



Revista Eureka sobre Enseñanza y
Divulgación de las Ciencias

E-ISSN: 1697-011X

revista@apac-eureka.org

Asociación de Profesores Amigos de la
Ciencia: EUREKA
España

Abreu de Andrade, Viviane; Castello Branco da Cunha, Karla Maria; Vianna Barbosa, Júlio
"Pajitex": una propuesta de modelo didáctico para la enseñanza de ácidos nucleicos
Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, vol. 8, núm. 1, enero, 2011, pp. 115-
124

Asociación de Profesores Amigos de la Ciencia: EUREKA
Cádiz, España

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92017185011>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

“Pajitex”: una propuesta de modelo didáctico para la enseñanza de ácidos nucleicos

Viviane Abreu de Andrade⁽¹⁾, Karla Maria Castello Branco da Cunha⁽²⁾, Júlio Vianna Barbosa⁽³⁾

¹ CEFET/RJ, *mestranda em Ensino em Biociências e Saúde, Instituto Oswaldo Cruz, FIOCRUZ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.* kange@uol.com.br y kange@ioc.fiocruz.br

² SEE/RJ, *mestranda em Ensino em Biociências e Saúde, Instituto Oswaldo Cruz, FIOCRUZ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.* karla.castellobranco@gmail.com y karlab@ioc.fiocruz.br

³ *Laboratório de Educação em Ambiente e Saúde (LEAS), Instituto Oswaldo Cruz, FIOCRUZ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.* jub@ioc.fiocruz.br

[Recibido en junio de 2010, aceptado en diciembre de 2010]

El presente trabajo presenta una propuesta de construcción de un modelo didáctico tridimensional para la enseñanza de ácidos nucleicos (ADN y ARN) a partir de materiales de bajo coste, como: pajitas de refresco, tijeras, elástico látex y aguja; de simple manipulación y de fácil adquisición en el mercado. Y sugiere el empleo didáctico de éste en la enseñanza de conceptos básicos referentes a los ácidos nucleicos y a algunos temas relacionados a éstos como: la replicación semiconservadora de la molécula de ADN, transcripción, recombinación genética, transgénicos y terapia genética.

Palabras clave: Modelos didácticos; ácidos nucleicos; recursos pedagógicos.

"Pajitex": a proposed model for the teaching of nucleic acids

This paper presents a three-dimensional teaching model for nucleic acids (DNA and RNA) using low cost material, such as: soda straws, scissors, elastic-type and needle lastex, which are of simple manipulation and easily found in the market. This teaching model suggests a pedagogical use of basic concepts and some issues related to nucleic acids, such as the semiconservative replication of the DNA molecule, transcription, genetic recombination, transgenic and gene therapy.

Keywords: teaching models; nucleic acids; teaching resources.

Introducción

Actualmente, el dominio del lenguaje y de conocimientos científicos es fundamental para la comprensión de una enorme cantidad de informaciones, vehiculada por los medios de comunicación, que se refiere a eventos y fenómenos biológicos. Términos como ADN (ácido desoxirribonucleico), ARN (ácido ribonucleico), cromosoma, clonación, transgénicos, etc. van más allá de los muros académicos y aparecen diariamente en los periódicos, revistas y telediciarios. Por eso, es necesario dominar conocimientos biológicos para comprender los debates contemporáneos y poder participar de ellos. Sin embargo, Hassan y colaboradores (2006), Barros y Teixeira (2006) destacan estos temas como abstractos, complejos y difíciles.

Diversos estudios han demostrado que la genética y su relación con la síntesis de proteínas es un tema considerado de difícil aprendizaje (Wood-Robinson *et al.*, 2000), incluso para los alumnos que acaban con éxito la Enseñanza Secundaria y aprueban los exámenes de acceso a las facultades de Biología. Tests realizados con alumnos universitarios después del estudio de tópicos de genética han manifestado que éstos no siempre consiguen establecer asociaciones coherentes con el conocimiento científico actual, mostrando la existencia de dificultades en cuanto a la comprensión de las representaciones científicas acerca del tema (Bahar *et al.*, 1999).

Por tanto, hacerlas más comprensible para los estudiantes de la Enseñanza Secundaria es un desafío para el docente. Tales asuntos requieren ilustraciones para aproximar el alumno al objeto de estudio. Sin embargo, muchos alumnos tienen dificultades: de imaginar una estructura en tres dimensiones y procesos dinámicos, a partir de figuras representadas en un plano; de relacionar la representación esquemática a la realidad; y de usar la representación simbólica de la Química en las clases de Biología (Krasilchik, 2004).

La experiencia con los alumnos de la Enseñanza Secundaria ha mostrado que los esquemas de los libros didácticos, muchas veces, no son una fuente suficiente para explicar esas relaciones conceptuales. Es difícil para el profesor identificar posibles errores conceptuales de sus alumnos a partir de la evaluación de textos o esquemas en los que el alumno repite lo que leyó en los libros u oyó del profesor. En este contexto, el alumno puede repetir correctamente, pero haber estructurado cognitivamente los conceptos de forma inadecuada (Soares *et al.*, 2005). Por esta razón, los modelos didácticos se presentan como una herramienta alternativa para representar y trabajar, en tres dimensiones y de forma dinámica, algunos conceptos relacionados a los ácidos nucleicos, ADN y ARN.

El presente trabajo presenta la construcción y algunas de las posibles aplicaciones de un modelo tridimensional simple y de bajo coste de ácidos nucleicos (ADN/ARN). Con éste pretendemos auxiliar los procesos de enseñanza y de aprendizaje de los conceptos básicos, referentes al tema ácidos nucleicos, y estructurantes para la comprensión de los eventos celulares relacionados a los procesos de replicación semiconservadora de la molécula de ADN, transcripción (formación de ARNm), remoción de intrones y transposición, demostrando los conceptos esenciales sobre la organización y actuación de los ácidos nucleicos en los organismos. Y de asuntos que pueden ser abordados a partir de este contenido, como la biotecnología, la producción de organismos genéticamente modificados y terapia génica.

Metodología

Situando...

Los ácidos nucleicos son macromoléculas especializadas en el almacenamiento, en la transformación y en el uso de la información hereditaria en los seres vivos. Hay dos tipos de ácidos nucleicos: ADN (ácido desoxirribonucleico) y el ARN (ácido ribonucleico). Ambos están constituidos por unidades de nucleótidos (Figura 1) (Purves *et al.*, 2006).

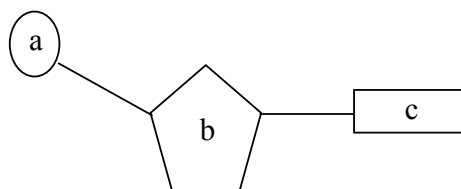


Figura 1. Constitución del Nucleótido. a. Grupo fosfato, b. azúcar (pentosa) y c. base nitrogenada.

Los nucleótidos que componen la molécula de ADN presentan un azúcar del tipo desoxirribosa y son diferenciados entre sí por el tipo de base nitrogenada que posee: Adenina (A), Timina (T), Citosina (C) o Guanina (G) (Figura 2).

Estos nucleótidos establecen enlaces fosfodiéster con los carbonos 3' y 5' de sus pentosas. De esta forma se organizan constituyendo una macromolécula, en forma de cinta con una secuencia de nucleótidos. Generalmente esas cintas de nucleótidos se organizan formando una macromolécula compuesta por dos cintas (secuencias), que realizan interacción entre sí, por medio de enlaces químicos (puentes de H) establecidas entre las bases nitrogenadas. Se verifica

que la base (T) se liga casi siempre con la base (A) y la base (C) se liga, también, casi siempre con la base (G). Hay que tener en cuenta que las cintas de nucleótidos interactúan en direcciones opuestas (Figura 3), así que la configuración espacial sigue orientación antiparalela (Lodish *et al.*, 2005).

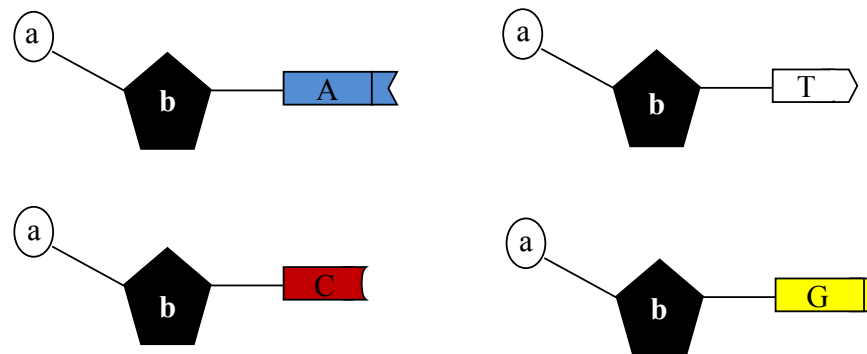


Figura 2. Nucleótidos que componen la molécula de ADN. a. Grupo fosfato, b. azúcar (desoxirribosa), bases nitrogenadas A. adenina, T. timina, C. citosina y G. guanina.

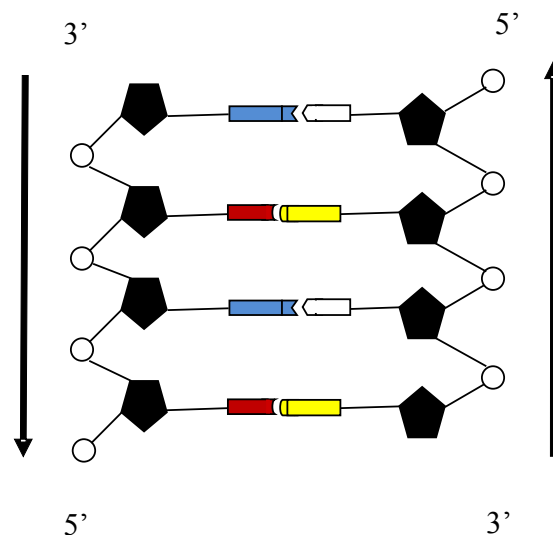


Figura 3. Representación esquemática de la interacción antiparalela entre las cadenas (cintas) de nucleótidos en una macromolécula de ADN. Las flechas señalan la dirección de los enlaces 3' y 5' fosodiéster con los carbonos de la pentosa de los nucleótidos que forman cada una de las cintas de ADN. La extremidad 3' de la cinta de nucleótidos presenta un hidroxilo libre en el carbono 3' de la pentosa terminal. La extremidad 5' presenta un grupo fosfato o hidroxilo libre en el carbono 5' de la pentosa terminal.

Los nucleótidos que componen la molécula de ARN presentan un azúcar del tipo ribosa y son diferenciados entre sí por el tipo de base nitrogenada que posee: Adenina (A), Uracilo (U), Citosina (C) o Guanina (G) (Figura 4).

La molécula de ARN generalmente está constituida por una única cinta (secuencia) de nucleótidos.

La actuación de los ácidos nucleicos resulta en la síntesis de proteínas, moléculas que ejecutan el programa de actividades codificado por una secuencia (porción) de ADN denominada gen (Purves *et al.*, 2006).

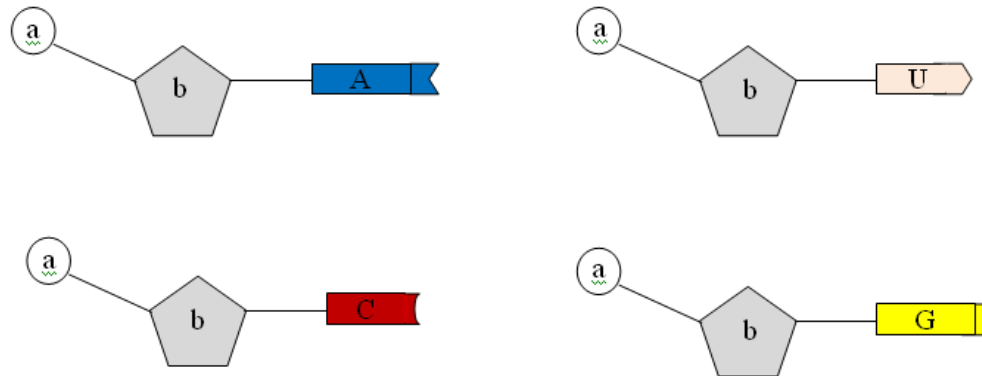


Figura 4. Nucleótidos que componen la molécula de ARN. a. Grupo fosfato, b. azúcar (ribosa), bases nitrogenadas A. adenina, U. uracilo, C. citosina y G. guanina.

Construcción del modelo

Para la construcción del “Pajitex”, modelo tridimensional de la molécula del ácido nucleico del tipo ADN, son necesarios: dos tiras de hilo elástico del tipo látex (Hilo elástico que consiste en un núcleo de hilo de goma enrollado con hilos de algodón) negro de 50 cm para representar la desoxirribosa; 8 pajitas coloridas de refresco, que representarán las diferentes bases nitrogenadas (Adenina = azul, Timina = blanca, Citosina = rojo, Guanina = amarillo); y una aguja.

Las pajitas de refresco deben ser cortados en pedazos de 6cm de largo. Cada color representará una base nitrogenada diferente. El látex debe pasar, con o auxilio de una aguja, por una de las extremidades del pedazo de pajita. Esta operación se debe repetir con otros pedazos de pajita para formar una cinta de 'nucleótidos'. Entre un pedazo de la pajita y otro sujeto en el látex, se dará un lazo para representar el ácido fosfórico (Figura 5).

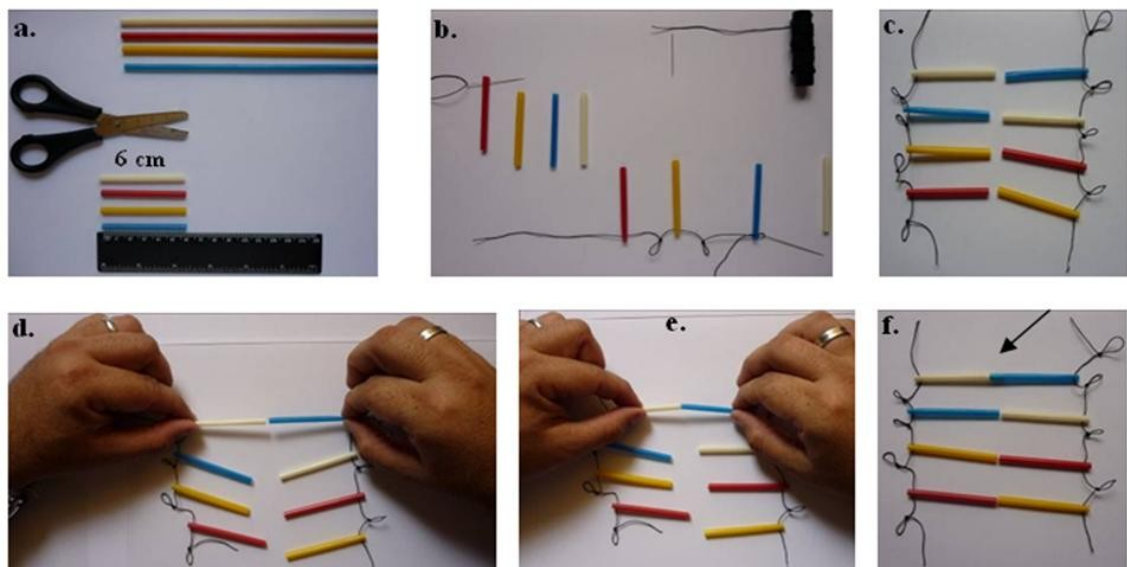


Figura 5. Etapas de la construcción del modelo de la molécula de ADN. a. Corte de las pajitas; b. Aguja con látex pasando por las extremidades de los pedazos de pajitas; c. modelo con dos cintas (secuencia) de nucleótidos. Las imágenes d., e., f. presentan el proceso de encaje de las pajitas.

Una vez que estén acabadas las dos tiras de látex, con las pajitas, los pedazos de pajita de cada cinta se deben de unir, encajando una pajita dentro de la otra, observando la combinación de

las bases nitrogenadas (A-T/C-G) para simular los enlaces de los nucleótidos. De esta forma, será constituido un modelo didáctico que presentará el aspecto de escalera, semejante al que, generalmente, es utilizado en los libros didácticos para representar la molécula de ADN (Figura 6). Sin embargo, este modelo presentará extrema versatilidad y movilidad. Entre las diversas posibilidades, presentamos la conformación tridimensional helicoidal de la molécula de ADN (Figura 7).

Para obtener tal resultado, será necesario sujetar las dos extremidades de las dos cintas de látex, estirarlas un poco y girarlas con el movimiento de las manos en sentidos opuestos para verificar la conformación helicoidal del ADN (dupla hélice). O sea, una mano deberá ser girada en el sentido horario y la otra en el sentido inverso. Se destaca que es posible obtener el mismo efecto que la conformación helicoidal sujetando las pajitas por las extremidades del modelo en el punto de encaje de éstos, referente al enlace de los nucleótidos, y realizando los mismos movimientos anteriormente citados con las manos.

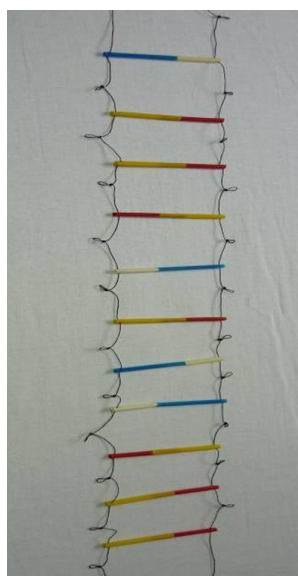


Figura 6. Pajitex: Modelo de la molécula de ADN.

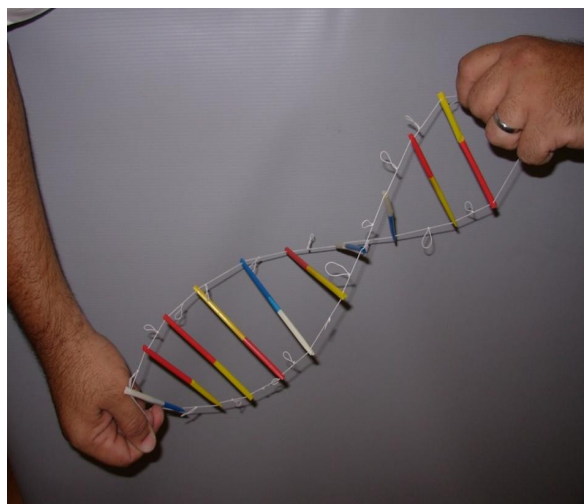


Figura 7. Pajitex - Modelo Tridimensional ADN - conformación helicoidal.

Para montar las moléculas de ARNm, hay que realizar el mismo proceso de pasar el látex por las pajitas. Sin embargo, se debe utilizar sólo una tira de látex de color diferente de la que será usada para construir el modelo de la molécula de ADN. Ésta representará la ribosa. Pajitas de color diferente deben ser usadas para representar la uracilo (Uracilo = rosa). Los dos modelos deben presentar un lazo entre las pajitas para representar el ácido fosfórico.

Para demostrar las etapas de síntesis de nuevas moléculas de ADN (Figura 8) y ARNm, será necesario construir modelos de nucleótidos. Para eso, se debe utilizar un pedazo de látex con 15cm y de color distinto, para evidenciar las porciones nuevas de las moléculas ADN y/o ARN involucradas en los procesos de síntesis, y un pedazo de pajita de 6m. Con una aguja, el látex se pasa por una de sus extremidades. El pedazo de pajita colorida se debe de poner en el centro de la cinta del látex, como se puede observar en la Figura 8, apartado b. De esta forma, será posible realizar los lazos para unir las extremidades de la cinta de látex y, así, representar el enlace entre los nucleótidos en una misma cinta de ácido nucleico.

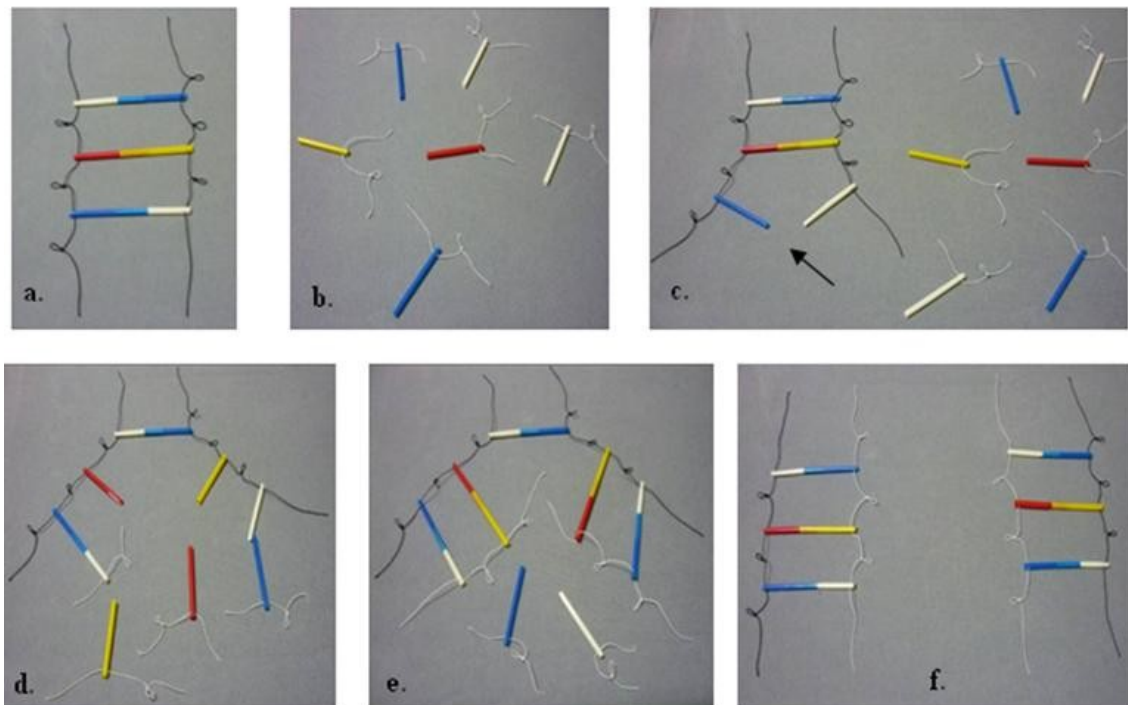


Figura 8. a. Representación de la Molécula de ADN; b. nucleótidos; c. Replicación del ADN (rompimiento de los puentes de hidrógeno); d. Replicación del ADN (enlace de los nucleótidos libres a las “cadenas antiguas”-plantillas); e. Replicación del ADN (enlace de los nucleótidos libres a las 'cadenas antiguas' y entre sí en cada cinta de la molécula del ADN); f. Replicación del ADN (“moléculas nuevas”). Para destacar la semiconservación de la molécula del ADN, fue utilizado látex blanco en los nucleótidos que establecieron enlaces con la “cadena antigua” de la molécula del ADN.

Sugerencias para la utilización del modelo

Durante o después de la presentación de los contenidos, solicitar la formación de grupos para que construyan sus modelos de ADN y ARN. Solicitar la construcción y la explicación de modelos de los procesos de replicación semiconservadora del ADN (Figura 8), de transcripción, de recombinación genética, entre otros. Utilizar los modelos construidos por los alumnos en discusiones y en representaciones de procesos de temas actuales, vehiculados por los medios de comunicación, relacionando los contenidos de biología celular y genética como: transgénicos, terapia genética, entre otros (Figura 9).

Aplicación del modelo

Este modelo fue desarrollado para la enseñanza del tema: ácidos nucleicos, en grupos de la enseñanza nocturna, de una escuela de la red estadual de enseñanza del Estado de Río de Janeiro. Sin embargo, este modelo está siendo aplicado hace más de una década, por la profesora que lo concibió, la autora principal de este trabajo, en diferentes contextos y redes de enseñanza (Estadual, Federal y Particular). Se ha observado que, en todos los contextos, el modelo se ha mostrado eficiente en el proceso de enseñanza del tema en cuestión y de temas relacionados. Hay que destacar que la manipulación y la construcción del modelo, por los alumnos, en situaciones de enseñanza, permiten la verificación de evidencias de cómo interactúa el alumno con la información y cómo la usa para solucionar los problemas presentados por el profesor.

Para mostrar un ejemplo de aplicación del modelo de ácidos nucleicos propuesto describiremos una situación de enseñanza en la que éste fue recientemente aplicado.

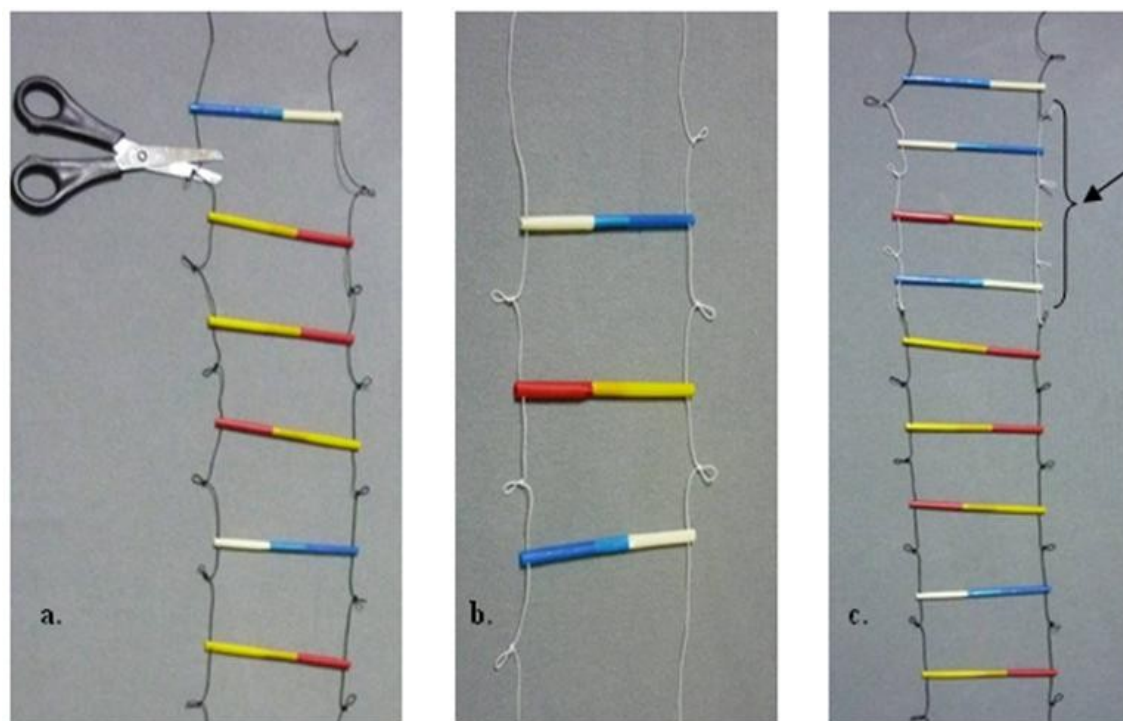


Figura 9. Representación de proceso de adición de material genético a la molécula de ADN. a. Restricción (corte) de la molécula de ADN; b. Porción de ADN exógeno; c. Inserción ADN exógeno concluida.

La propuesta de construcción del modelo “Pajitex” fue presentada, durante las clases de Biología, a 4 grupos del 3º año de la Enseñanza Secundaria del CEFET/RJ, Uned NI (Unidad de Enseñanza Descentralizada - Nueva Iguaçu). La presentación y la aplicación del modelo fueron motivadas por el hecho de que los alumnos han demostrado dificultades en la utilización de conceptos referentes a los ácidos nucleicos durante las clases de genética. Y por entender que el tema, ácidos nucleicos, es estructurante para la comprensión de genética y sus aplicaciones, optamos por la utilización del modelo durante la enseñanza de los temas relacionados como transgénicos y terapia genética. Inicialmente hicimos una revisión teórica de contenidos referente a los ácidos nucleicos. Enseguida, pedimos que los alumnos respondiesen cuestiones y representasen gráficamente los enunciados de las cuestiones.

Posteriormente, presentamos el modelo ya construido para representar los enunciados de las mismas cuestiones presentadas en la actividad inicial. Durante el desarrollo de la clase, se les presentó a los alumnos la propuesta de construcción de modelos de moléculas de ácidos nucleicos, en un contexto. Los alumnos recibieron nuevamente los pequeños textos (cuestiones) y, como tarea, tenían que representar los enunciados de las cuestiones utilizando modelos, y/o responder las cuestiones utilizando los modelos, como ya se había hecho en la primera propuesta de actividad. Además de presentar su propuesta de resolución de la tarea para los demás compañeros.

Estas actividades fueron realizadas en tres etapas. La primera actividad fue realizada individualmente. La segunda actividad fue realizada en parejas de trabajo, para representar los textos y para presentar la resolución para el grupo. Y por fin, la actividad fue nuevamente realizada individualmente.

Verificamos que los alumnos, después de la utilización de los modelos, tuvieron más facilidad para comprender los procesos y los fenómenos relacionados a los ácidos nucleicos, y para construir respuestas más elaboradas ante las cuestiones propuestas. Verificamos también la

mayor interacción de los alumnos con la información trabajada frente a la utilización de los modelos. Hubo mayor verbalización, elaboración de preguntas y asociaciones, sobre el tema cuando se utiliza el modelo. Además de la manifestación de los alumnos, por medio de sus intervenciones, en cuanto a la sensación de comprensión de los procesos.

Algunas Ventajas y limitaciones del modelo “Pajitex” en cuanto a la dinámica de su utilización

Destacamos que este modelo presenta algunas ventajas sobre muchas propuestas de construcción de modelos de moléculas de ácidos nucleicos, principalmente de la molécula de ADN, ya descritas en la literatura (Yen, 1995; Revista CHC, 2002; Justina y Ferla, 2006; Sepel y Loreto, 2007) que utilizan papel, alambre y alimentos como gominolas como materia prima para su construcción. Entre éstas, resaltamos la versatilidad en cuanto al montaje y el desmontaje del modelo de la molécula de ácido nucleico, permitiendo así su aplicación en la enseñanza de temas asociados a los ácidos nucleicos. Se trata de un modelo de molécula que puede ser aplicado en situaciones de enseñanza, que incluyen temas que suponen más que su mera conformación estructural.

Destacamos, también, como ventajas el bajo coste, la durabilidad y la resistencia del material, sin riesgo de heridas, pues distribuimos las partes (los nucleótidos) ya montadas para construcción del modelo. De esta forma, evitamos el manoseo de materiales potenciales de perforación, como agujas, por los alumnos.

Hay que destacar que la dinámica espacial del modelo permite el movimiento del mismo, la visualización tridimensional de la forma y de la dinámica de la síntesis (construcción) de las moléculas de ADN y ARN en los organismos, del proceso y de la constitución molecular del ADN de los organismos genéticamente modificados por adición de ADN, entre otros. Pudiendo, incluso, extrapolar para las interacciones de los materiales genéticos de la célula y de un virus, por ejemplo.

Sin embargo, señalamos que es importante que el profesor esté atento y verifique las relaciones establecidas por los alumnos cuando utilice el modelo. Pues la relación adecuada de la información, “objetivo”, con las partes del modelo, “análogo”, es fundamental para que la nueva información sea correctamente comprendida y así el modelo tenga actuación efectiva en el proceso de aprendizaje (Ferraz y Terrazan, 2003).

Advertimos que el material utilizado, a pesar de ser más fuerte que los de los modelos propuestos en la literatura citada, no presenta durabilidad ilimitada. La principal causa que compromete la plasticidad funcional del modelo es la pérdida de la elasticidad del látex a lo largo del tiempo y del uso.

Consideraciones finales

La producción de un modelo dinámico e interactivo de ácidos nucleicos, a partir de material de bajo coste y de fácil manipulación, se presenta como un recurso de fácil construcción y de simple aplicación y uso en contextos de enseñanza. Además, esse modelo tiene gran potencial para la enseñanza de tópicos como: la replicación semiconservadora de la molécula de ADN, transcripción, recombinación genética y terapia genética, entre otros.

Hacemos hincapié en que vemos, por medio de la práctica de enseñanza, intensa interacción, participación y entusiasmo de los estudiantes con relación a los modelos de los ácidos nucleicos ADN y ARN. Por lo tanto, eso indica el aumento de motivación y de interés por el tema, en relación con la clase tradicional expositiva.

Em el uso de este modelo en la enseñanza, hemos observado la construcción de respuestas más elaboradas, el establecimiento de relaciones entre el tema ácidos nucleicos y fenómenos biológicos (actividad viral, la terapia génica, etc.), construcción personal de descripciones coherentes con el conocimiento científico y representaciones de los fenómenos en situaciones distintas de las presentadas durante las clases. Estos elementos sugieren el aumento de la comprensión del tema.

Asociamos estos resultados al estudio concreto de las estructuras y de los procesos biológicos, que facilitó: la visualización y la comprensión de las representaciones de los fenómenos asociados al tema; las interacciones alumno/conocimiento, profesor/alumno y alumno/alumno; la negociación de significados; la reflexión y la construcción de los conocimientos presentados y trabajados en las clases de Biología.

Es interesante notar que la propuesta presentada está en la misma línea de las orientaciones de los PCNEM (2002) en cuanto a la utilización de modelos representativos para explicar determinados procesos biológicos en actividades de enseñanza dinámicas, interactivas y poco convencionales en clases teórico-expositivas.

Creemos que con la utilización de estos modelos didácticos, el conocimiento sobre los ácidos nucleicos adquieren significado lógico para el estudiante y le permitan ampliar su estructura cognitiva para que puedan actuar de forma autónoma, interpretando, comprendiendo y solucionando problemas en distintos contextos.

Por lo tanto, destacamos la necesidad de una investigación más profunda para evaluar la aplicación del modelo desarrollado en el proceso de aprendizaje.

Referencias bibliográficas

- Bahar, M., Johnstone, A. H. y Hansell, M. H. (1999). Revisiting learning difficulties in biology. *Journal of Biological Education*. 33(2), 84-86.
- Barros, M.P. y Teixeira, F.M. (2006). Jogo “Dominó DNA”: Experiência de ensino de duplicação de DNA. En: *Caderno de Programa e Resumos. X Encontro “Perspectivas do Ensino de Biologia”; 1º Encontro Regional de Ensino de Biologia (MT/MS/SP). Histórias e Percursos da Biologia no Currículo*. São Paulo: Brasil.
- Brasil Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. (2002). *PCN + Ensino Médio: Orientações Educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais*. Brasília: MEC.
- Ferraz, D.F y Terrazan, E.A. (2003). Uso espontâneo de analogias por professores de biologia e o uso sistematizado de analogias: Que relação?. *Ciência e Educação*, 9, 213-227.
- Hassan, A.B., Chemicharo, P., Rodriguez, U., Cardoso, I. y Ferreira, M.S. A utilização de modelos didáticos no ensino de Biologia: uma experiência de prática de ensino no Colégio de Aplicação da UFRJ. En: *Caderno de Programa e Resumos. X Encontro “Perspectivas do Ensino de Biologia”; 1º Encontro Regional de Ensino de Biologia (MT/MS/SP). Histórias e Percursos da Biologia no Currículo*. São Paulo: Brasil.
- Justina, L.A.D. y Ferla, M.R. (2006). A utilização de modelos didáticos no ensino de Genética - exemplo de representação de compactação do DNA eucarioto. *Arg Mudi.*, 10, 35-40.
- Krasilchik, M. (2004). *Prática de Ensino de Biologia*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo.

- Lodish, H., Berk, A., Zipursky, S.L., Matsudaira, P., Baltimore, D. y Darnell, J. (2005). *Biología Celular e molecular*. Porto Alegre: Artmed.
- Purves, W.K., Sadava, D., Orians, G.H. y Heller, H.C. (2006). *Vida: a ciência da biologia. Volume I: Célula e Hereditariedade*. Porto Alegre: Artmed.
- Revista Ciência Hoje das Crianças. DNA comestível. En línea en: <http://chc.cienciahoje.uol.com.br/revista/revista-chc-2002/122/dna-comestivel>
- Sepel, M. N. y Loreto, E. L.S. (2007) Estrutura do DNA em Origami – Possibilidades Didáticas. *Rev. Genética da Escola*, 1, 3-5.
- Soares, K.C.; Pinto, M.C. y Rocha, M.O. (2005). Genética na sala de aula: Estratégias de Ensino e Aprendizagem. En línea en: <http://www.ccmn.ufrj.br/curso/trabalhos/PDF/biologia-trabajos/genetica/genetica4.pdf>.
- Wood-Robinson, C., Lewis, J. y Leach, J. (2000). Young people's understanding of the nature of genetic information in the cells of an organism. *Journal of Biological Education*, 35, 29-36.
- Yen, T. (1995). Make your own DNA Origami's answer to oligonucleotide synthesis. *Trends Biochem Sci*, 20, 94.