

JUEGOS DE SIMULACIÓN POR ORDENADOR: UN ÚTIL PARA LA ENSEÑANZA A TODOS LOS NIVELES*

BARBERÁ, Ó. y SANJOSE, V.

Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals, Escola Universitària "Àusias March", Universitat de València.

*Manuscrito galardonado con el 3er. Premio de la categoría A, para profesionales dedicados a la enseñanza, en los II Premios Nacionales EPSON de Divulgación Informática.

SUMMARY

This paper enhances some of the great number of science educational applications of computers simulation games, and briefly discusses the relationship with the physical structure of computers and living world.

1. INTRODUCCIÓN: SISTEMAS VIVOS Y SISTEMAS INFORMÁTICOS

Afuera cae una lluvia de DNA. En la orilla del canal de Oxford, en la parte baja de mi jardín, hay un gran sauce, que está lanzando al aire semillas de aspecto algodonoso. No hay una corriente continua de aire, y las semillas van a la deriva desde el árbol en todas direcciones. En el canal, arriba y abajo, tan lejos como pueden llegar mis binoculares, el agua está blanca por los copos de aspecto algodonoso, y se puede asegurar que también han alfombrado el suelo en otras direcciones, en un radio similar. La semilla algodonosa está formada, en su mayor parte, por celulosa, que impide el crecimiento de la diminuta cápsula que contiene el DNA, la información genética. El contenido de DNA es una pequeña proporción del total; así pues, ¿por qué digo que cae una lluvia de DNA, en lugar de celulosa? La respuesta es porque el DNA es lo que importa. La pelusa de celulosa, aunque abulta más, es sólo un paracaídas que se desecha. La secuencia en su totalidad, el algodón, las candelillas que cuelgan, el árbol, y todo lo demás, está orientada hacia una sola cosa, la diseminación del DNA por la campiña. No es simplemente cualquier DNA, sino uno cuyos caracteres codificados descifran las instrucciones para que crezcan sauces que, a su vez, esparzan una nueva generación de semillas algodonosas. Estos copos algodonosos son, literalmente, instrucciones diseminadas para hacerse a sí mismos. Están allí porque sus antepasados tuvieron éxito haciendo lo mismo. Afuera cae una lluvia de instrucciones; una lluvia de programas; una lluvia de

algoritmos, para hacer crecer árboles, para diseminar copos algodonosos. No es una metáfora, es la pura verdad. No podría ser más cierto si estuvieran cayendo diskettes de ordenador.

Este párrafo, extraído de la magnífica obra de Richard Dawkins "El Relojero Ciego" (Dawkins 1986, 1988), describe perfectamente qué es lo que tienen de especial las cosas vivas frente a las inertes: las moléculas de lo vivo se reúnen con unos patrones mucho más complejos que las moléculas de lo no vivo, y se ensamblan siguiendo unos programas, un conjunto de instrucciones sobre el propio desarrollo, que los organismos llevan en su interior, su DNA. Para comprender la vida hay que pensar en términos de *información tecnológica*, más concretamente de *información tecnológica digital*.

Gregor Mendel, hace ya algo más de un siglo, descubrió que la información de los genes es digital, es decir, sus elementos básicos se encuentran en un estado o en otro alternativo, sin posibilidades de alcanzar cantidades intermedias. Naturalmente, el propio Mendel no lo expresó de esta manera, sino como herencia en unidades discretas. No mezclamos la herencia de nuestros progenitores, cada una de las unidades de información la heredamos o no. Este descubrimiento ha tenido una gran repercusión en la historia de las ideas sobre la evolución, hilo conductor de la biología y pilar básico en el que se apoya la ciencia y tecnología actual.

A espaldas de estos conocimientos, o quizá no tanto, apareció la tecnología informática, completamente análoga en diseño y procedimientos a los organismos vivos, pero aproximadamente cuatro eones más reciente en la escala evolutiva. A pesar de su juventud, está modificando notablemente los hábitos culturales de la única especie que los posee, la nuestra.

2. INFORMÁTICA Y SOCIEDAD: POTENCIAL DE LOS ORDENADORES

El fuerte impacto que ha producido la informática en nuestra sociedad ha generado una gran demanda de técnicos en primera instancia, y esta situación no se mantendrá durante mucho tiempo. La informática dejará pronto de ser un fin en ella misma para convertirse en una potente herramienta en toda actividad humana, lo que obligará, si no lo está haciendo ya, a que cualquier persona se convierta en usuario de algún tipo de programa o paquete lógico.

Este hecho ya ha sido asumido por los jóvenes y adolescentes, los cuales están interesados en el tema como si de motocicletas o de instrumentos de alta fidelidad - que lo son- se tratara. Por ello, el ordenador se convierte en un potente útil en manos del educador, ya que el alumno está predispuesto a trabajar con él. El impacto social de esta tecnología debe tener reflejo en la enseñanza, principal instrumento de transmisión y generación cultural en nuestra civilización. En nuestro país este reflejo es aún poco nítido, aunque se está intentando. En toda España se está dotando a los centros públicos de enseñanza secundaria de ordenadores tipo PC compatible, con unidad de disco fijo y monitor en color. Ahora es función de los profesionales docentes, entre los que nos incluimos, el impulsar la tarea de que esta tecnología sea realmente útil para la enseñanza.

En algunas materias el potencial del ordenador es prácticamente obvio. Así, en matemática, la capacidad de cálculo instantáneo del ordenador, unido a su infalibilidad, hace que palidezcan aquellas complicadas calculadoras de bolsillo que hacían las delicias de los estudiantes de hace tan sólo una decena de años.

Para dibujos y diseño, la utilización de paquetes de diseño por computadora (CAD) pueden borrar definitivamente las manchas de tinta de yemas y puños. Las perspectivas, proporciones, escalas, etc., se reducen a cálculos sencillos para el ordenador, que presenta sus resultados inmediatamente, ofreciendo además la anhelada opción de poder modificar el trabajo realizado.

La introducción de correctores ortográficos en los procesadores de palabras puede servir de gran ayuda para el aprendizaje de las reglas de la ortografía, si bien nunca podrán reemplazar al sano hábito de la lectura. Incluso si no se esfuerza el usuario en el ejercicio de la ortografía, la utilización de un paquete lógico de estas características será agradecida por todos aquellos sometidos a la lectura de sus escritos.

El uso de cualquiera de los lenguajes desarrollados en
ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS, 1990, 8 (1)

informática (logo, basic, pascal, cobol, etc.) permite al usuario novel comprender algo sobre el funcionamiento del ordenador, y se pueden convertir en una potente herramienta de trabajo incluso en manos inexpertas, debido a la sencillez de manejo de algunos de estos lenguajes. Esto nos puede permitir el diseño de nuestras propias aplicaciones, lo cual no representa únicamente las ventajas de la aplicación en concreto, sino también un excelente ejercicio de imaginación a la hora de crearla. Obviamente, la complejidad de la aplicación a desarrollar es directamente proporcional a la experiencia y a las horas de sueño invertidas de su creador. Son estos lenguajes, que nos ponen en contacto con el core de nuestro ordenador, los que nos permiten, a nuestro criterio, la más importante aplicación del ordenador en las ciencias: los programas de simulación.

3. LOS MODELOS DE SIMULACIÓN: ESTRATEGIA DE AVANCE EN LA CIENCIA Y PARADIGMA EN LA ENSEÑANZA

Los programas o juegos de simulación (personalmente preferimos la segunda de las acepciones) no son más que modelos para explicar e ilustrar una serie de hechos, que en el caso de las ciencias son los distintos fenómenos naturales (Marx 1984). Todas las ciencias conocidas como naturales tienen como única función la de dar explicación a los distintos hechos, más o menos cotidianos, que constata el ser humano. Para ello, el científico se ha hecho servir siempre de modelos capaces de dar coherencia a las observaciones que realiza, y que le permiten acercarse a la realidad de otra manera intangible.

La historia de la investigación científica no puede escribirse sin que aparezcan en un lugar privilegiado los distintos modelos de los que ésta se ha servido a lo largo de los siglos (Gilbert y Osborne 1980): esferas celestes, vectores de fuerza, estructuras atómicas planetarias, modelos moleculares, etc. Todos estos modelos de trabajo han jugado papeles decisivos en los avances científicos, constituyendo quizá la única forma de poder explorar las leyes naturales. Hoy en día seguimos usando modelos cuando hablamos de relatividad, quarks, espacio curvo, agujeros negros y toda una infinidad de conceptos, pues es sólo a través de ellos como conocemos la realidad natural.

Sin embargo, cuando intentamos enseñar, olvidamos a menudo la forma en que fue comprendido aquello que ahora pretendemos transmitir, presentándolo frecuentemente como una abstracción final difícil de digerir. Los educandos no se sienten motivados por esta forma de trabajo: ellos necesitan algo que mantenga ocupada tanto su mente como sus manos, y la didáctica ofrece actualmente métodos para conseguirlo. En los últimos veinte años, se ha producido un aumento importante de los trabajos de investigación destinados a mejorar la educación. Esta preocupación surge de la constatación de fracasos educativos, porcentualmente significativos, en todos los países. Así, se han creado modelos didácticos que incorporan los principales avances metodológicos, científicos, epistemológicos y técnicos, al

servicio del docente que trata de acercarse con ellos al complejo mecanismo del aprendizaje y su mejora.

Tras largos años de experimentación, parece haber surgido un consenso acerca de lo que significa aprender y cómo se realiza ese aprendizaje, lo cual ha conducido a un nuevo paradigma que se conoce con el nombre de constructivismo (Novak 1988). A partir de estas concepciones, basadas en la idea de que aprender es un proceso interno propio de cada individuo y que es éste quien construye activamente significados en su estructura cognitiva relacionándolos con los que ya poseía (Driver y Oldham 1986), se han ido investigando metodologías que asuman este paradigma y propicien resultados contrastables.

Todo ello ha puesto en evidencia algo que quizá ya se sabía pero que se considera difícil de acometer: uno de los factores más relevantes a la hora de aprender significativamente es la actitud inicial del alumno que depende fuertemente de las expectativas que tenga acerca de lo que le va a ser enseñado. En efecto, numerosos trabajos (Yager y Penik 1984) muestran que el interés de los alumnos por determinadas materias, consideradas *a priori* como fundamentales, como es el caso de las ciencias, va disminuyendo con los años de escolarización. Esto abre un campo de investigación importante relacionado con lo que se denomina "cambio actitudinal" y que todavía hoy no ha encontrado vías eficaces para la solución de estos problemas.

Es en este ámbito donde la informática puede, a nuestro juicio, proporcionar su más valiosa contribución en el campo de la didáctica.

El formidable desarrollo de la técnica de computación de los últimos años, ha conducido a un cambio profundo en la estructura de la sociedad, tanto en lo que se refiere a los aspectos científico-técnicos, como en el ámbito de lo cotidiano en el que el ordenador está cada día más presente. Este desarrollo lleva asociada una fuerte demanda de especialistas y, por tanto, otra no menos fuerte en la enseñanza de informática en general. Es constatable el gran nerviosismo que produce en los alumnos de cualquier edad, el afán por saber manejar un ordenador para cualquier fin y son estas ganas de aprender las que deben aprovecharse en beneficio de la educación.

Sin embargo, creemos que es preciso meditar acerca de la relevancia y la oportunidad de introducir la informática en los centros educativos, y pensar acerca de cuál es el uso más adecuado del ordenador en la enseñanza a cada edad. Nuestra opinión es que el ordenador puede y debe estar presente en todos los niveles educativos, pero con diferente función. En una disyuntiva clásica entre "enseñar informática" o "enseñar a través de la informática", nos parece que en la escuela elemental lo más adecuado es la segunda postura. Es bien sabido que en los niveles de EGB, los niños se encuentran en el periodo más o menos avanzado de operaciones concretas, pero son muy pocos los que al llegar al último nivel -octavo de EGB- han alcanzado ya la fase de razonamiento lógico hipotético-deductivo o periodo de operaciones formales (Piaget 1970). Ello puede comprobar-

se a través de multitud de ejercicios de matemáticas, de ciencias naturales o de estructura gramatical. En este sentido y como es bien sabido, los lenguajes avanzados de programación necesitan de una capacidad, por parte del programador, de análisis del proceso algorítmico que se debe seguir y de jerarquización y ordenación de los diferentes pasos que debe dar al ordenador. Esta capacidad está relacionada con la fase de operaciones formales que mencionábamos antes, y por tanto no suele estar presente en la mayoría de escolares en los niveles de EGB. De hecho, en la mayor parte de los colegios donde se ha acometido la enseñanza de lenguajes de programación (básico casi siempre), se ha comprobado que los alumnos llegan a ser capaces de reproducir algoritmos creados por el profesor, pero no pueden en general crear un algoritmo capaz de resolver un problema nuevo previamente planteado.

Esto no quiere decir por supuesto, que la informática no debe ser enseñada hasta los niveles universitarios (Martín y Sorando 1984, Vidal et al. 1985), sino que se debe comenzar por hacer útil y atractivo el ordenador a los ojos del niño para despertarle la necesidad de conocer los "secretos" de los computadores: debe ser él mismo quien pida que le enseñen informática, lo cual suele llegar con la adolescencia.

¿Cuál debe ser entonces la postura del profesor en este terreno? Nosotros pensamos que el ordenador debe usarse para empezar como recurso didáctico (Bestougeff y Fargette 1986), aprovechando la ilusión que estos aparatos despiertan en los aprendices. En principio, lo que atrae al niño es "jugar" con el ordenador -no programarlo- y por tanto lo que puede hacerse es fabricar programas didácticos concebidos para ser manipulados por escolares. Hay multitud de temas aburridos y poco interesantes para los alumnos en general, y que "traducidos" al ordenador recuperan su atractivo porque permiten la participación activa del que aprende y avanzan al ritmo particular de cada uno (Burke 1986).

Muchas son las variantes posibles a la hora de plantear un programa didáctico (Marqués 1982), desde las preguntas "cerradas" con respuesta sí/no, hasta la construcción de temas por el propio estudiante, pero lo que resulta siempre efectivo es la posibilidad de conocer de forma inmediata el resultado de una respuesta, bien a través de mensajes, gráficos, dibujos o números. De hecho, las características audiovisuales son las que confieren al computador el principal atractivo para el niño, por lo cual deben ser explotadas al máximo. En este sentido, el profesor debe aprender a seleccionar y/o confeccionar programas que incluyan esquemas o dibujos que sirvan de base para motivar las respuestas, además de diálogos divertidos entre usuario y ordenador.

4. JUEGOS DE SIMULACIÓN POR ORDENADOR EN LAS CIENCIAS: EJERCICIO DIDÁCTICO PARA EL PROGRAMADOR Y PARA EL USUARIO

Los juegos de simulación se encuentran inmersos en esta metodología que hace partícipes a los alumnos de

la agradable sensación que experimenta el científico dedicado a la investigación. Por juego de simulación debe entenderse el medio que permite participar de forma activa sobre un modelo operativo, con el fin de descubrir su estructura dinámica interna y por tanto oculta. El carácter de juego viene determinado por el hecho de que suelen contener elementos de azar. Deben considerarse como una técnica educacional complementaria que muestra numerosas y específicas ventajas. Son capaces de ilustrar, como veremos, los conceptos más abstractos y menos intuitivos como pueden ser la entropía, las interacciones ecológicas, el movimiento molecular, la evolución biológica, etc., ofreciendo además a los alumnos la posibilidad de participación y la excitante opción del descubrimiento. La increíble capacidad de un ordenador ejecutando un programa bien diseñado puede sorprender incluso al propio programador. Richard Dawkins comenta acerca de uno de los juegos de simulación creado por él mismo:

Cuando escribí el programa, nunca pensé que evolucionaría hacia algo más que una variedad de dibujos arboriformes. Yo esperaba encontrar sauces llorones, cedros del Líbano, álamos de Lombardía, algas marinas, quizá cuernos de venado. Nada relacionado con mi intuición de biólogo, nada en mis veinte años de experiencia programando ordenadores, y nada en mis sueños más salvajes, me había preparado para ver lo que surgió en realidad de la pantalla. No puedo recordar exactamente en qué punto de la secuencia comencé a ver que era posible la evolución de algo parecido a un insecto. Bajo esta presunción incontrolada, comencé a seguir el desarrollo, generación tras generación, de cualquier cría que se pareciera a un insecto. Mi incredulidad creció paralelamente con la evolución del parecido.... No pude comer, y aquella noche "mis" insectos pulularon por mi mente mientras trataba de dormir. (Dawkins 1988).

Teniendo en cuenta que el programa de Dawkins, en el cual simula la evolución biológica, se basa en una única estructura creciente de tipo arboriforme, no es de extrañar su sorpresa por la evolución de su propia creación.

El autor de juegos de simulación adquiere una profunda comprensión del acto de enseñar, mientras que el educador y el alumno reciben en sus tareas respectivas un nuevo auxiliar que, al igual que cualquier otro medio, no puede resolver por sí sólo los problemas didácticos del enseñante, pero se brinda como herramienta eficaz para las soluciones que él mismo haya elaborado.

En el área de las ciencias -que es nuestra principal preocupación-, con el uso del ordenador estamos en condiciones de acercarnos más a la realidad resolviendo problemas que ahora sí pueden incluir ingredientes que complican o imposibilitan su resolución y análisis "a mano", como suelen ser casi siempre los problemas cotidianos. Podemos mejorar las técnicas de interpretación de resultados numéricos, puesto que el computador puede traducir esos números en gráficos, trayectorias, desplazamientos, configuraciones, etc. En definitiva, podemos construir modelos de la naturaleza más próximos a la realidad y por tanto más cercanos a la demanda de los estudiantes que pueden ahora percibir

mejor la esencia y contribución de la ciencia al conocimiento de la naturaleza y a la cultura. Son muchos los juegos de simulación que se han diseñado para explicar toda una serie de principios en ciencias físicas y químicas, algunos de ellos muy imaginativos. En la pantalla de un ordenador doméstico se puede visualizar una caja llena de bolas que vuelan en todas direcciones, algo que hasta ahora no podía ser más que un modelo especulativo de la física. Con una programación muy sencilla se puede presenciar un fenómeno tan complejo como el de las colisiones moleculares, pudiendo además ser controlado con variables como la temperatura o la presión, variables naturales y, a la vez, impuestas por el mismo programa (Dewdney 1988). Con esta base es sencillo diseñar toda una serie de fenómenos físicos relacionados: fenómenos de difusión entre dos líquidos que se entremezclan, explosiones nucleares por reacciones en cadena de un imaginario sólido inestable, la construcción de un reactor nuclear, etc.

En cuanto a los fenómenos químicos se han diseñado programas capaces de llevar a cabo por nosotros la desagradable tarea de ajustar las ecuaciones químicas haciendo uso de algoritmos sencillos que contienen matrices con los coeficientes estequiométricos (Blakley 1982); son una simulación perfecta del proceso mental de ajuste de ecuaciones que utilizamos, con la ventaja de que nos hace reflexionar sobre éste, cosa que normalmente no efectuamos por actuar de forma automática ante estos cálculos sencillos. Igualmente interesantes son las simulaciones de reacciones químicas, en las que se le introducen al programa los datos de energías de enlace y éste es entonces capaz de justificar la existencia de moléculas como el H_2 , N_2 , H_2O , C_6H_6 , etc., y la inexistencia de otras como O_2 y H_2O_6 , haciendo pensar al usuario sobre los conceptos implicados. Asimismo es interesante el tratamiento por simulación de los problemas de equilibrio de las reacciones, ya que gracias a este medio se pueden, literalmente, visualizar las transiciones que atraviesan productos y reactivos antes de llegar a la situación de equilibrio, que se muestra como una situación dinámica; en la pizarra, e incluso en el laboratorio, no es posible presentar el equilibrio más que como una situación estática. Es en estos problemas, no representables por ningún otro medio didáctico, donde resaltan las excelentes propiedades específicas de los juegos de simulación por ordenador.

En lo que respecta a las ciencias de la vida y de la tierra, biología y geología, han sido relegadas a un segundo plano en la confección de juegos de simulación (Llort 1988). Pensamos que esto se ha debido al error de pensar en la informática como un componente de tipo técnico y alejado del mundo natural. Nada es más falso. Ya hemos comentado anteriormente la similitud entre los sistemas informáticos y la información genética de los organismos, encargada de perpetuar la vida. Pero no es ésta la única razón por la que pensamos que es precisamente en las ciencias de la vida y en geología e incluso cosmología, donde la función de los juegos de simulación es más que importante, nos atrevemos a decir que es casi imprescindible. Justificaremos porqué: con nuestros ojos sólo podemos ver una estrecha

franja del espectro total de radiaciones electromagnéticas que componen lo que llamamos luz, y lo mismo nos ocurre con el resto de los sentidos. La mente humana está construida de forma análoga; nuestro cerebro puede sólo cubrir estrechas bandas de tamaños y tiempos, y nunca ha desarrollado la capacidad evolutiva de imaginarlos fuera del reducido rango de la práctica diaria. Nuestro propio tamaño y la duración de nuestro ciclo vital son las distancias intermedias de los intervalos de tamaño y tiempo que somos capaces de considerar. Esto es un grave problema al enfrentarse con disciplinas que miden las distancias en años-luz y el tiempo en eones, que manejan cifras como los 10.000 millones de galaxias o los 100 trillones de planetas que se estima existen en el Universo, disciplinas que realizan cálculos de probabilidades que traducidos a nuestra vida cotidiana son "sucesos imposibles" y sin embargo sabemos que se han producido, como puede ser la aparición de la vida en nuestro planeta. Por medio de los juegos de simulación podemos no sólo acercar a nuestro entendimiento estos fenómenos, sino incluso visualizarlos. En el plazo de la vida humana apenas somos capaces de apreciar el movimiento de las estrellas, pero tomando intervalos de tiempo mayores resulta que describen una entrelazada confusión de órbitas que se ejecuta al son que dicta la gravedad. Esto puede ser medido y visto por medio de una simulación sencilla en la que entra como regla natural la fuerza gravitatoria, inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que media entre dos cuerpos celestes y directamente proporcional a sus masas; con tan sólo introducir las coordenadas y velocidades de un cúmulo de estrellas, podemos conseguir un universo imaginario en el aula, un universo imaginario con colisiones y fugas de estrellas absolutamente real e imprevisible.

Podemos recrear mediante la simulación los fenómenos evolutivos (Smythe y Lovatt 1979), que implican normalmente millones de generaciones a partir de un acervo genético común, y detenernos a contemplar en pocos minutos cómo evolucionan las formas primitivas dando lugar a otras nuevas y mejor adaptadas al ambiente que para ellas hemos elegido. Estos fenómenos sólo serían viables de experimentar si la duración de nuestras vidas se midiese en millones de años, pero con nuestra capacidad biológica únicamente se puede conseguir con la simulación por ordenador. Podemos simular incluso que nuestra longevidad sea tan extensa como indicábamos anteriormente, y el cálculo de las probabilidades de sucesos que en la realidad nos resultan prohibidos se haría mucho más permisivo: con un ciclo vital de un millón de años sería "cotidiano" recibir un repóker de mano en las partidas de los viernes, y la posibilidad de ser atropellado, al menos una vez en

nuestra vida, cruzando la calle que nos conduce al puesto de trabajo, se acercaría al suceso seguro. Todo esto, y todo lo que nuestra imaginación nos permita, es factible con un ordenador personal y unos rudimentos de su manejo. Si aceptamos que es realmente así, nos vemos obligados a admitir que el papel que puede jugar en la educación es importantísimo. Ya existen trabajos que evalúan la eficiencia de los juegos de simulación, ya sean por ordenador o no, en la educación de las ciencias y todos coinciden en un rendimiento altamente positivo (Harsch 1987).

5. ESTADO ACTUAL DE LA APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE SIMULACIÓN POR ORDENADOR EN LA ENSEÑANZA ESPAÑOLA

Nosotros, en nuestro puesto de trabajo como profesores de ciencias de los futuros maestros de EGB, hemos incluido como parte de la instrucción, la importancia didáctica del ordenador y los juegos de simulación en la enseñanza a todos los niveles. Además, tenemos noticias de que esta iniciativa se está llevando a cabo en otros centros de enseñanza. Por ejemplo, en Cataluña se puso en funcionamiento el pasado curso una nueva disciplina dentro del grupo de enseñanzas artístico-técnico-profesionales (EATP) denominada Bioinformática (López y Oliver 1986, 1989a, 1989b); en ella se intenta acercar el ámbito de las ciencias naturales a la informática, y ésta a los alumnos de secundaria entre 15 y 17 años, hecho hasta ahora único en toda España según nuestro conocimiento. A pesar de la corta experiencia en este campo, hemos podido constatar todos los que nos dedicamos de una forma u otra a él, que es la parte más disfrutada por nuestros alumnos, tanto si actúan como usuarios de programas de estas características, como si lo hacen plasmando sus propias ideas en el ordenador. En nuestro caso particular, confiamos que de esta forma los futuros maestros se preparen suficientemente para poderse servir de este importante instrumento educativo cuando ejerzan su labor en las escuelas. Esperamos que esta experiencia, que estamos llevando a cabo en la Escuela Universitaria de Formación del Profesorado de EGB "Ausias March" de Valencia, se vea en un futuro próximo potenciada con la creación de un aula de informática, instalación de la cual carecemos en la actualidad. Si conseguimos afianzar esta actividad en el seno de la Escuela, esto supondrá poseer una caja de resonancia magnífica para que la informática se instale definitivamente en los procesos educativos desde sus niveles más elementales, con el arraigo social que esto supondría en un plazo razonable de tiempo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BESTOUGEFF, H. y FARGETTE, J.P., 1986. *Enseñanza y Computadoras*. (Gedisa: Barcelona).

BLAKLEY, G.R., 1982. Chemical Equation Balancing. *Journal of Chemical Education*, 59, pp. 728-734.

BURKE, R.L., 1986. *Enseñanza Asistida por Ordenador*. (Paraninfo: Madrid).

DAWKINS, R., 1986. *The Blind Watchmaker Software*. (W.W. Norton & Co.: London).

- DAWKINS, R., 1988. *El Relojero Ciego*. (Labor: Barcelona).
- DEWDNEY, A. K., 1988. Juegos de ordenador, *Investigación y Ciencia*, 139, pp. 88-92.
- DRIVER, R. y OLDFHAM, V., 1986. A Constructivist Approach to Curriculum Development in Science, *Studies in Science Education*, 13, pp. 105-122.
- GILBERT, J.K. y OSBORNE, R.J., 1980. The Use of Models in Science and Science Teaching, *European Journal of Science Education*, 2, pp. 3-13.
- HARSCH, G., 1987. The Efficiency of Simulation Games in Science Education: An Empirical Study, *European Journal of Science Education*, 9, pp. 23-36.
- LLORT, J.M., 1988. Evolució, Programa d'informàtica educativa de la Generalitat de Catalunya, Barcelona.
- LÓPEZ, M. y OLIVER, C., 1986. Cinètica enzimàtica: Anàlisi i simulació amb l'ordinador. Actes del 1er. Simposium sobre l'Ensenyament de les Ciències Naturals. (Eumo: Vic), pp. 325-330.
- LÓPEZ, M. y OLIVER, C., 1989a. Detecció y Correcció d'errades conceptuals en el procés d'aprenentatge de la meiosis. Actes del 2n. Simposium sobre l'Ensenyament de les Ciències Naturals. (Eumo: Vic), pp. 164-171.
- LÓPEZ, N., OLIVER, C., 1989b. EATP de Bioinformàtica, Actes del 2n. Simposium sobre l'Ensenyament de les Ciències Naturals. (Eumo: Vic), pp. 132-137.
- MARQUÉS, P.R., 1982. Elaboración de Software educativo. *Cuadernos de Pedagogía*, 142, pp. 72-75.
- MARTÍN, F. y SORANDO, J.M., 1984. Enseñar informática en el Bachillerato. La polémica del lenguaje, *Enseñanza de las Ciencias*, 2, pp. 25-29.
- MARX, G., 1984. Simulation Games in Science Education, *European Journal of Science Education*, 6, pp. 31-45.
- NOVAK, J.D., 1988. Constructivismo Humano: un Consenso Emergente, *Enseñanza de las Ciencias*, 6, pp. 213-223.
- PIAGET, J., 1970. *La Epistemología Genética*. (Redondo: Barcelona).
- SMYTHE, R. y LOVATT, K., 1979. Applications of the Computer in Biology Teaching, *Journal of Biological Education*, 13, pp. 207-215.
- VIDAL, J.A., ROMERO, F. y REQUENA, A., 1985. Enseñanza basada en ordenador. Una experiencia en BUP, *Enseñanza de las Ciencias*, 3, pp. 100-108.
- YAGER, R. y PENIK, J.E., 1984. What Students Says About Science Teaching and Science Teachers, *Science Education*, 68, pp. 143-152.

AGRADECIMIENTOS

Los autores queremos expresar nuestra gratitud a Concha Domingo y a Vicent Miralles por su revisión crítica del manuscrito original y por las aportaciones que a él hicieron. Igualmente queremos expresar nuestro agradecimiento a EPSON-STI S.A., convocante de los II Premios EPSON de Divulgación Informática.