gástrula con el amnios y el saco vitelino (fig. 1). Pero sólo el 41,6% de los entrevistados pudo elaborar un esquemaseudotrídimensional completo. Tres estudiantes hicieron sus descripciones orales y escritas de manera ordenada, es decir, considerando uno o más puntos de referencia. En cuanto a la selección de afirmaciones correctas a partir del análisis de esquemas seriados, se analizaron los errores cometidos junto con los estudiantes. Las causas atribuidas a los mismos se centraron en dificultades para identificar elementos representados cuando estos variaban

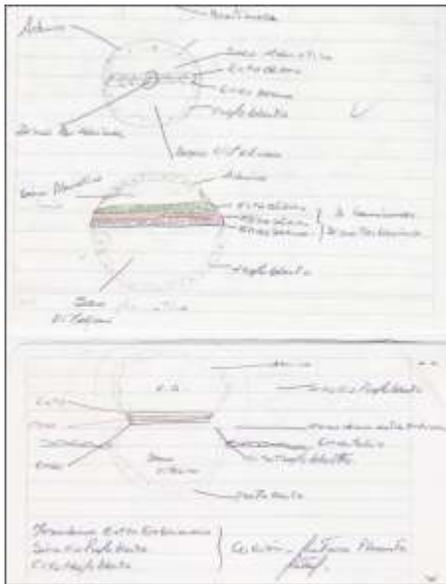


Figura 1. Esquemas secuenciados de embrión mamífero en estadio de gástrula con dos de sus anexos. El estudiante describió el aspecto tridimensional del objeto

en su posición o tamaño.

Habilidad de orientación espacial: la mayoría de los estudiantes (58%) resolvió al menos el 50% de las rotaciones solicitadas; sin embargo, sólo un 16.7 % de ellos (2 de 12) acertó todas las opciones (fig. 2). En cuanto a la identificación de la representación de un objeto sobre la base de un patrón según los ejes X-, Y- o Z-, numerosos estudiantes (58,3%) presentaron dificultades para resolver la

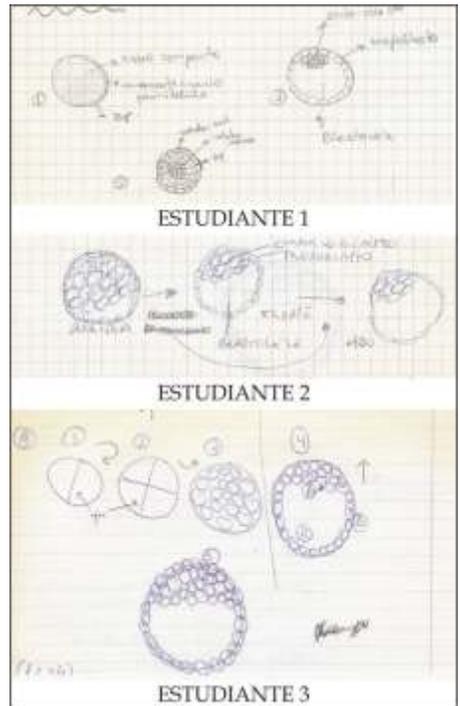


Figura 2. Tres representaciones elaboradas por diferentes estudiantes para la actividad de orientación espacial rotando un blastocisto.

actividad.

Habilidad para establecer relaciones espaciales: en cuanto a describir cómo se vería el objeto (discoblastula) si fuera observado “desde arriba”, el 92% de los estudiantes lo hizo correctamente. El 66,6% de los participantes

describió correctamente una vista “desde abajo” del objeto. En ambos casos, sus justificaciones permitieron asumir que presuponían la existencia de un patrón de continuidad de los elementos representados. Las mayores

dificultades se presentaron al describir el objeto “desde adentro”. Un 50% de los estudiantes lo hizo incorrectamente, en general al no considerar en su descripción parte de las estructuras representadas. Por ejemplo, no atribuían entidad

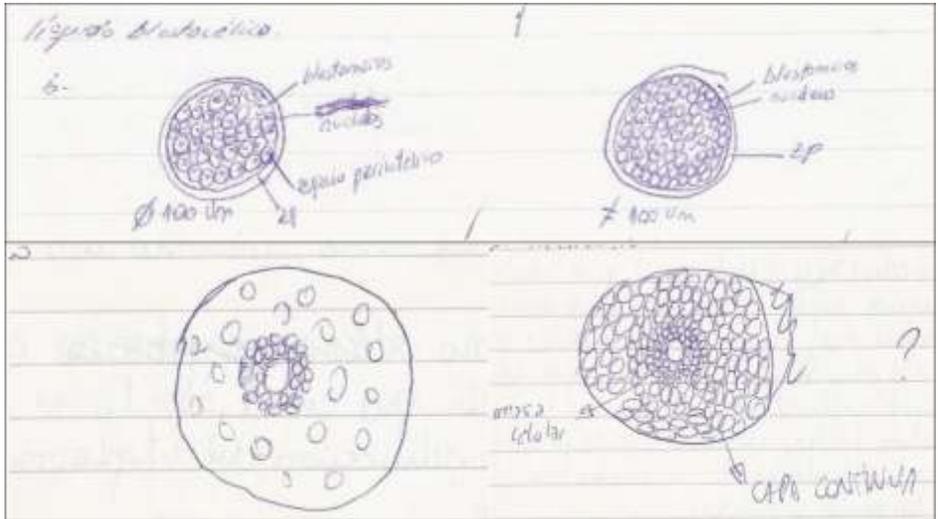


Figura 3. Representaciones elaboradas por dos estudiantes sobre las relaciones espaciales en la discoblástula.

al vitelo o al blastocelo (fig. 3).

DISCUSIÓN

La visualización es considerada como una competencia cognitiva fundamental en el aprendizaje de las ciencias. Entre los objetivos relacionados con la educación científica se incluye el aprendizaje de la naturaleza y utilización de los modelos establecidos, su papel en el desarrollo del conocimiento científico y el arte de la modelización (11). Todos estos aprendizajes involucran la formación de representaciones conocidas como modelos mentales, las cuales a su vez implican la visualización. En el caso de los modelos mentales, el pensamiento metacognitivo se realiza sobre las entidades que lo componen y sus interrelaciones. En el caso de la modelización, ese

pensamiento es sobre la manera en que las entidades y sus relaciones han sido establecidas (11).

Los estudios de habilidades visuales en estudiantes se han desarrollado para la visualización tridimensional a partir de representaciones bidimensionales en química (12) y en biología (13), la detección de dificultades en la interpretación de cortes y secciones de imágenes (14), y el diagnóstico de competencias para obtener información al cambiar un objeto de posición (13).

En general se ha concluido que, a menos que medie una amplia experiencia en el trabajo conciente con la lectura de imágenes, el mismo resulta problemático y un obstáculo para el aprendizaje (15).

Distintos estudios han comprobado que los

estudiantes tienen dificultad para comprender la representación gráfica de objetos tridimensionales (16). En modo semejante a lo reportado en este trabajo, Allen (17) observó que los estudiantes universitarios carecían de experiencia en el uso y la generación de imágenes. Los puntajes que obtuvo este investigador para la capacidad de visualización presentaron un rango de 53 a 92%.

Levie y Lentz (18) comprobaron que, aun con instrucciones explícitas de leer cuidadosamente un texto ilustrado, más de la mitad de los estudiantes no consideraba las imágenes o sólo lo hacían para divertirse mientras leían. Además, de la misma forma que se observó en este trabajo, los estudiantes sólo apreciaban el aspecto general de las imágenes, ignorando los detalles. Llorente Cámara (15) señala que los estudiantes carecen de hábitos para aprender de las imágenes por considerar que las mismas no son una fuente de información útil. Estas observaciones resultan coincidentes con algunos resultados del presente trabajo en cuanto a que la mayoría de los estudiantes entrevistados consideraron a las tareas realizadas durante la investigación como “dificultosas” o “muy dificultosas” por su falta de costumbre en resolver las tareas solicitadas y considerar a las ilustraciones como elementos de distracción.

Recomendaciones didácticas

Con miras a proponer algunas sugerencias para el desarrollo de actividades que enriquezcan las habilidades de visualización de los estudiantes, resulta adecuado presentar una definición operativa. Lengler y Eppler (19) consideran que un método de visualización “es una representación sistemática, basada en reglas, externa y gráfica que retrata o describe una información de manera tal que conduce a (o favorece) la adquisición de entendimiento, el desarrollo de una comprensión elaborada o la comunicación de experiencias.” En este sentido, cuando los docentes elaboramos representaciones sistemáticas para promover habilidades

de visualización deberíamos tener en cuenta:

a- Clarificar las interrelaciones entre los componentes de un objeto o las etapas de un proceso, más que reproducir con exactitud el mundo natural. Uttal y cols. (20) señalan al respecto que un diseño de instrucción donde se enfaticen las relaciones será más exitoso que otro que se esfuerce en ser realista.

b- Diseñar actividades manteniendo el contexto entre diferentes partes de un objeto o proceso. Por ejemplo, cuando se utiliza una serie de diagramas para describir o explicar un concepto o proceso científico es importante que los estudiantes pongan atención en cómo un detalle o un paso específico en una progresión se relaciona con el contexto en su totalidad.

c- Secuenciar las actividades tratando de reflejar la organización mental que el estudiante estaría desarrollando. De esa forma, si se está creando una serie de imágenes para representar un proceso, el instrumento de aprendizaje debería contener una serie similar con propósitos comparativos. O bien, en el caso de crearse una “película mental”, una animación será más efectiva que otras formas de representación (21). Estos puntos se asocian con la adecuada selección o elaboración de los recursos didácticos. En los mismos pueden incluirse elementos para ejercitar la visualización y que habrán de corresponderse con, al menos, alguna de las tres categorías establecidas por Rieber (22):

a.- Representacional: cuando se recupera al objeto en un rango de representaciones que van desde las formas más realistas (como las fotografías) hasta otras más abstractas (esquemas de líneas).

b.- Analógica: cuando se utilizan representaciones de un objeto con cualidades similares a las del objeto en estudio para destacar características particulares o fenómenos.

c.- Arbitraria: cuando se emplean representaciones gráficas que se asemejan al concepto en cuestión pero revelan información a través de sus características espaciales y las relaciones entre sus diferentes elementos (por ejemplo: mapas, gráficos, mapas conceptuales, tablas).

Como actividades puede trabajarse la visualización de:

- a.- Datos: consistente en el trabajo con formatos cuantitativos estandarizados (tablas y diferentes tipos de gráficos), que deben ser reelaborados como textos.
- b.- Información: la cual emplea redes conceptuales, que deben ser transformados en imágenes. Cabe considerar que las imágenes elaboradas pueden cambiar a medida que avanza el trabajo de análisis.
- c.- Conceptos: centrada en el análisis de mapas conceptuales. En general, se trata de un único concepto cuya definición debe ser elaborada a partir del mapa conceptual, en el cual los conectores deben estar claramente expresados.
- d.- La visualización compuesta: es una combinación de varias de las formas enunciadas anteriormente. Por ejemplo, se acompaña un mapa conceptual con la representación gráfica del concepto.

Además de las actividades señaladas anteriormente, puede recurrirse a estrategias basadas

REFERENCIAS

1. Giorgis C, Johnson NJ, Bonomo A, Colbert C. (1999). Visual literacy. *The Reading Teacher*; 53(2):146-153.
2. Mathewson JH. (1999). Visual-spatial thinking: An aspect of science overlooked by educators. *Science Education*; 83(1): 33-54.
3. Messaris P. (1995). Visual literacy and visual culture. *Image and visual literacy: Selected readings from the Annual Conference of the International Visual Literacy Association*, Octubre 12-16. Tempe, Arizona.
<http://www.adobe.com/uk/education/pdf/adobe_visual_literacy_paper.pdf> [Consulta: 14-4-2007].
4. Gilbert JK, Justi R, Aksela M. (2003). Visualization: A metacognitive competence in the learning of science. Cuarta Conferencia European Science Education Research Association (ESERA).
<<http://www1.phys.uu.nl/esera2003/programme/pdf/225S2.pdf>> [Consulta: 14-4-2007].
5. Raj Chaudhury S. (2003). Multiple representations, scientific visualization and student learning of science. National Association of Geoscience's Teachers.
<http://serc.carleton.edu/files/NAGTWorkshops/visualize04/chaudhury_essay.pdf> [Consulta: 3-6-2007]
6. Mathewson J.H. (2005). The visual core of science: definition and applications to education. *International Journal of Science Education*; 27(5):529-548.
7. Galagovsky L, Adúriz-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.
8. Prendes Espinoza MP. (1996). Análisis de imágenes en textos escolares. *Revista Pixel-Bit - Revista de Medios y Educación* 6. <<http://www.sav.us.es/pixelbit/articulos/n6/n6art/art6.htm>> [Consulta: 12-12-2004]
9. Jiménez Valladares JD, Perales Palacios FJ. (2002). La evidencia experimental a través de la imagen de libros de texto de física y química. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 1(2).
<<http://www.saum.uvigo.es/reec/volumenes/volumen1/Numero2/Art5.pdf>> [Consulta: 10-5-2005]
10. Barnea N. (2000). Teaching and learning about chemistry and modelling with a computer managed modelling system. En: *Developing Models in Science Education*, Gilbert JK & Boulter CJ (eds) Kluwer Academic Publisher,

Dordrecht, pp. 307-324.

11. Gilbert JK, Boulter CJ, Elmer R. (2000). Positioning models in science education and in design and technology education. En: *Developing Models in Science Education*, Gilbert JK & Boulter CJ (eds), Kluwer Academic Press, Dordrecht, pp. 3-18.
12. Tuvi-Arad I, Gorsky P. (2007). New visualization tools for learning molecular symmetry: a preliminary evaluation. *Chemistry Education Research and Practice*; 8(1): 61-72.
13. Macnab W, Johnstone AH. (1990). Spatial skills which contribute to competence in the biological sciences. *Journal of Biological Education*; 24(1):37-41.
14. Constable H, Campbell B, Brown R. (1988). Sectional drawings from science textbooks: an experimental investigation into pupils understanding. *British Journal of Educational Psychology*; 58:89-102.
15. Llorente Cámara E. (1999). Imágenes en la enseñanza. *Revista Psicodidáctica* 9. <<http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/175/17500911.pdf>> [Consulta: 9-8-2006]
16. Scribner SA, Anderson MA. (2005). Novice drafters' spatial visualization development: Influence of instructional methods and individual learning styles. *Journal of Industrial Teacher Education*; 42(2):38-60.
17. Allen AD. (1999). Complex spatial skills: the link between visualization and creativity. M.Sc Thesis, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, 97pp.
18. Levie WH, Lentz R. (1982). Effects of text illustrations: A review of research. *Educational Communication and Technology Journal*; 30:195-232. Op. Cit. Llorente Cámara, E. 1999.
19. Lengler R, Eppler MJ. (2007). Towards a periodic table of visualization methods for management. IASTED Proceedings of the Conference on Graphics and Visualization in Engineering (GVE 2007), Clearwater, Florida, EEUU. <http://www.visual-literacy.org/periodic_table/periodic_table.pdf> [Consulta: 11-3-2007]
20. Uttal DH, Liu LL, DeLoache JS. (2006). Concreteness and symbolic development. En: Balter, L & Tamis-LeMonda, C. *Child Psychology*, Cap. 8, 167-185. Disponible en: <https://www.depot.northwestern.edu/projects/wcas/psych/uttallab/WebPublications/uttalliuodeloache2006c_hap150.pdf> [Consulta: 11-3-2007]
21. Tversky B, Morrison JB, Betrancourt M. (2002). Animation: Can it facilitate? *International Journal of Human-Computer Studies*; 57:247-262.
22. Rieber L. (2002). Supporting discovery-based learning with simulations. International Workshop on Dynamic Visualizations and Learning. Online-Proceedings, Knowledge Media Research Center (KMRC), Tübingen, Germany. <<http://www.iwm-kmrc.de/workshops/visualization/rieber.pdf>> [Consulta: 21-3-2007]