

# IMPLICACIONES DEL USO DE LAS TIC EN LA ENSEÑANZA Y EL APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS

Silvia Lizette Ramos De Robles

Doctora en Didáctica de las Ciencias Experimentales y las Matemáticas.  
Profesora-investigadora en el Departamento de Ciencias Ambientales del Cucba de la Universidad de Guadalajara y docente de la B. y C. Escuela Normal de Jalisco y la UPN.  
[lrmos@cucba.udg.mx](mailto:lrmos@cucba.udg.mx)

## Resumen

Este trabajo analiza el uso de las nuevas Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) y reflexiona sobre sus implicaciones en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias. Para ello se delimitó el análisis sobre un simulador cuya finalidad es apoyar la enseñanza del concepto de evolución en el ciclo de educación preparatoria.

Primero se presenta una visión general sobre la situación actual de la didáctica de las ciencias y su relación con los nuevos requerimientos sociales. Se destaca el papel de las (TIC) para la mejora de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias y se abordan las implicaciones que estas innovaciones tienen para los docentes.

Enseguida se describen algunos aspectos que permiten problematizar y clasificar los errores conceptuales y de enseñanza sobre el tema de evolución. Finalmente aparece la propuesta sobre el uso de un simulador como un recurso didáctico auxiliar en la comprensión del concepto de evolución; se describen sus características y su funcionamiento, lo cual permite identificar sus ventajas y realizar algunas propuestas para su mejora.

## **Alfabetización científica y tecnológica: un reto para la didáctica de las ciencias**

**E**l reconocimiento de la importancia que la ciencia y la tecnología tienen dentro del desarrollo de la sociedad se ha hecho más evidente en los últimos años; uno de sus principales indicadores es la prioridad que se les ha otorgado a nivel internacional dentro de las agendas educativas. Tal como se afirma en los National Science Education Standards, “en un mundo repleto de productos de la indagación científica, la alfabetización científica se ha convertido en una necesidad para todos: todos necesitamos utilizar la información científica para realizar opciones que se plantean cada día; todos necesitamos ser capaces de implicarnos en discusiones públicas acerca de asuntos importantes que se relacionan con la ciencia y la tecnología; y todos merecemos compartir la emoción y la realización personal que puede producir la comprensión del mundo natural” (National Research Council, 1996). En este sentido, se coincide con la necesidad de una alfabetización científica pero se le agrega la alfabetización tecnológica como parte indispensable e íntimamente relacionada.

Enfrentamos la necesidad de que los individuos del mundo actual desarrollen las competencias indispensables para participar críticamente en una sociedad local y mundial cada vez más compleja, así como la responsabilidad de acortar la gigantesca brecha que existe entre los descubrimientos científicos e innovaciones tecnológicas y las competencias de los individuos para interactuar críticamente con dichos avances. Para atender estos retos, desde hace varias décadas han surgido dentro de la educación formal, nuevos enfoques para la enseñanza los cuales vienen acompañados de una serie propósitos y metodologías cuya finalidad es orientar las líneas de acción para el logro una “nueva” alfabetización científica y tecnológica.

Según Osborne y Hennesy (2003) las investigaciones actuales establecen cuatro fundamentos comunes para la educación en ciencias:

- El utilitario: parte de la idea de que el conocimiento de las ciencias es prácticamente útil para todos.
- El económico: la visión de que debemos asegurar una fuente adecuada de individuos científicamente entrenados para sostener y desarrollar una sociedad industrial avanzada.
- El cultural: la visión de que ciencia y tecnología son uno, de los más grandes logros de la sociedad y que el conocimiento teórico es un prerrequisito esencial para la educación del individuo.
- El democrático: el argumento de que muchos de los dilemas políticos y morales que posee la sociedad contemporánea son de naturaleza científica.

Educar tomando en cuenta los anteriores aspectos implica cambios trascendentales de las formas tradicionales de enseñar, las cuales tienen sus raíces en visiones acumulativas de la ciencia y que establecen poca relación entre la ciencia y la vida cotidiana. Para finalidades del presente documento, se delimitará a reflexionar y analizar sobre un campo específico dentro de la didáctica de las ciencias el cual tiene que ver con uno de sus principales retos: *la incorporación de los avances tecnológicos dentro de los procesos de enseñanza y de aprendizaje así como el nuevo modo de indagar proporcionado por las herramientas y los recursos computacionales hoy conocidos como Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC).*

### *El papel de las TIC en la didáctica de las ciencias*

De acuerdo con Osborne y Hennessy (2003) el advenimiento de la tecnología educacional y su generalizado acceso en las escuelas, potencialmente juega un papel muy importante en el rediseño del currículo y la pedagogía de la ciencia. En particular porque ofrece un acceso fácil de una vasta colección de recursos de Internet y otras nuevas herramientas y recursos que facilitan y extienden oportunidades para la indagación científica dentro y fuera del aula de clase. Por tanto, en verdad ofrecen oportunidades para disolver los límites que demarcan la ciencia escolar de los avances científicos. Según estos autores el rol potencial de las TIC es la transformación y mejora de los procesos de enseñanza y de aprendizaje de las ciencias ya que la apoyan a través de diferentes instrumentos como son:

- Herramientas para la captura, el procesamiento y la interpretación de datos.
- Software multimedia: para simulaciones de procesos y experimentos virtuales.
- Sistemas de información: *CD-Roms*, internet, intranet.
- Herramientas de diseño, edición y presentación: *Word, Power Point*.
- Tecnología de proyección computacional.

Por otra parte, se reconocen las ventajas de las TIC para mejorar los aspectos teóricos y prácticos de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, ya que sus contribuciones potenciales pueden conceptualizarse en los siguientes aspectos:

- Apresurar y mejorar la producción de trabajo: ofrece una liberación del proceso manual laborioso y deja más tiempo para el pensamiento, la discusión y la interpretación.

- Incrementar la difusión y el alcance de los fenómenos relevantes para ligarlos a la ciencia escolar contemporánea y proveer el acceso a experiencias no factibles de otra manera.
- Soporte para la exploración y experimentación proporcionando una retroalimentación visual inmediata.
- Focaliza la atención en los aspectos sobresalientes de los conceptos abstractos.
- Alienta el aprendizaje colaborativo y autorregulado.
- Mejora la motivación y el compromiso.

Aunque estas ventajas parezcan evidentes, se reconoce la necesidad de indagar hasta qué punto y cómo se aprovechan dentro del aula. Como toda innovación, la aplicación de las TIC debe fundamentarse en una visión crítica, principalmente por parte de los docentes quienes antes de aplicarlas podrían realizar algunas de las siguientes cuestiones: ¿en qué momento y con qué propósito utilizar el apoyo de alguna de las modalidades de las TIC para mejorar el proceso de enseñanza y aprendizaje?, ¿cómo debe ser aplicada?, ¿qué tipo de habilidades de los estudiantes ponen en juego?, ¿con qué otros recursos didácticos se puede complementar?, etcétera.

### *El papel del docente frente a las nuevas estrategias de enseñanza*

Se considera a los docentes como los principales agentes de cambio en la incorporación de las TIC dentro del aula de clase pues de las decisiones que ellos tomen dependerán, en gran medida, los resultados y los efectos que tenga el uso de estas nuevas tecnologías en el aprendizaje de las ciencias.

Sobre este aspecto Osborne y Hennessy (2003), opinan que las motivaciones docentes para el uso de las TIC dentro del aula están influenciadas adversamente por un número de contrastes, entre ellos: falta de tiempo para ganar confianza y experiencia con

la tecnología, limitado acceso a recursos confiables, un currículum científico sobre cargado de contenidos, evaluaciones que no requieren el uso de la tecnología, y falta de materias específicas que guíen el uso de las TIC como apoyo a la enseñanza.

Es comprensible que frente a toda innovación, se manifieste un poco de desconfianza o temor, ya que implica una desestabilización de las dinámicas normales, sin embargo, podemos suponer que cuando se experimenta y se valoran los resultados, la actitud cambia. Por tanto, el presente documento pretende ofrecer un amplio panorama de las implicaciones que tiene la utilización de un software multimedia para ayudar a los estudiantes a comprender un concepto determinado.

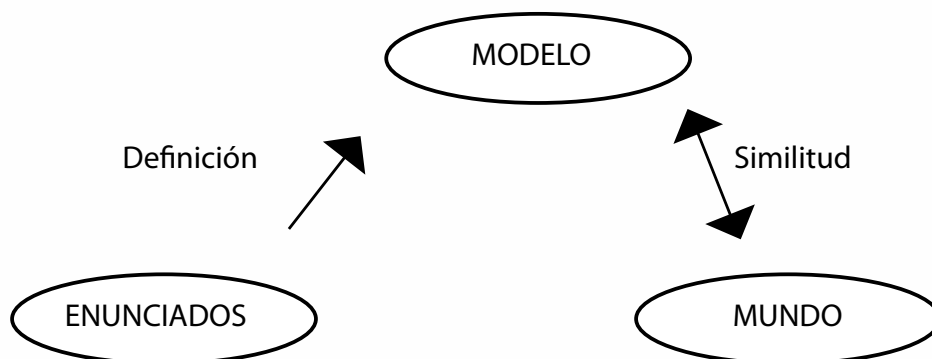
### *Un marco teórico de referencia*

Si reconocemos que el tema principal de la ciencia es el universo material y el propósito de la empresa científica es obtener el tipo de conocimiento y entendimiento del universo material confiable sobre las acciones (Ogborn, 1997), entonces el propósito de la educación científica es pasar a la gente joven algunos elementos de este conocimiento y entender cuáles, nosotros (como sociedad) sentimos que son de valor para ellos. Para lograrlo, es necesario en primer lugar que los alumnos perciban la ciencia como una actividad social que se ve afectada a través del tiempo tanto de las visiones personales como de los procesos y valores sociales y económicos.

En esta tarea de hacer asequible la ciencia a los estudiantes han surgido numerosas propuestas didácticas cuya finalidad es facilitar los procesos y las mediaciones entre el conocimiento de los alumnos y los modelos científicos. Si consideramos que las ciencias constituyen una manera de pensar y de actuar con el objetivo de interpretar determinados fenómenos e intervenir en ellos mediante un conjunto de conocimientos teóricos y prácticos, estructurados

(Izquierdo, *et al.* 1999), entonces reconoceremos la necesidad de encontrar un medio para acceder a la comprensión de cómo funciona el mundo y cómo intervenir en él.

Existen distintos Modelos Cognitivos que tratan de ofrecer un marco explicativo sobre el proceso de acercamiento que va desde las ideas y/o explicaciones previas de los individuos hasta las explicaciones científicas. Sin embargo, uno de los que parece más adecuados para explicar los procesos de enseñanza y aprendizaje de la ciencia escolar es el Modelo Cognitivo de Ciencia (MCC) expuesto por Giere (1988), este modelo frente a otros modelos de ciencias destaca los aspectos psicológicos y sociales que son el origen del pensamiento científico experimental. En este sentido los modelos teóricos son parte de las teorías científicas escolares, junto con los hechos interpretados por ellos. Son representaciones de los fenómenos que permiten interpretar las relaciones experimentales que se establecen entre los hechos del mundo y las formas en que son representados. Según Giere (1998) los modelos teóricos establecen las siguientes relaciones:



De este esquema se desprende el proceso de modelización, el cual involucra las siguientes interdependencias:



Según Giere (1998), las teorías científicas tienen significado en relación con los fenómenos en los que se ha intervenido (son «experiencia», no sólo experimento) y por esto una teoría es un conjunto de modelos y de hechos del mundo que se reconocen «similares» a los modelos y que han sido interpretados por un proceso de modelización con sus propias «reglas del juego» o hipótesis teóricas. Para su manejo en el aula el profesor iniciará presentando los modelos de manera creíble y convincente para mostrar que dichos modelos ayudan a interpretar los fenómenos, gracias a hipótesis que puedan contrastarse experimentalmente.

A partir de este esquema donde de manera muy resumida se plantea el proceso de modelización, podemos inferir que la labor del docente consiste en proporcionar los elementos necesarios para establecer la mediación entre la representación del modelo teórico y las representaciones que tienen los estudiantes sobre ésta.

En torno a las *formas de representación* Eisner (1994), explica que nuestro sistema sensorial es parecido a un sistema de registro de información que nos permite entrar en contacto con el mundo, de manera que el contenido de nuestra conciencia está mediado por los datos que el sistema sensorial (a través de percepciones visuales, auditivas, kinestésicas, olfatorias, gustativas y táctiles) pone a su disposición, es decir, lo que vemos, oímos, tocamos, etcétera, constituyen la materia prima a través de la cual creamos las *formas de representación*. Por tanto, las formas de representación son los dispositivos que los seres humanos utilizan para hacer públicas



las concepciones que tienen privadas; este carácter público puede adoptar forma de palabras, cuadros, obras musicales, matemática, danza, etcétera.

En este sentido, se considera a las simulaciones como una forma de representación muy valiosa para la enseñanza ya que son una fuente de estímulos sensoriales y cognitivos que permiten que los estudiantes pongan en juego sus ideas frente a las interacciones que plantea el desarrollo de la actividad realizada en el simulador. Según García (1995), las simulaciones computacionales tienen otras ventajas las cuales surgen de la comparación con las prácticas de laboratorio, por ejemplo: la compra, el mantenimiento y la actualización del equipo de laboratorio es normalmente más costoso que el hardware y el software; además, en el manejo de las simulaciones no existe la preocupación por la seguridad física de los estudiantes.

Por su parte Gokhale (1991), reconoce que si las simulaciones son usadas antes de la instrucción formal, éstas desarrollan la intuición y alertan a los estudiantes sobre el desarrollo natural de todo el proceso; y cuando se utilizan después de la instrucción formal, el programa ofrece a los estudiantes la oportunidad de aplicar lo aprendido o bien de comprenderlo mejor. Independientemente del momento en el que el docente decida apoyar su clase con el uso de simuladores, un aspecto muy importante es que analice perfectamente cuál es su propósito y cómo va a orientar el proceso de interacción con los estudiantes.

Según Pogrow (1994), una estrategia de aprendizaje basada en el Proyecto de Habilidades de Pensamiento de Orden Superior (HOTS: *Higher Order Thinking Skills Project*), implica tres principios:

1. Crear un ambiente cautivador para el que aprende.
2. Combinar experiencias de aprendizaje visuales e interactivas que ayuden a los estudiantes a formar representaciones mentales.

3. Desarrollar la arquitectura cognoscitiva que se unifique sus experiencias de aprendizaje (Pogrow 1994, citado por Gokhale, 1996).

Las simulaciones interactivas de computadora basadas en esta estrategia ayudan a los estudiantes a crear las explicaciones sobre los acontecimientos y a discutir y argumentar la validez de esas explicaciones usando una mezcla entre sus propias ideas y los conceptos técnicos en la simulación. Además, las simulaciones que emplean una serie de medios ayudan a tender un puente entre los estilos de aprendizaje de los estudiantes y los estilos de enseñanza de los instructores.

Hudson (1998), propone que los procesos de interacción entre el alumno y algún tipo de experiencia didáctica deben de ir acompañados de preguntas que ayuden a la reflexión: qué tengo ahí, qué voy a hacer, por qué lo hago, qué dificultades puedo anticipar, qué está pasando, cómo está pasando, etcétera.

A partir de estas orientaciones se pone en evidencia la necesidad de que el docente juegue un rol crítico dentro del uso de la tecnología en el aula ya que comúnmente se puede caer en tendencias extremas sobre el uso de la misma, por ejemplo suponer que el uso de la tecnología por sí solo mejorará las prácticas o bien pensar que la tecnología no tiene nada de aportar. El rol mediador del docente es muy importante dentro del contexto de interacciones entre los estudiantes y las simulaciones multimedia de procesos científicos.

Con el uso de las simulaciones se logra que los roles de los estudiantes sea cada vez más autónomos, por tanto los docentes necesitan disminuir su papel protagónico y dedicarse a facilitar información y desarrollar la comprensión proporcionando suficientes oportunidades de experimentación.

La finalidad según Rogers y Wild (1996), es que los estudiantes se sientan comprometidos para comparar sus planillas de datos y/o

sus gráficas para discutir similitudes o diferencias. Por tanto, ellos muy probablemente amplíen su visión sobre lo que realmente constituye información útil y relevante.

Por último, se reconoce que mientras que los profesores estén motivados y confíen en el uso crítico de las TIC en el aula de clase, están simultáneamente desarrollando una perspectiva reflexiva y crítica. Sin embargo todavía falta mucho por hacer para que las TIC formen parte del hábitus y de la cultura del profesor en el aula.

### **Enseñar y aprender el concepto de *evolución***

*The Association for the Advancement of Science* (1993), describe cómo se puede desarrollar el tema de evolución desde preescolar hasta preparatoria. Para el caso del nivel Medio Superior los alumnos ya pueden concentrarse en el mecanismo de evolución, después de que han conocido en niveles previos como se ha dado en el tiempo geológico. Así, al terminar el tercer grado de enseñanza media superior los alumnos pueden:

1. Entender la selección natural, su acción en la variación de las características de una población y su dependencia de factores ambientales que también pueden variar y afectar a las poblaciones.
2. Explicar un mecanismo de evolución donde existe cierta variación de las características heredables dentro de cada especie; algunas dan la ventaja a unos individuos sobre otros en la reproducción, y la descendencia a su vez, tiene más probabilidad de reproducirse que los demás. Por ello aumenta el número de individuos con características favorables (adaptación).
3. Identificar que las características heredables pueden originarse en nuevas combinaciones de los genes actuales, o en

mutaciones de genes en las células reproductoras, antes del efecto de la selección natural. Los cambios en otras células (no reproductoras) de un organismo no se pueden pasar a la siguiente generación.

### *El concepto científico de evolución*

Según Campos, *et al.* (1999), desde el punto de vista científico, la teoría evolutiva moderna consiste en la selección natural como principal mecanismo causal de cambio en el tiempo que opera sobre la variación, que aparece por mutación y recombinación y se hereda de manera mendeliana intergeneracionalmente. Sintetizando los dos elementos fundamentales del concepto evolutivo, Millán, *et al.* (1997), proponen que el concepto científicamente correcto de evolución contiene la concepción de Selección Natural + la concepción poblacional. Se considera Selección Natural cuando se menciona directamente el efecto, positivo o negativo, del medio en la sobrevivencia y/o la reproducción diferencial de los organismos y poblacional cuando se hace mención a las diferencias intrínsecas de los individuos sobre diferentes grados de adaptación y/o adecuación individual dentro del grupo de organismos.

Así los componentes esenciales de la teoría evolutiva: son la variación genética y la selección natural. Un concepto muy ligado al de Selección Natural es el de Adaptación, porque mientras la selección natural es el proceso, la adaptación es su resultado: "... la adaptación según la teoría evolutiva moderna es el resultado de la selección natural actuando sobre la variación individual que permite que en la lucha por la existencia los individuos cuyas características les sean ventajosos, sobrevivan y dejen descendencia. La adaptación es entonces resultado del poder... de la selección natural" (Campos, *et al.* 1999). Un tercer elemento relacionado es la diversidad biológica, formada por todo el conjunto de especies que

existen y cuyo inventario constituye la Sistemática (Salvo, 1997), que describe su clasificación bajo el principio de sus relaciones de parentesco o separación a partir de un ancestro común (Mengascini y Menegaz, 2005a). Así, “La diversidad biológica es explicada como el resultado de la divergencia de caracteres en donde las poblaciones van constituyéndose en especies separadas reproductivamente de otras”. A este proceso se le denomina especiación (Campos, *et al.* 1999).

Como resumen de lo anterior se puede decir que la evolución consiste en la unión de los procesos de variabilidad genética y selección natural, y la adaptación, la especiación y la diversidad biológica son sus resultados a largo plazo. Pero también hay resultados a corto plazo, por corto plazo entendemos de una generación a otra, de padres a hijos, hasta formar razas y se denomina Microevolución (Wilkins, 2006). Ocurre dentro de una especie y resulta en la variación genética que diferencia a los individuos entre sí, se acumula y después de muchas generaciones (pueden ser decenas, cientos o miles, según el caso) forma razas nuevas. Hasta aquí el proceso es microevolutivo, pero si se acumula por razones ambientales (selección natural) y las razas se separan geográficamente puede ocurrir que se formen nuevas especies, cada una de las cuáles ya sigue un patrón de divergencia independiente y da lugar a la diversidad biológica que es estudiada por la sistemática y entonces se denomina macroevolución (Wilkins, 2006).

Maroto (2004) sintetiza en una forma sencilla y entendible para el público no especializado el término evolución como “descendencia con modificaciones que funcionan lo suficiente para sobrevivir en un medio determinado”.

Esta concepción del proceso fusiona la tradición darwiniana del siglo XIX y los avances de la Genética del siglo XX (Hernández y Ruíz, 2000), pero antes de la Teoría de Darwin de 1859, existe una historia del pensamiento evolutivo que es necesario relatar porque

las concepciones previas o alternas de los estudiantes guardan una gran semejanza con las teorías del cambio evolutivo que han sostenido varios autores antiguos.

### *Historia de las concepciones de evolución*

Hasta antes del siglo XIX privaba un concepto **fijista** para el cuál las especies actuales son las mismas desde el origen de la vida, que fue una creación divina. Pero en 1809 Lamarck en su libro “Filosofía Zoológica” plantea que los seres vivos van cambiando a través del tiempo y a este proceso desde entonces se le denomina evolución. El problema con este término es viene del latín “evolvere”, que significa desplegar, desenvolver lo oculto, lo que los embriólogos describen como el desarrollo Azkonobieta (2005:120), y por ello los profesores y alumnos mantienen la idea que la evolución son los cambios que les ocurren a los seres vivos en el transcurso de su vida. A este tipo de concepción donde se confunde el desarrollo individual con el cambio evolutivo le denominaré, siguiendo a Paz et al (2002), como “**ontológico**”.

Lamarck en su teoría de la evolución sostiene dos principios contradictorios porque en uno utiliza el vago principio de camino a la perfección de los seres vivos (**Concepción progresista**) y en el otro utiliza un mecanismo de transformación que depende completamente del organismo como respuesta al medio y a esta concepción se le puede denominar “**Concepción necesaria**”, porque se realiza conforme a las necesidades del organismo en ese momento (Hernández y Ruíz, 2000). Analizaremos ahora porque son contradictorias y en qué consiste cada una.

La Concepción progresista la apoya Lamarck en el trabajo de Linneo, quien creo la primera clasificación de los seres vivos. Pero como Linneo era fijista, el mencionaba que lo que estaba haciendo era descubrir el orden de la creación, la escala natural en la

que se pueden ordenar a todos los organismos (Bueno, 1997). Así creo la escala taxonómica que se sigue conservando en la actualidad (Reino, clase, orden, familia, género y especie), aunque se han agregado otras categorías como phylum (Mengascini y Menegaz, 2005a). La concepción progresista es de tipo espiritual porque en lugar de hablar en términos de la creación divina, como lo hace la Biblia cristiana y muchas mitologías antiguas, sustituye el poder creador sobrenatural con una ley natural hacia la complejización, que es la responsable de que los organismos vayan cambiando y pasando de un lugar a otro de la escala. Lo que hizo Lamarck fue simplemente tomar la clasificación de Linneo y mencionar que los organismos van pasando de un lugar a otro, siempre en un plano ascendente (Hernández y Ruíz, 2000).

La concepción progresista no implica en realidad ninguna novedad y son por lo tanto un creacionismo disfrazado (Woods y Schwarman, 2000), porque al señalar que los organismos al evolucionar progresan y van pasando de posición a posición en la escala de la naturaleza: de mineral a planta a animal inferior, animal superior y por último a hombre, se está aceptando una creación “sucesiva” en la lugar de la casi simultánea del relato bíblico (Moya, 2005: 77). Pero es el primer intento de explicar que los organismos cambian, aunque faltaba explicar como aparece algo realmente nuevo en la evolución y el primer paso lo da Lamarck con la segunda parte de su teoría.

En el segundo principio Lamarck da éste paso porque su teoría del cambio evolutivo tiene un mecanismo de transformación que depende completamente del organismo como respuesta al medio y a esta concepción la hemos identificado con lo que González *et al.* (2005) denominan “necesaria”, porque el cambio depende de las necesidades de adaptación del ser vivo. Este consiste en que un cambio en el medio conduce a que los seres vivos desarrollen otras costumbres para poder sobrevivir, las cuáles resultan en que algunos órganos se usen más que otros o se adquieran nuevas característi-

cas, que se transmiten a la descendencia (Teoría del uso y desuso de facultades). Con esta idea Lamarck se desprende completamente de una evolución progresista porque el proceso ya sólo depende del organismo y no de una creación, aunque el poder transformador de este segundo principio es limitado porque no crea organismos diferentes, sólo variaciones del mismo tipo (Hernández y Ruíz, 2000).

Otro paso importante en hacer que el cambio sólo dependa de causas naturales, la da Geoffroy Saint-Hilaire en 1833, en la obra: “Influence du monde ambiant pour modifier les formes animales” (influencia del mundo cambiante para modificar las formas animales). Aquí da a conocer una tercera posición, que podemos denominar “**inducción ambiental**”; es una variante de la herencia de caracteres adquiridos de Lamarck, pero aquí, es el medio el que directamente induce el cambio, sin que el organismo primero adquiriera una costumbre y luego pase por el proceso de uso y desuso (University of California museum of Paleontology, 2006). Al pie de la letra el autor dice:

*“The external world is all-powerful in alteration of the form of organized bodies... these [modifications] are inherited, and they influence all the rest of the organization of the animal, because if these modifications lead to injurious effects, the animals which exhibit them perish and are replaced by others of a somewhat different form, a form changed so as to be adapted to the new environment”. Geoffroy Saint-Hilaire, “Influence du monde ambiant pour modifier les formes animales”. 1833. (University of California museum of Paleontology, 2006).*

Como esta idea la desarrolló al final de su carrera, y no desarrolló la idea de que todos los seres vivos tienen un origen común, su clasificación como precursor de la evolución no es convincente (*University of California Museum of Paleontology, 2006*).

En conjunto estas concepciones son **teleológicas**, porque se dirigen a cumplir determinados fines (González *et al.* 2005). La pro-



gresista a cumplir con los designios divinos; la necesaria, el esfuerzo del organismo por sobrevivir, y la de inducción ambiental a cumplir con lo requisitos que le impone el medio.

Un elemento que suele aparecer junto a los cuatro modelos de concepciones alternativas de evolución, es la “**concepción tipológica**” en donde los cambios que le ocurren a un individuo también le pasan a toda la especie en su conjunto (Stern, 2004; Millán *et al.* 1997). Esto elimina las diferencias individuales y pretende que todos los individuos son de un solo “tipo”.

### *Concepciones alternativas de los alumnos del concepto de Evolución*

Una explicación de por qué suelen aparecer en los alumnos las versiones de **inducción ambiental** y **necesaria**, la dan Gándara, et al. (2002) cuando explican cómo en los libros de texto se suelen confundir los conceptos evolutivo y fisiológico de adaptación. Ellas afirman que la adaptación es un resultado de la selección natural que consiste en permitir que la especie perdure exclusivamente con los individuos que son capaces de sobrevivir. Ante un cambio muchos individuos perecen y sólo los que previamente tenían las características necesarias para responder, sobreviven. Así la evolución no es teleológica. En cambio si lo es la adaptación fisiológica porque hay inducción ambiental, la piel cambia de color con el sol, si los genes tienen esa capacidad de respuesta. Y se da por necesidad porque el organismo puede buscar y desarrollar hábitos de conducta y desarrollar por consiguiente algunos órganos automáticamente: lo que más se usa se desarrolla, lo que menos se usa se atrofia.

Cruz (1998), plantea que la falta de comprensión de los fenómenos que ocurren a largo plazo como los procesos geológicos y los evolutivos se deben a:

- a. La imposibilidad de observación directa de los cambios.
- b. La imposibilidad de experimentación para entender los cambios.
- c. La inmutabilidad que es lo que habitualmente se observa.

Otro posible origen de las concepciones alternas es la medición de la magnitud del tiempo. Trend (2000), presenta evidencias de que no es sino hasta los 10 años que los niños entienden las secuencias de eventos lo cual es un requisito para la práctica didáctica de la Línea del Tiempo, pero no entienden, hasta pasado los 15 años, el problema de la magnitud del tiempo pero no de la cantidad de decenas de millones de años que dura un proceso macroevolutivo, lo cual requiere de conocimientos disciplinares.

Y el último obstáculo es que la ciencia no nos muestra los mecanismos por los cuales un tipo de organismo se fue transformando en otro diferente y en cuantos años ocurrió cada cambio. Porque desde el punto de vista científico, no es posible rastrear las etapas intermedias por las que pasaron las especies en su evolución y todo lo que existe son pasos muy grandes entre las mismas ya que los cambios ocurren muy rápido y sólo en una parte muy pequeña de la especie original, por ello solo se especula de los cambios genéticos y ambientales que estuvieron atrás y se desconocen los detalles.

### **Una propuesta didáctica sobre uso del simulador para la enseñanza del concepto evolución a nivel poblacional (microevolución)**

Para ligar los fenómenos cambios ambientales que provocan reproducción diferencial (**selección natural**) con la variación espontánea de los individuos de una especie independientemente del medio (**poblacional**), Banet y Ayuso (2003) proponen que:

- Se analice la diversidad de individuos dentro de las especies.
- Se determine que la variación aparece independientemente de factores ambientales.
- Se compruebe que cierta parte de esa variación afecta las posibilidades de supervivencia y por lo tanto de dejar descendencia porque los hace más o menos adaptativos.

Bajo estas bases se investigó cuáles son los modelos más adecuados para enseñar el mecanismo evolutivo. Se encontraron modelos que se pueden realizar con material sencillo. El primero simula la interacción entre selección natural y variación genética en un juego denominado “de las mariposas” (Mengascini y Menegaz, 2005), en donde se utilizan tableros que representan el medio ambiente, fichas que representan a las mariposas, y los jugadores representan a los predadores (aves). Las fichas de diferente color simulan variación genética y la combinación de tablero y jugador simula la selección natural. Los resultados muestran un resultado evolutivo: cómo se modifica la distribución de colores en la población según el color del medio sea mimético a un tipo de mariposa u otro.

El segundo, de McComas (1994: 74-76), también simula la relación Selección natural-variación genética, pero en un fenómeno diferente: la sobrevivencia de aves con diversos tipos de picos para alimentarse de varios tipos de semillas. Aquí la variación está representada **pro** los picos y la selección por lo tipos de semilla. El juego consiste en tratar de capturar las semillas con instrumentos de uso doméstico como espátulas, cucharas, pinzas, etcétera. Al cabo de cinco minutos se cuentan el número y tipo de semillas “comidas” por cada pájaro y se analizan sus posibilidades de sobrevivir con ese alimento y en la siguiente generación que variedades de aves quedarán y cuáles desaparecerán.

Existen modelos digitales, como *Evolve* y *Populus* (de Soderberg, 2003; University of Minnesota, 2007, respectivamente) pero

que no simulan los caracteres de los organismos ni fuerzas selectivas concretas, sino modelos matemáticas y gráficas en donde se distribuyen las frecuencias de genes antes y después de sufrir los efectos de la selección natural. El alumno puede suponer que atrás de determinados caracteres y factores del medio, pero se requieren amplios conocimientos de Biología y que se haya entendido el concepto científico de evolución, factores que según menciona la investigación previa (Millán *et al.* 1997: Campos *et al.* 1999), no se dan en la mayoría de los estudiantes. Por ello se consideró necesario buscar una simulación que fuera digital y animada; se encontró el programa de “el pez llamativo (*flashy fish*)”, la cual se describe a continuación.

*Descripción de la actividad: “el pez llamativo (*flashy fish*)”*

Se trata de una actividad didáctica de la sección científica de la Organización PBS ( “<http://www.pbs.org/>” <http://www.pbs.org/>) en la sección de Evolución (“<http://www.pbs.org/wgbh/evolution/>” <http://www.pbs.org/wgbh/evolution/>) cuya segunda lección (“<http://www.pbs.org/wgbh/evolution/educators/lessons/lesson4/index.html/>” <http://www.pbs.org/wgbh/evolution/educators/lessons/lesson4/index.html/>) se denomina “el pez llamativo (*flashy fish*) y tiene como propósito entender cómo funciona la evolución. La lección tiene como objetivos específicos:

1. Que los estudiantes entiendan el concepto de selección natural y una de sus modalidades, la selección sexual.
2. Que clarifiquen el efecto de la selección natural en la población de los peces llamativos y de esa manera entiendan el proceso microevolutivo.

El fenómeno biológico que se simula es la microevolución a partir de los efectos de la selección natural y sexual y la variación individual.

Los protagonistas son:

1. Selección natural: Predadores rivulus que consume peces de cualquier color, acara que consume los peces que ve primero (los más vistosos), pero que no es muy voraz; cíclido, que también consume peces vistosos, pero que también es muy voraz.
2. Selección sexual: La hembras de los peces vistosos, que se aparean principalmente con los de color más brillante.
3. Variación individual: Los peces llamativos tienen cuatro clases: los + brillantes, los brillantes, los grises y los + grises.

**El mecanismo que se pone en juego es:**

**Hay dos fuerzas de selección que tienen resultados** opuestos en las proporciones de peces llamativos en estanques naturales. La selección sexual, favorece la reproducción de los peces con colores más llamativos, ya que éstos tienen un mayor atractivo para las hembras y se pueden aparear con ellas en mayor proporción que los machos con colores menos llamativos y producir así generaciones de hijos con éstos brillantes colores, pero la selección natural, debida a la presencia de los predadores, favorece a los peces que tienen colores menos llamativos, porque con esta tonalidad, pueden pasar desapercibidos y no ser devorados. Sin embargo, la potencia de esta selección depende de la proporción de predadores, con los cíclidos es mayor, con los acara es mediana y con los rivulus es baja.

*Relación entre las concepciones alternativas del alumno sobre evolución y las características del simulador que las contradicen.*

Concepciones alternativas	Características del simulador que las cuestionan
<p>Tipológico, percibe a las especies con individuos todos con iguales características y que cambian o permanecen igual en el tiempo.</p>	<p>Poblacional. Observará que el pez llamativo puede estar compuesto de diferentes proporciones de individuos de cuatro tipos de coloración, las cuáles no son estáticas sino que varían ligeramente de generación y las variaciones se hacen muy grandes con el tiempo.</p>
<p>Progresista, percibe que los organismos cambian en una sola dirección: para ser mejores o más desarrollados en algún sentido.</p>	<p>Selección natural neutral en relación a la mejora. Observará que no hay mejor ni las características que cambian, porque tanto puede ser más abundantes el más “bello” el brillante, como el más “modesto”, el gris, según cambie la selección natural, que en éste caso es el tipo de predador y las preferencias de los peces hembras.</p>
<p>Necesario, identifica el cambio con una necesidad interna de hacerlo para sobrevivir.</p>	<p>Selección natural no necesaria, sino contingente, porque varía dependiendo del medio, el cuál está en función al predador más abundante, y de las preferencias de las hembras, lo que comprueba que es independiente de las necesidades del organismo. El que no tiene las características adecuadas simplemente o es comido o se reproduce y por eso baja su número en la siguiente generación.</p>
<p>Inducción ambiental, el medio ambiente provoca las modificaciones adecuadas al organismo para que éste pueda sobrevivir.</p>	<p>La selección natural solo favorece o no determinados tipos de organismos ya preexistentes, antes de la existencia de predadores y de las preferencias de las hembras, los peces llamativos ya tienen sus cuatro tipos de coloración.</p>

Ontológico, identifica evolución con cambio en el ciclo de vida del organismo.	Aquí se define evolución como el cambio que sufren las poblaciones o conjunto de individuos entre una generación y otra y no como el cambio de color que tiene el pez en su ciclo de vida.
--	--

### *Funcionamiento e interacción con el simulador*

La información y el cuestionamiento inicial:

Los estudiantes hacen un recorrido a través de la página web y conocen los diferentes tipos de peces, sus predadores, y las preferencias de las hembras y después tienen que pensar y responder a las siguientes preguntas:

- 1. ¿Qué efecto tendrá en la siguiente generación el que la hembra prefiera aparearse solo con los machos más brillantes?*
- 2. ¿Qué efecto tendrá en la siguiente generación el que existan predadores más o menos voraces y que prefieren o no comerse a los más brillantes?*

Ahora ya están en posibilidades de plantear sus hipótesis, previas a echar a andar la simulación. Se pide a los alumnos que planteen dos hipótesis en relación al cambio que pueden sufrir los peces, se espera que: una suponga que aumente el número de peces con la coloración brillante y otra que, por el contrario, disminuya su número. Sin embargo, junto con la hipótesis también deben poner las condiciones que son necesarias. A continuación se presenta lo que podría esperarse de un alumno que hiciera correctamente las hipótesis:

- a) Aumento del número de brillantes: Si ponemos en el estanque un determinado número de machos de los cuatro diferentes tipos, junto con hembras y el predador rivulus, como sólo las hembras prefieren aparearse con los machos brillantes y el predador se come por igual a los llamativos independiente del color, es de esperarse que aumente el número de brillantes, no porque mueran más sino porque los brillantes tienen más posibilidades de dejar descendencia.
- b) Disminución del número de brillantes: Si ponemos en el estanque un determinado número de machos de los cuatro diferentes tipos, junto con hembras y los tres tipos de predadores: rivulus, cíclido y ácara, prefieren comerse a los brillantes, y la acción predatora es más rápida que el nacimiento de crías brillantes, producto de las preferencias de las hembras.

Inicio de la simulación para comprobar las hipótesis:

Ahora se invita a los alumnos a que ingresen a la página “[http://www.pbs.org/wgbh/evolution/sex/guppy/ed\\_pop.html](http://www.pbs.org/wgbh/evolution/sex/guppy/ed_pop.html)” [http://www.pbs.org/wgbh/evolution/sex/guppy/ed\\_pop.html](http://www.pbs.org/wgbh/evolution/sex/guppy/ed_pop.html) para que inicien la simulación. Cuando lo hacen, acceden al comando “simulation” y aparecen dos pantallas, una para seleccionar 3 proporciones de peces llamativos: más brillantes, más grises, o proporciones mixtas; y tres proporciones de predadores: 30 rivulus, 30 rivulus y 30 ácara, ó 30 rivulus, 30 acara y 30 ciclidos. Así ellos tienen 9 posibilidades de combinación y así obtener 9 resultados distintos, pero tendrían que pensar solo en dos, de los más apropiados para comprobar las hipótesis. Una vez que seleccionan la combinación de ambos factores señalan “run” y la simulación empieza a andar. En la parte izquierda de la pantalla aparecen los protagonistas: los peces hembras, los peces machos de diferentes colores y



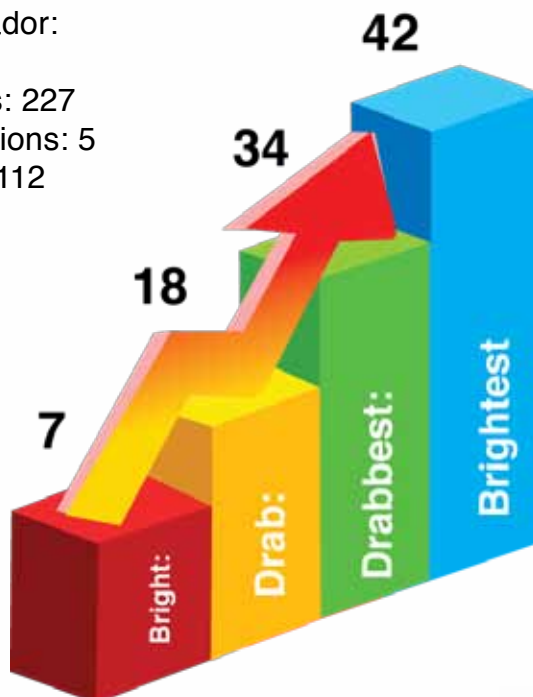
los predadores; y en la parte derecha el número inicial de peces de los cuatro tipos, el número de generaciones, el número total de peces, y, lo más importante: cómo generación por generación cambia la proporción de tipos de colores.

En este caso se eligió un ejemplo con el cual se puede comprobar el aumento de peces brillantes. Se seleccionó la combinación de mezcla de tipos de color con el predador rivulus como dato inicial:

Número de peces inicial de cada tipo: 42% muy brillantes, 7% brillantes, 18% gris y 34% muy gris. Predadores: rivulus. Generaciones: a partir de la quinta generación:

Pantalla del simulador:

Number of guppies: 227  
Number of generations: 5  
Number of weeks: 112  
Male color types:



## Resultados

Número de peces final de cada tipo: 95% muy brillantes 1% brillantes 3% gris 2% muy gris.

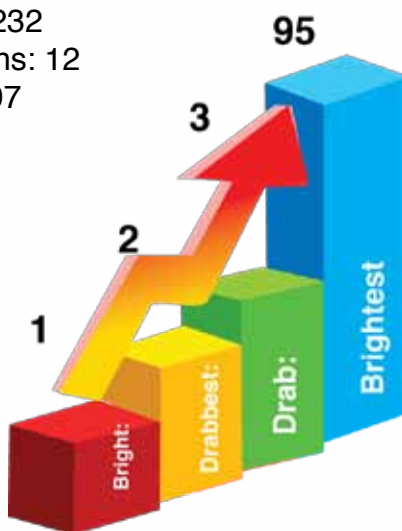
Número de generaciones 12.

Number of guppies: 232

Number of generations: 12

Number of weeks: 407

Male color types:



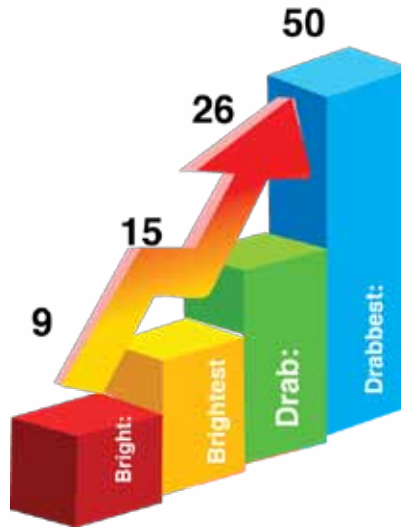
Esto comprueba la hipótesis, ya que en sólo siete generaciones de la 5 a la 12 el número de brillantes saltó del 42 al 95%.

Para la segunda hipótesis que pretende comprobar la disminución de peces brillantes, se seleccionó la combinación de mezcla de tipos de color con una proporción de predadores equilibrada entre las tres especies:

Número de peces inicial de cada tipo: 15% muy brillantes, 9% brillantes, 26% gris y 50% muy gris. Predadores: rivulus, cíclido y acara. Generaciones: a partir de la cuarta:

Pantalla del simulador:

Number of guppies: 171  
Number of generations: 4  
Number of weeks: 57  
Male color types:

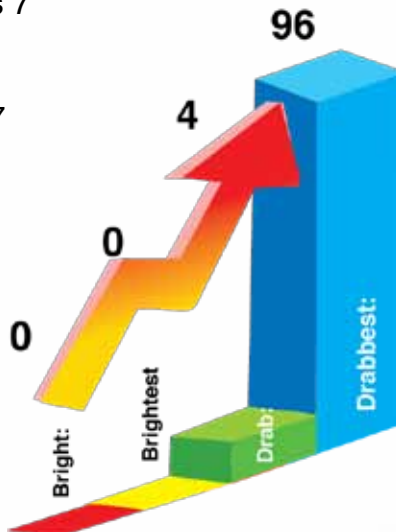


Resultados

Número de peces final de cada tipo: 0% muy brillantes 0 % brillantes 4% gris 96% muy gris.

Número de generaciones 7

Number of guppies: 100  
Number of generations: 7  
Number of weeks: 203  
Male color types:



Esto comprueba la hipótesis, ya que en sólo tres generaciones de la 4 a la 7 el número de brillantes disminuyó de 15% al 0%.

Cabe señalar que aquí solo se ejemplifican dos situaciones para comprobar las hipótesis iniciales, pero la riqueza del uso del simulador es que los estudiantes puedan manipular las distintas variables y valorar críticamente sus efectos a partir de los resultados. Esto se puede hacer primero de manera individual y después se pueden socializar los resultados entre todo el grupo para establecer puntos de comparación y argumentar cada hipótesis.

### **Valoración crítica del simulador**

Aquí la pregunta es: ¿El simulador permite la manipulación de las variables que intervienen en el proceso microevolutivo? Y la respuesta es: sólo en parte, porque como toda transposición (Camacho *et al.* 2005) que constituye una simplificación para la enseñanza, no ejemplifica todas las fuerzas microevolutivas ni tampoco proporciona un rango amplio de posibilidades para manipular las variables, sin embargo tiene la ventaja de que el efecto se puede visualizar en una imagen del ambiente natural en que ocurre el fenómeno real.

En forma más explícita se pueden identificar las siguientes *ventajas*:

1. Parte de una detallada explicación sobre los componentes de la selección natural: peces llamativos, su hábitat, los hábitos reproductivos de las hembras y los hábitos predadores de los tres tipos de peces.
2. Se basa en la acción de las dos fuerzas selectivas opuestas: la sexual que aumenta el número de brillantes y la predatoria que los disminuye, lo cual permite que el alumno entienda que el efecto de la selección no es en una sola dirección sino puede ser en varias.

3. Ejemplifica la variabilidad de las poblaciones naturales con cuatro tipos de colores de peces y aísla su origen de los efectos de la selección natural. Así evita interpretaciones teleológicas, necesarias o de inducción ambiental, porque cualquier tono puede aparecer en cualquier tipo de selección natural. Así el color gris puede aparecer aunque no sea el preferido por las hembras y el color brillante estar en el hábitat donde existan predadores que prefieran comer este tipo brillante.
4. Muestra el efecto por generación de la selección y da una idea realista de cómo es su mecanismo: aumenta gradualmente el número de peces de un color y disminuye el del otro color.
5. En conjunto estos resultados permiten entender cómo se pueden generar razas o variedades geográficas, en diferentes hábitats, por ejemplo, una raza gris en donde haya un tipo de predadores y una brillante en donde exista otra.

### *Algunas propuestas para mejorar la simulación*

Con una visión crítica podríamos proponer modificaciones que elevaran la calidad del simulador. Si quisiéramos hacer de la selección natural un fenómeno más flexible, se podría incorporando un cambio en las relaciones predador-presa de una generación a otra. Por ejemplo, si disminuye el predador que prefiere el color brillante, este tono aumentaría en número en una generación, pero si en la siguiente ocurre que el predador aumenta, éste color disminuiría y la selección natural cambiaría al término de cada ciclo de vida lo que es común en la naturaleza. Pues un predador puede disminuir por una enfermedad inesperada o el estanque modificarse por introducción de otro tipo de agua o crecimiento de malezas o un cambio en las corrientes que lo alimentan. Otra posibilidad es que

el hábitat pudiera cambiar por la introducción de una planta exótica, por ejemplo, introducida por el hombre y así el color brillante podría esconderse con igual eficacia que el gris y de esa manera no disminuir su número.

También podría ser más realista sobre la variación de color de la especie y las preferencias de las hembras por aparearse con los más brillantes, pero no explica que posibilidades tienen los peces grises de reproducirse en relación a los brillantes, ni tampoco que tantas probabilidades tienen de ser devorados los grises y los brillantes. Si las posibilidades fueran de cero reproducción en los grises, éstos desaparecerían en una generación porque no dejarían descendencia y si los predadores sólo devoraran los brillantes, también estos se acabarían, solo quedarían hembras y la especie desaparecería. Esto lo pueden pensar los alumnos, por ello es necesario hacer planteamientos de probabilidades de reproducción, por ejemplo, 25% de los grises vs 75% de los brillantes; 33% de ser devorado un gris y 66% de serlo un brillante. Esto sería más acorde al proceso que puede ocurrir en la naturaleza.

Por último, sería deseable incorporar otros factores microevolutivos, porque no considera como origen de la variación la recombinación, la mutación y la migración (Theobald, 2004). Para la migración, podría proponer que existe un corredor de agua entre diferentes estanques, por donde pasaran peces de diferentes colores y así aunque los predadores acabaran con un pez brillante, esto siempre existirían dado que vienen de otros estanques, y al revés, en un estanque donde predomina un predador, podría mezclarse con la venida de otro tipo de predador desde otro estanque y de esta forma cambiar la proporción en que ocurre la predación del color brillante.

Para la recombinación, podría haber no sólo cuatro tonos puros, sino una mezcla entre los cuatro que daría tonos intermedios no citados y de esta manera simular los efectos de una herencia más

realista, porque de las combinaciones de cuatro tonos entre sí, habría al menos 16 combinaciones posibles, si fuera el caso de que ningún color predominara en la herencia final (McClellan, 2000). Así, cada tono, según la cantidad de color brillante que tuviera, tendría una cierta probabilidad de cruzarse con la hembra y de ser predado.

Y para la mutación, podría plantearse una tasa de mutación realista, por ejemplo 1:80,000 de cambio de color del gris al brillante o viceversa (Armstrong, 1999), lo cual sería suficiente para mantener una muy baja proporción, pero no la desaparición total del color que tenga los factores selectivos en contra. La combinación de estos elementos haría que los estudiantes tuvieran que ser más reflexivos por el gran número de combinaciones que podrían manejar.

Se reconoce que este tipo de reflexiones, el docente las puede plantear en clase para que los estudiantes sigan proponiendo hipótesis y contrastándolas con los argumentos de los compañeros y del material bibliográfico al alcance con la finalidad de encontrar la explicación más adecuada científicamente, es decir, la que mejor se acerque a la explicación del modelo científico.

## Comentarios finales

El desarrollo del presente documento, ha hecho que surjan algunas reflexiones en torno a los siguientes puntos:

- La didáctica de las ciencias enfrenta una serie de retos los cuales debemos enfrentar los que estamos convencidos que una alfabetización científica y tecnológica de la ciudadanía contribuye al desarrollo social, y por tanto ofrece una mejor calidad de vida.
- El apoyo de las herramientas tecnológicas de la información y la comunicación, representa uno de los principales caminos

de mejora en la didáctica, sin embargo, es un campo que necesita ser analizado con mayor profundidad a través de investigaciones sistemáticas en contextos reales que nos permitan conocer que ventajas y/o dificultades se presentan en su aplicación. Sólo así se podrán tomar decisiones fundamentadas que orienten las acciones de mejora.

- Para el caso aquí planteado se reconoce que la enseñanza del concepto de *evolución* a nivel preparatoria presenta algunas dificultades pedagógicas debido a la complejidad del tema y a los obstáculos epistemológicos que traen consigo los alumnos, pero utilizando un simulador como apoyo a la secuencia didáctica que utilice el profesor se puede contribuir a la comprensión del mismo.
- La simulación del fenómeno evolutivo contribuye a la movilización de las ideas previas de los estudiantes ya que permite confrontar sus concepciones previas con el comportamiento del fenómeno evolutivo a partir de la manipulación de la simulación. De igual manera se pueden compartir a nivel grupal las experiencias personales y enriquecer el proceso.
- Los simuladores sólo son efectivos en la medida que el docente los utilice de manera crítica y no como único recurso didáctico sino como uno más de recursos disponibles.

## Bibliografía

Armstrong, J. (1999). Eliminating mutation: The impossible dream. En línea: <http://www.canine-genetics.com/Mutation.htm>. Consultado el 18-05-07.

Association for the advancement of science. (1993). Criterios para el dominio de elementos sobre el tema de evolución. <http://www.project2061.org/esp/publications/bsl/online/bolintro.htm>. Consultado el 18-05-07.



- Azkonobieta, T. G. (2005). Evolución, desarrollo y autoorganización. Un estudio sobre los principios filosóficos de la evo-devo. Tesis doctoral, Universidad del País Vasco. En línea: <http://www.ehu.es/ias-research/garcia/TESIS.pdf>. Consultado el 03-06-07.
- Banet, E. y G. E. Ayuso. (2003). Teaching of biological inheritance and evolution of living beings in secondary school. *International Journal of Science Education*, 25 (3): 373-407.
- Bueno, G. (1997). Los límites de la evolución en el ámbito de la Scala Naturae. En: *Evolucionismo y racionalismo*. Conferencia Internacional Zaragoza, España, 8-10 septiembre 1997.
- Camacho, G. *et al.* (2005). La transposición didáctica de los conceptos calor y temperatura. *Enseñanza de las Ciencias*, Número extra, VII Congreso.
- Campos, H. M. A. *et al.* (1999). Análisis lógico-epistemológico de la conceptualización de la teoría evolutiva moderna de estudiantes de licenciatura. México, IV Congreso Nacional de Investigación Educativa, Aguascalientes.
- Cruz, G. M. (1998). De los obstáculos epistemológicos a los conceptos estructurantes: una aproximación a la enseñanza-aprendizaje de la Geología. *Enseñanza de las Ciencias*, 16 (2): 323-330.
- Eisner, E. (1994). Formas de representación. En: *Cognición y currículo* Buenos Aires: Amorrortu. 65-92.
- Gándara, G. *et al.* (2002). Del modelo científico de adaptación biológica al modelo de adaptación biológica en los libros de texto de enseñanza secundaria obligatoria. *Enseñanza de las Ciencias* 20 (2): 303-314.
- García, J. R. (1995). Use of technology in developing problem-solving/critical thinking skills. *Journal of Industrial Technology*, 11(1), 14-17.
- Giere, R. (1988). *Explaining Science. A cognitive approach*. Chicago: University of Chicago Press.

- Gokhale, A. A. (1991). Effectiveness of computer simulation versus lab and sequencing of instruction, in teaching logic circuits. *Journal of Industrial Teacher Education*, 29 (1), 1-12.
- González, G. L. *et al.* (2005). El modelo cognitivo de ciencia y los obstáculos en el aprendizaje de la evolución biológica. *Enseñanza de las ciencias*, Número extra, VII Congreso.
- Hernández, C. y R. Ruíz. (2000). Kuhn y el aprendizaje del evolucionismo biológico. *Perfiles Educativos*, 22 (89-90): 92-114.
- Hudson, D. (1998). "Is this really what scientists do? Seeking a more authentic science in and beyond the school laboratory. En: Wellington, Jerry. *Practical work in school science. Which way now?* London and New York: Routledge.
- Izquierdo, M. *et al.* (1999). "Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales". *Enseñanza de las ciencias*. 17 (1), 45-59.
- Maroto, M. J. (2004). La evolución a escena. De cómo el grupo Prometeo enseña aspectos sobre la Evolución y de los recursos que pueden emplearse para ello. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 1( 2): 122-135.
- McComas, W. (1994). Investigating Evolutionary biology in the laboratory. En línea: <http://www.eric.ed.gov>. ERIC # ED 439008. Consultado el 26-05-07.
- McClean, P. (2000). *Mendelian Genetics*. En línea: <http://www.cc.ndsu.nodak.edu/instruct/mcclean/plsc431/mendel/mendel3.htm>. Consultado el 10-06-2007.
- Mengascini, A. y A. Menegaz. (2005a). Las clasificaciones biológicas en contexto de enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, Número extra, VII Congreso.
- (2005b). El juego de las mariposas: propuesta didáctica para el tratamiento del cambio biológico. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2 (3): 403-415.

- Millán, P. *et al.* (1997). Comprensión y malentendidos del concepto de selección natural en estudiantes universitarios. *Revista Mexicana de investigación educativa*. Enero-junio, 2 (3): 45-66.
- Moya, E. (2005). Apriorismo, epigénesis y evolución en el trascendentalismo kantiano. *Revista de filosofía*, 30 (2): 61-88.
- National Research Council. (1996). *National Science Education Standards*. Washington, D. C.: National Academy Press.
- Paz, R. V. *et al.* (2003). Efectos de la forma en que entiende el maestro de primaria la evolución biológica, la enseña y la forma en que la aprenden sus alumnos. México: VI Congreso Nacional de Investigación Educativa.
- Rogers, L. T. y P. Wild, (1996). Data logging: effects on practical science. *Journal of Computer Assisted Learning*, 12, pp.130-145.
- Salvo, T. E. (1997). La Sistemática Biológica, ciencia viva. *Encuentros en la Biología*, N° 37, 1997. En línea: <http://dialnet.unirioja.es/>. Consultado el 17-04-07.
- Soderberg, P. (2003). An examination of problem-based teaching and learning in population genetics and evolution using evolve a computer simulation. *International Journal of Science Education*, 25 (1): 35-55.
- Stern, L. (2004). Effective assessment: probing student's understanding of natural selection. *Journal of Biological Education*, 39 (1): 12-17.
- Trend, R. (2000). Conceptions of geological time among primary teachers trainees, with reference to their engagement with geoscience, history, and science. *International Journal of Science Education*, Vol. 22, No. 5, pp. 539-555.
- University of Minnesota. (2007). Populus: simulations of Population Biology. En línea: <http://www.cbs.umn.edu/populus/>. Consultado el 05-06-07.
- University of California, Museum of Paleontology. (2006). What is the history of evolutionary thought: Geofroy Saint hilaire. En línea: <http://>

[www.ucmp.berkeley.edu/history/hilaire.html](http://www.ucmp.berkeley.edu/history/hilaire.html). Consultado el 04-06-07.

WGBH/NOVA Science Unit and Clear Blue Sky Productions. (2007). *Online lessons for students, Lesson 4: How does evolution work? Flashy Fish*. En línea: [http://www.pbs.org:80/wgbh/evolution/sex/guppy/ed\\_pop.html](http://www.pbs.org:80/wgbh/evolution/sex/guppy/ed_pop.html). Consultado el 05-05-07.

Wilkins, J. (2006). Macroevolution. Its definition, philosophy and history. En línea: <http://www.talkorigins.org/origins/faqs/macroevolution.html>. Consultado el 04-05-07.

Woods, S. y L. Schaarmann. (2001). High School Students Perceptions of Evolutionary *Theory*, *Electronic Journal of Science Education*, Vol. 6, No. 2, December. En línea: <http://wolfweb.unr.edu/homepage/crowther/ejse/woodsetal.html>. Consultado el 23-05-07.