

Recursos informáticos en la enseñanza de la química: una perspectiva histórica.

En la actualidad, no es ninguna novedad indicar que estamos pasando de un modelo de sociedad industrial a un modelo de sociedad de la información, de la comunicación y del conocimiento, por ello nuestro mundo gira alrededor de las Tecnologías de la Información y de la Comunicación (TICs). Internet, mp3, DVD, multimedia... son términos relativamente nuevos pero que ya forman parte de nuestro vocabulario y, lejos de ser ajenos al mundo educativo, una aplicación innovadora de este tipo de herramientas está modificando la concepción de la enseñanza, de las estrategias y de las técnicas de desarrollo que aplicamos, de los roles del profesorado y de los estudiantes. Simultáneamente, la enseñanza avanza hacia un modelo que se aleja cada vez más de la "clase magistral" como base de la instrucción, en la cual la figura del profesor es el centro del sistema, y se dirige hacia un modelo que fomenta la participación del alumnado como medio fundamental del aprendizaje ("*student-centered learning*"), en el cual el profesorado ejerce de guía en dicho proceso. Esta nueva escuela ha de facilitar que el alumnado adquiera unas habilidades básicas que le permitan interaccionar con los nuevos elementos culturales de comunicación, sabiendo seleccionar y utilizar el exceso de información que nos rodea para no ser un "analfabeto tecnológico", aunque se debe aceptar que, generalmente, el alumnado tiene una mayor predisposición y facilidad para interaccionar con las TIC que el profesorado.

En cuanto a los recursos informáticos, el uso de los ordenadores en la enseñanza de la química puede agruparse en dos grandes categorías: como soporte de la actividad didáctica o como medio principal de instrucción [1].

▣ Como soporte de la actividad didáctica

En general, el profesorado puede utilizar los ordenadores para preparar materiales educativos tales como programas, textos, pruebas escritas, informes o presentaciones multimedia. El profesorado (y el alumnado) de química pueden utilizar software genérico, libre o comercial, en la clase de química [2]: hojas de cálculo (MS Excel o Lotus 1-2-3) para realizar una curva



¹Gregorio
Jiménez Valverde

¹IES MERCÈ RODOREDÀ -
L'Hospitalet de Llobregat (Barcelona)
gjimene2@xtec.net

²Departament de Didàctica de les
Ciències Experimentals i la
Matemàtica. Universitat de Barcelona



²Anna Llitjós
Viza

de valoración o para realizar cálculos matemáticos, procesadores de texto (MS Word) o editores HTML (MS Frontpage o Macromedia Dreamweaver) con los que los alumnos pueden realizar trabajos y proyectos, que luego quizá expongan en clase utilizando un programa para crear diapositivas (MS PowerPoint), en las que posiblemente hayan tenido que retocar alguna imagen (PhotoShop). Los estudiantes más avanzados pueden incluso utilizar paquetes estadísticos y matemáticos (Mathcad, Matlab) para resolver complejas ecuaciones cuánticas o pueden realizar un pequeño programa en FORTRAN para calcular el trabajo de compresión en un gas de Van der Waals [3-5]. La informática permite, además, otros usos específicos en el campo de la enseñanza de la química, como la visualización de estructuras moleculares [6], el modelaje y simulación de moléculas [7-10], la simulación de procesos químicos [11,12] o la visualización de vídeos sobre química [13-15]. La informática en combinación con la telemática amplía, aún más, el abanico de posibilidades que se le presenta al profesorado y no es difícil encontrar referencias al uso de Internet o de otras TICs en la enseñanza de la química: Internet como fuente de información [16-21], uso didáctico de los foros de discusión [22] y del correo electrónico [23], uso de tutoriales en formato de página web [24-27], soporte telemático para las clases de laboratorio o control remoto de instrumentación [28,29], visualización de materiales a través de Internet [30], aplicaciones multimedia o hipertexto a través de la red [31-33], el control y adquisición de datos de un instrumento a través de una página web [34], o la realización de ejercicios o informes y confección de exámenes basados en páginas web [35-39]. Además, Internet permite al profesorado y alumnado poder colaborar o cooperar superando las barreras espaciales y temporales [40-46].

▣ Como medio principal de instrucción.

Esta categoría comprende aquellas modalidades de intervención preferente del ordenador para instrucción individual o en grupo, en sustitución o ayuda del profesorado. Es lo que se conoce como CAI ("*Computer-Assisted Instruction*") o Instrucción Asistida por

Ordenador) y que, en palabras de Lower [47], se define como "el uso de un ordenador como la herramienta principal para la docencia, en contraste con su uso como soporte de la actividad didáctica". Nuevamente, Internet permite ampliar las posibilidades de la Instrucción Asistida por Ordenador haciendo posible, por ejemplo, la distribución de cursos de química *on-line* [48-55] y, aunque la educación a distancia originalmente fue concebida para hacer llegar la enseñanza a estudiantes que vivían en zonas alejadas de centros educativos, las nuevas posibilidades que brindan las TICs han atraído la atención de una fracción significativa del alumnado de áreas urbanas con centros educativos cercanos a sus domicilios. Para muchos de estos estudiantes, el trabajo o las responsabilidades familiares son un impedimento para seguir un curso de manera presencial y optan por la telemática como medio de instrucción a distancia [47].

Asimismo, podríamos considerar un tercer uso de los ordenadores en la enseñanza de la química, especialmente si hablamos de educación superior (estudios universitarios directamente relacionados con la química y ciclos formativos de grado superior de la rama de química, por ejemplo). A esta tercera categoría pertenece el conocimiento informático que los estudiantes necesitan haber adquirido durante su formación académica para poder incorporarse con éxito en el mercado laboral como químicos o técnicos de laboratorio [2]. La enseñanza química debería preparar al alumnado para su futuro como químicos o técnicos en química y lo debe hacer proveyéndoles de los conocimientos y las habilidades necesarias para ejercer sus trabajos como profesionales; de la capacidad de razonamiento crítico y de aplicación adecuada de su conocimientos. Cualquiera que sea el ambiente que les rodee en sus futuras profesiones, probablemente una parte importante de su trabajo estará relacionada con el uso de ordenadores: redacción de informes, uso de hojas de cálculo, control informático de instrumental de laboratorio, elaboración de presentaciones, por ejemplo. Por tanto, es trabajo del profesorado de química de niveles superiores, en especial, el de proporcionar a nuestros estudiantes la información necesaria para que estén preparados en el altamente competitivo mundo laboral en el que están a punto de entrar [56]. De hecho, los recursos informáticos deben convertirse en objeto de conocimiento para todos (independientemente de su nivel educativo), puesto que las instituciones educativas no pueden mantenerse al margen de la sociedad del conocimiento en la que vivimos caracterizada por un alto desarrollo tecnológico. La informática, como parte de las TICs, ocupa una parte sustancial en nuestra cultura y eso implica que las instituciones educativas deben incorporar estas tecnologías no sólo como recurso didáctico para mejorar la enseñanza, sino también para evitar que nuestro alumnado se convierta, como se comentó anteriormente, en analfabetos tecnológicos y disfruten de un menor número de posibilidades en nuestra sociedad.

La informática es una ciencia relativamente joven y

todos los recursos que esta tecnología pone al alcance del profesorado de química hubiesen sido considerados ciencia-ficción hace sólo unas décadas. ¿Cómo hemos llegado hasta aquí? ¿Cuál ha sido la evolución del uso de los recursos didácticos informáticos en la enseñanza de la química? Olvidemos por un momento la Sociedad del Conocimiento y echemos la vista atrás para hacer un repaso histórico a los recursos informáticos utilizados en la didáctica de la química. Nuestro viaje empieza hace justo sesenta años...

LOS INICIOS DE LA INFORMÁTICA

Podríamos decir que los padres 'espirituales' de la informática son Turing y Von Neumann puesto que el primero dio una definición teórica de algoritmo en 1937 y el segundo escribió en 1945 un texto en el cual esbozaba la descripción de lo que sería la arquitectura básica de un ordenador moderno. De hecho, este documento de Von Neumann marca el final de la época de las grandes calculadoras y supone el inicio de la era de los ordenadores [57].

La construcción del primer ordenador enteramente electrónico tuvo lugar en 1946. Eckert y Mauchly construyeron una enorme criatura a la que llamaron "ENIAC" (*Electronic Numerical Integrator and Computer*) y que se instaló en Filadelfia. Para tener una idea de la magnitud de esta máquina, baste decir que sus 30 toneladas ocupaban una superficie de 167 m², que la temperatura de la habitación donde estaba instalada alcanzaba fácilmente los 50°C, y además, que Filadelfia sufría apagones cuando entraba en funcionamiento. Otros computadores pertenecientes a esta primera generación fueron el "EDVAC" (1949) y el "UNIVAC" (1951). Los computadores de esta primera generación utilizaban válvulas electrónicas de vacío (el "ENIAC" tenía más de 17000) y carecían de sistema operativo. Al ser dispositivos pensados y financiados casi exclusivamente con fines militares, no fueron utilizados nunca en el campo educativo.

LOS GRANDES COMPUTADORES

En 1959, Kilby presentó el primer circuito integrado, chip, formado por un conjunto de transistores interconectados con resistencias, en una pequeña pastilla de silicio y metal. Con el chip nacería la segunda generación de computadores: IBM 360/91 o CDC 7600, por ejemplo. El chip de silicio permitió la fabricación de computadores de menor tamaño, más veloces y más baratos y en 1971 la empresa Intel introduciría el microprocesador y, gracias a él, se crearon ordenadores más potentes.

Tenemos constancia, a través de dos artículos sin firmar en la revista "*Chemical and Engineering News*" del año 1969 de dos aplicaciones del uso de ordenadores pertenecientes a la segunda generación de computadores en la enseñanza de la química [58,59]: un programa desarrollado por Gasser y Emmons en el Quincy

College (Illinois) para ayudar a los estudiantes en la identificación de compuestos, en un curso de análisis orgánico cualitativo y PLATO (*Programmed Logic for Automatic Teaching Operations*), un sistema informático para la enseñanza de la química orgánica desarrollado por Bitzer en la Universidad de Illinois. El sistema PLATO fue en cierta medida pionero en la enseñanza de la química y, aunque sus posibilidades eran limitadas, era capaz tanto de generar en la pantalla de un TV el espectro RMN de una molécula establecida por el estudiante, como de invitar al alumnado a jugar en diversos juegos para aprender química [60]. El sistema PLATO tuvo cierto éxito al tratarse del primer recurso didáctico "activo" e interactivo [61-64], al que luego seguirían otros programas también interactivos, como el que presentaron Eskinazi y Macero [65] para la enseñanza del pH. De hecho, la popularidad que en su día tuvo el sistema PLATO se refleja en el hecho que actualmente es posible encontrar software derivado del sistema PLATO, como el programa TenCore.

En los inicios de la década de los 70, la cantidad de programas informáticos destinados a la enseñanza de la química era todavía muy pequeña, 8 programas en 1970 [66], aunque encontramos ejemplos tanto para la química orgánica [67], la química general [68] y la química física [66]. Una de las ventajas señaladas en la bibliografía de estos primeros sistemas informáticos era la de permitir una cierta individualización del proceso de enseñanza [62,68-69]. Además del aumento de la participación activa del estudiante, la Instrucción Asistida por Computador permite al alumnado sentirse menos intimidado ante un ordenador que ante su profesor [70-71] y prepararse mejor para comprender las explicaciones en clase, cuando se utilizan tutoriales informáticos previos a las clases magistrales [64].

La informática también llegó al laboratorio, donde no sólo se utilizó para controlar instrumentos sino también para realizar simulaciones [64,68-69]. Las ventajas que para Castleberry et al. suponía la realización de simulaciones informáticas de prácticas de laboratorio justificaba su uso: (1) la capacidad de compresión/expansión temporal que ofrecen los computadores permite mostrar a los estudiantes en tiempos razonables experimentos que en el mundo real ocurrirían en periodos muy cortos o muy largos de tiempo; (2) la simulación evita el peligro que supone la realización de experimentos a gran escala para el alumnado novato; (3) la simulación puede permitir el uso virtual de instrumentación muy cara o sofisticada, no disponible en el laboratorio real [69].

Aunque las experiencias relatadas en estos primeros artículos sobre el uso de la informática en clases de química tenían un impacto positivo en el alumnado [2], lo cierto es que los estudios realizados tenían unos intervalos de confianza pocas veces convincentes y el resultado más común de estos trabajos era que no se encontraba "una diferencia significativa" entre la

instrucción tradicional y la asistida por computadores [47]. De todos modos, a pesar de los sistemas especializados como PLATO, el potencial educativo de la informática en la enseñanza de la química estaba lejos todavía de un nivel adecuado, puesto que todavía existían muchas dificultades que tendrían que superarse para que el nivel fuese óptimo: no había una estandarización del *hardware* utilizado, existía una distribución prácticamente nula del *software*: cada docente o investigador creaba sus propios programas y éstos eran incompatibles en otros ordenadores; y un inexistente sistema de compensaciones hacia los autores, lo cual no ayudaba a motivarlos para crear más *software*.

MICROCOMPUTADORES Y ORDENADORES PERSONALES

En diciembre de 1975 apareció el que sería considerado por muchos como el primer microcomputador: el Altair 8800 (producido por MITS), que a pesar de ser relativamente barato (\$400), requería elevados conocimientos de programación y utilizaba lenguaje máquina, además de tener que ser montado por el propio usuario, puesto que se vendía en kits. En 1977, Apple Computers lanzó al mercado el Apple II, primer computador con gráficos a color y carcasa de plástico que adquiriría gran éxito. En 1981, IBM lanzó el IBM Personal Computer, con el objetivo de introducirlo en los hogares y tres años después Apple lanza su famoso Macintosh, que disponía de un atractivo interfaz gráfico.

En 1978, durante la *Fifth Biennial Conference on Chemical Education*, Bill Butler y Scott Owen se dejaron ver con un Commodore PET (microcomputador lanzado en 1977) y con un Apple II, con los que realizaron diversas demostraciones de programas para la enseñanza de la química. Estos microcomputadores podían realizar prácticamente las mismas funciones que los computadores pertenecientes a la anterior generación, pero tenían un precio más asequible: entre \$700 y \$2000 [72]. La llegada de los microcomputadores hizo posible que muchos investigadores y profesores empezaran a experimentar con aplicaciones informáticas, lo que luego repercutiría en el número de aplicaciones que habría disponibles. Moore y Moore estimaron que, en agosto de 1983, existían aproximadamente unos 400 programas informáticos relacionados con la enseñanza de la química (muy diferente a los 8 que Tabutt había cuantificado en 1970) [73]. El proyecto informático más ambicioso en la primera mitad de la década de los 80 es el proyecto "SERAPHIM": recopilación de software para la enseñanza de la química [71]. Proliferan los programas informáticos destinados a la simulación de actividades en el laboratorio [74-77] y algunos autores [78] hablan incluso de "*microcomputer revolution*" en la enseñanza de la química. Los datos de los escasos estudios realizados sobre el impacto de la Instrucción Asistida por Computador en la enseñanza de la química indican que es una herramienta "positiva" [79].

MULTIMEDIA

El final de la década de los 80 supone el inicio de una vertiginosa carrera, aún vigente, en la que la potencia de los equipos informáticos y sus precios discurren en sentidos opuestos, pasando de los primitivos procesadores 8086 y 286 a los potentes Pentium IV o AMD Athlon, capaces de superar los 3 GHz. Además, en los últimos años de esta década se produce la fusión de la tecnología informática con la tecnología audiovisual y los ordenadores empiezan a ser usados para generar algunas de las imágenes que aparecen en los libros, con la ventaja añadida de ser interactivos y de poder responder de manera diferenciada a cada alumno/a. Los ordenadores ya son capaces de generar algo más que líneas rectas y los gráficos sencillos empiezan a ser reemplazados por gráficos digitalizados, aunque los equipos informáticos no son aún lo suficientemente potentes como para integrar el vídeo [13]. Empiezan a aparecer algunos de los programas de usuario más clásicos, como los primeros procesadores de texto o las hojas de cálculo, que pronto serán de mucha utilidad en la enseñanza de química. Los nuevos planes de estudio universitarios contemplan asignaturas independientes de la aplicación de la informática en la química, como el caso de la Universidad de Barcelona que, en el plan de estudios de 1992 de la licenciatura de Química, incorpora la asignatura "Aplicación de la Informática a Problemas de Química" y cuyo programa contiene fundamentos de programación en FORTRAN, hojas de cálculo y editores de texto [80].

A principios de 1993, la tecnología informática permite ya integrar vídeo a pantalla completa gracias, en especial, a los avances en las tarjetas de vídeo de los PCs [81] y poco después, en 1994, se generaliza la incorporación de dispositivos de lectura de CD-ROM en los ordenadores personales, favoreciendo el impulso de los sistemas multimedia, con los cuales es posible crear presentaciones que conjugan vídeos, texto, gráficos y sonido... Para Salinas, "multimedia se refiere normalmente a vídeo fijo o en movimiento, texto, gráficos, audio y animación controlados por un ordenador [...] es la combinación de *hardware*, *software* y tecnologías de almacenamiento incorporadas para proporcionar un entorno multisensorial de información" [82]. Los sistemas multimedia, flexibles y asociados a la idea de interacción, comienzan a ser utilizados en la didáctica de la química, llegándose a hablar incluso de un cambio en la enseñanza de la química, catalizada por la tecnología multimedia [83]. Un material multimedia técnicamente excelente no tiene por qué ser un buen material didáctico multimedia y, de hecho, muchos de los primeros materiales multimedia que se crearon para la docencia partían de libros, o de enciclopedias, que se troceaban para crear una interactividad a partir de los mismos documentos escritos, ejercicios e ilustraciones [84]. Se editan guías y se publican artículos con pautas para el correcto diseño didáctico de material multimedia [85].

La tecnología multimedia incorpora el hipertexto, creando hipermedia [32]. Debido a que los materiales hipermedia no están constreñidos a la linealidad, los estudiantes tienen la oportunidad de elegir los enlaces y, en consecuencia, los itinerarios que más les puedan interesar y esta libertad de elección favorecerá la individualización del proceso de aprendizaje. Diferentes estudios realizados [86-89] consideran un gran avance en tecnología educativa a los sistemas hipermedia, ya que:

1. los sistemas hipermedia permiten el acceso de manera no lineal a grandes cantidades de información.
2. la interacción con el material didáctico hipermedia puede ser auto-dirigida.
3. los sistemas hipermedia son atractivos para el alumnado.
4. el hipertexto representa una forma natural de representación respecto al funcionamiento de la mente humana; de hecho, el hipertexto representa los procesos mentales humanos mejor que otras herramientas instruccionales informáticas [87].

Algunos de estos programas informáticos multimedia ayudan a establecer relaciones entre los tres niveles de representación de la materia: macroscópico, microscópico y simbólico, ya que el alumnado puede observar simulaciones de fenómenos químicos, a distintas escalas, en especial la microscópica [88].

Prendes y Fernández, clasifican los multimedia en dos tipos según el soporte: multimedia en soporte físico y en línea [91]. Las aplicaciones en soporte físico corresponden, básicamente, a los CD-ROM y DVD y tienen gran impacto en la didáctica de la química porque, por primera vez, permiten la simulación de actividades de laboratorio en ordenadores [12] y porque permiten proyectar en las pantallas del aula imágenes y vídeos de alta calidad sobre diferentes temas de química [92]. De acuerdo con Rusell, las ventajas que ofrece la instrucción pregrabada de una experiencia de laboratorio son las siguientes [93]:

1. La demostración (experimento) siempre sale bien.
2. Se sabe con exactitud cuánto tiempo durará el experimento.
3. Se puede reducir drásticamente el tiempo de un experimento, ofreciendo de manera seguida un "antes" y un "después" que pueden estar muy separados en el tiempo.
4. Las demostraciones que suceden en pequeña escala, pueden ser amplificadas utilizando la técnica del zoom.
5. Las demostraciones grabadas de experimentos peligrosos no guardan ningún tipo de riesgo.

Smith y Jones indican, además, la ventaja que supone el poder estudiar fenómenos químicos que suceden demasiado rápidos como para ser estudiados a tiempo real, utilizando la cámara lenta; por ejemplo, la explosión de pólvora [13]. Se puede añadir una ventaja más: la instrucción pregrabada favorece los aspectos

de sostenibilidad, puesto que no hay consumo de productos químicos ni desgaste de los materiales o instrumentos utilizados.

La tecnología multimedia no sólo será aprovechada por el profesorado para preparar presentaciones más atractivas para sus estudiantes, sino que también éstos sacarán provecho de los sistemas multimedia para crear sus propias presentaciones e informes [94]. De hecho, si tenemos en cuenta que los estudiantes adquieren y retienen el conocimiento cuando participan activamente en su construcción [95], la creación de materiales multimedia permite a los estudiantes construir y organizar su propio conocimiento [96]. En palabras de Wisnudel: *"students experience knowledge as a human creation and have opportunities to develop complex mental skills, for example, decomposing a topic into subtopics, gathering data from a variety of resources, organizing diverse and contradictory information, formulating questions, and translating information into knowledge"* [97]. Algunos estudios han explorado la posibilidad de hacer que los alumnos construyan conocimiento creando materiales multimedia, y los resultados han sido alentadores [83].

LA TELEMÁTICA

El soporte en línea como método de distribución de los materiales multimedia, corresponde a la fusión de la tecnología audiovisual con la tecnología informática y con la tecnología telemática (Internet). Con anterioridad a la llegada de los sistemas multimedia, la informática y la telemática ya se habían fusionado por primera vez en el año 1950, cuando se realizan las primeras transmisiones de datos entre ordenadores gracias a la utilización de un módem. La primera red de ordenadores, ARPANET, surgiría en 1969 cuando se conectan cuatro nodos de uso civil (Universidad de Los Ángeles, Santa Bárbara, Utah y el Instituto superior de investigación de Stanford). Cuatro años más tarde se hacen las primeras conexiones internacionales de ARPANET y se desarrollan los protocolos TCP/IP para estandarizar las comunicaciones en las redes [57]. En la década de los setenta tienen lugar las primeras experiencias con el correo electrónico y las listas de distribución (en 1972 se utiliza por primera vez el símbolo "@" en las direcciones de correo electrónico y en 1979 nacen los famosos emoticones o *smileys*, que no son más que fragmentos de texto que expresan emociones). En la década de los ochenta se popularizan las redes telemáticas y surgen servicios de valor añadido, como el banco en casa. En el año 1990 España, junto a otros países, se conecta a la red de redes: Internet [57].

INTERNET: FIN DEL VIAJE (DE MOMENTO)

La primera aplicación documentada de Internet en el campo de la enseñanza de la química la encontramos en 1993 y se refiere al uso de Internet como fuente de información. En su artículo, Varberi ofrece una serie de instrucciones para acceder a diferentes fuentes de

información químicas a través de Internet [98]. En 1994, el mismo autor amplía la información y ofrece una lista de servidores FTP en los cuales se puede encontrar información de interés para el profesorado de química [99]. Empezan a crearse sistemas de gestión de información química a través de Internet, como el ChemRAS [100]. Con los primeros navegadores (Mosaic) y las conexiones de banda estrecha, las aplicaciones multimedia en soporte en línea iniciales se limitan a visualización de imágenes fijas o pequeños archivos de vídeo de baja resolución [33]. En estos momentos el soporte en CD-ROM ofrece todavía mayor velocidad de transferencia de datos, pero las aplicaciones multimedia (e hipermedia) en Internet ya ofrecen ventajas sobre los soportes físicos: rapidez de actualización de contenidos, menos costes de distribución, acceso al material en cualquier momento y desde cualquier lugar con cobertura telefónica [32]. Con la llegada de las conexiones de banda ancha, que permiten distribuir vídeo a tiempo real con mayor calidad, el potencial educativo que ofrece la tecnología multimedia aumenta y no es difícil encontrar cursos a distancia [53], laboratorios virtuales [101] o páginas web con soporte hipermedia para la visualización de nano-materiales o modelos moleculares en tres dimensiones [30]... pero esto ya no es el pasado, es nuestro presente.

EL FUTURO

Llegados a este punto, y en vista del vertiginoso avance de los sistemas informáticos, sería una imprudencia por nuestra parte aventurar qué nos deparará la informática en el futuro de la enseñanza de la química. Las TICs prometen mucho más que una simple mejora de la enseñanza ya que su aplicación tiene además el potencial de poder cambiar la naturaleza cualitativa del proceso de enseñanza. Para finalizar, señalaremos las características más destacadas de este posible cambio en el modelo educativo, comentando la implicación que las TICs tienen en cada una de ellas:

- El modelo docente pasa de la clase magistral, donde el alumnado adopta un rol pasivo, a un modelo de clase centrado en el alumnado, donde éste tiene que adoptar un rol más activo y crear su propio conocimiento. Los recursos informáticos favorecen la personalización de la instrucción. La interactividad de los materiales informáticos exige del alumnado un compromiso mayor con el proceso de aprendizaje.
- En el nuevo paradigma educativo adquiere protagonismo el aprendizaje a través del trabajo cooperativo. Los recursos informáticos (CSCL, *Computer-Supported Collaborative Learning*) permiten al alumnado poder aprender de manera colaborativa salvando las distancias geográficas y temporales.
- El rol de profesorado también cambia, pasando de un profesorado omnipresente y centro del sistema de aprendizaje a un profesorado que deja de ser mero transmisor de conocimientos. Los recursos informáticos permiten al alumnado autodirigir su proceso de aprendizaje y tener acceso a gran cantidad de información, si

bien ésta no necesariamente está codificada, por lo que la figura del profesorado sigue siendo imprescindible, pues guía y controla al alumnado en su proceso de aprendizaje y de selección de la información.

▪ La creciente heterogeneidad del alumnado obliga al docente a ofrecer una mayor variedad de herramientas de acceso a la información y de métodos de aprendizaje. Las TICs ofrecen múltiples posibilidades en este sentido, ya que, por ejemplo, la informática es de gran utilidad en la preparación de materiales curriculares

multimedia. Los ordenadores pueden ser tutores 'programados' increíblemente pacientes, pueden estimular el pensamiento creativo y promover el carácter emprendedor de los estudiantes, así como despertar su curiosidad.

▪ Ante unos contenidos que cada vez cambian más rápidamente, las TICs facilitan el acceso permanente y desde prácticamente cualquier lugar a esta información cambiante. También favorecen su constante actualización, con unos costes de publicación muy bajos.

REFERENCIAS

1. Llitjós, A. (coord.); Borsese, A.; Colomer, M.; García, P.; Gil, J.J.; Morales, M.J. y Sánchez, M.D. Recursos didácticos en la enseñanza de las ciencias. En *Avances en la didáctica de las Ciencias Experimentales*, Jiménez, R. y Wamba, A.M. (Eds.); Servicio de Publicaciones de la Universidad de Huelva: Huelva, 1997; p. 369-395.
2. Megargle, R. Training the Practicing Chemist. En *Using Computers in Chemistry and Chemical Education*; Zielinski, T.J. y Swift, M.L., Eds.; American Chemical Society: Washington, DC, 1997; pp 45-60.
3. Young, S.H.; Madura, J.D. y Rioux, F. Software for Teaching and Using Numerical Methods in Physical Chemistry. En *Using Computers in Chemistry and Chemical Education*; Zielinski, T.J. y Swift, M.L., Eds.; American Chemical Society: Washington, DC, 1997; pp 163-185.
4. Rappaport, K.D. Statistical Methods in Chemistry: What and How They Should Be Integrated into the Curriculum. En *Using Computers in Chemistry and Chemical Education*; Zielinski, T.J. y Swift, M.L., Eds.; American Chemical Society: Washington, DC, 1997; pp 205-226.
5. Zielinski, T.J. *Chem. Educator* **1997**, 2(3).
6. Ranck, J.P. Visualization for Chemists. En *Using Computers in Chemistry and Chemical Education*; Zielinski, T.J. y Swift, M.L., Eds.; American Chemical Society: Washington, DC, 1997; pp 227-240.
7. Tropsha, A. y Bowen, J.P. Molecular Modeling and Drug Design. En *Using Computers in Chemistry and Chemical Education*; Zielinski, T.J. y Swift, M.L., Eds.; American Chemical Society: Washington, DC, 1997; pp 309-330.
8. Northrup, S.H. Molecular Graphics and Simulation of Proteins and Nucleic Acids. En *Using Computers in Chemistry and Chemical Education*; Zielinski, T.J. y Swift, M.L., Eds.; American Chemical Society: Washington, DC, 1997; 283-308.
9. Pavia, D. y Wicholas, M. *J. Chem. Educ.* **1997**, 74(4), 444.
10. Whisnant, D.M.; Howe, J.J. y Lever, L.S. *J. Chem. Educ.* **2000**, 77(2), 199-201.
11. García-Luque, E.; Ortega, T.; Forja, J.M. y Gómez-Parra, A. *Computers Educ.* **2004**, 43(1/2), pp. 81-90.
12. Clark, R. W. *Chem. Educator* **1997**, 2(1), 1-5.
13. Smith, S.G. y Jones, L.L. *J. Chem. Educ.* **1989**, 66(1), 8-11.
14. Anthony, S.; Mernitz, H.; Spencer, B.; Gutwill, J.; Kegley, S. y Molinaro, M. *J. Chem. Educ.* **1998**, 75(3), 322-324.
15. Smith, S. y Stovall, I. *J. Chem. Educ.* **1996**, 73(10), 911-915.
16. Varjola, I. *Chem. Educ. Res. Pract. Eur.* **2000**, 1(1), 121-128.
17. Matthews, F.J. *J. Chem. Educ.* **1997**, 74(8), 1011-1014.
18. Murov, S. *J. Chem. Educ.* **2001**, 78(10), 1429-1432.
19. Waldow, D.A.; Fryhle, C.B. y Bock, C. *J. Chem. Educ.* **1997**, 74(4), 441-442.
20. Holmes, C.O. y Warden, J.T. *J. Chem. Educ.* **1996**, 73(4), 325-332.
21. Mounts, R.D. *J. Chem. Educ.* **1996**, 73(1), 68-71.
22. Paulisse, K.W. y Polik, W.F. *J. Chem. Educ.* **1999**, 76(5), 704-707.
23. Pence, L.E. *J. Chem. Educ.* **1999**, 76(5), 697-698.
24. Parrill, A. L. y Gervay, J. *J. Chem. Educ.* **1997**, 74(3), 329.
25. Donovan, W.J. y Nakhleh, M. B. *J. Chem. Educ.* **2001**, 78(7), 975-980.
26. Koehler, B.P. y Orvis, J.N. *J. Chem. Educ.* **2003**, 80(6), 606-608.
27. Tissue, B.M.; Earp, R.L.; Yip, C. y Anderson, M. R. *J. Chem. Educ.* **1996**, 73(5), 446.
28. Cartwright, H.M. y Valentine, K. *Computers Educ.* **2002**, 38(1/3), 53-64.
29. Bales, J.R.T.; Morgan, M.E. y Rueter, B.A. *Chem. Educator* **2002**, 7, 173-175.
30. Ong, E.W.; Razdan, A.; Garcia, A.A.; Pizziconi, V.B.; Ramakrishna, B.L. y Glausinger, W.S. *J. Chem. Educ.* **2000**, 77(9), 1114-1115.
31. Tissue, B. M. *Trends Anal. Chem.* **1997**, 16(9), 190-495.
32. Tissue, B. M. *J. Chem. Educ.* **1996**, 73(1), 65-68.
33. Tissue, B. M., Yip, C. y Wong, Y. *J. Chem. Educ.* **1995**, 72(6), A116-A117.
34. James, C.R. y McCann, M.P. *J. Chem. Educ.* **2003**, 80(2), 221.
35. Penn, J.H.; Nedeff, V.M. y Gozdzik, G. *J. Chem. Educ.* **2000**, 77(2), 227-231.
36. Thomas, H.; Paasch, S.; Machill, S.; Thiele, S.; Herzog, K.; Hemmer, M.; Gasteiger, J. y Salzer, R. *Fresenius J. Anal. Chem.* **2001**, 371(1), 4-10.
37. Tissue, B.M.; Earp, R.L. y Yip, C. *Chem. Educator* **1996**, 1(1), 1-13.
38. Gamman, S.D. y Hutchison, S.G. *J. Chem. Educ.* **2001**, 78(3), 412-413.
39. McGowan, C. y Sendall, P. *J. Chem. Educ.* **1997**, 74(4), 391.
40. Glaser, R.E. y Poole, M.J. *J. Chem. Educ.* **1999**, 76(5), 699-703.
41. Stout, R.; Towns, M. H.; Sauder, D.; Zielinski, T.J. y Long, G. *Chem. Educator* **1997**, 1(2), 1-21.
42. Towns, M.; Sauder, D.; Whisnant, D. y Zielinski, T.J. *J. Chem. Educ.* **2001**, 78(3), 414-415.
43. Slocum, L.E.; Towns, M. H. y Zielinski, T. J. *J. Chem. Educ.* **2004**, 81(7), 1058-1065.

REFERENCIAS

44. Llitjós, A.; Miró, A.; Morales, M.J.; Puigcerver, M. y Sánchez, M.D. Entorno telemático para el trabajo cooperativo en ciencias experimentales. En *Relación Secundaria Universidad*; Universidad de La Laguna: La Laguna, 2002; 743-751.
45. Jiménez, G. y Llitjós, A. Una experiencia sobre hipertexto cooperativo en la clase de química. *Revista Iberoamericana de Educación* (versión digital), OEI: <http://www.campus-oei.org/revista/experiencias95.htm> (acceso: 17/05/2005).
46. Jiménez, G. y Llitjós, A. Cooperación en entornos telemáticos y la enseñanza de la química. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* (aceptado para su publicación).
47. Lower, S.K. Computer-Assisted Instruction in Chemistry. En *Using Computers in Chemistry and Chemical Education*; Zielinski, T.J. y Swift, M.L., Eds.; American Chemical Society: Washington, DC, 1997; pp 355-376.
48. Liu, D.; Walter, J. y Brooks, D.W. *J. Chem. Educ.* **1998**, 75(1), 123-125.
49. Patterson, M.J. *J. Chem. Educ.* **2000**, 77(5), 554-555.
50. Judd, C.S. *J. Chem. Educ.* **1998**, 75(9), 1073.
51. Robinson, W.R. *Chem. Educator* **2000**, 5, 246-251.
52. Reeves, J. y Kimbrough, D. *Journal of Asynchronous Learning Networks* **2004**, 8(3), 47-51.
53. Boschmann, E. *J. Chem. Educ.* **2003**, 80(6), 704-708.
54. Harpp, D.N.; Fenster, A.E.; Schwarcz, J. A.; Zorychta, E.; Goodyer, N.; Hsiao, W. y Parente, J. *J. Chem. Educ.* **2004**, 81(5), 688-690.
55. Kurtz, M. J. y Holden, B.E. *J. Chem. Educ.* **2001**, 78(8), 1122-1125.
56. Jurs, P.C. Beyond the Basics: What Chemistry Students Need to Know about Computing. En *Using Computers in Chemistry and Chemical Education*; Zielinski, T.J. y Swift, M.L., Eds.; American Chemical Society: Washington, DC, 1997; pp 135-142.
57. Martínez, F. y Prendes, M.P. Redes para la formación. En *Redes de comunicación en la enseñanza*; Martínez, F., Ed.; Paidós Ibérica, S.A.: Barcelona, 2003; pp. 31-61.
58. *Chem. & Eng. News* **1969**, 47(25), 48-49.
59. *Chem. & Eng. News* **1969**, 47(26), 52-53.
60. Smith, S.G. y Chabay, R. *J. Chem. Educ.* **1997**, 74(11), 688-689.
61. Smith, S. G. *J. Chem. Educ.* **1970**, 47(9), 608-611.
62. Smith, S. G. *J. Chem. Educ.* **1971**, 48(11), 727-729.
63. Smith, S. G.; Ghesquiere, J. R. y Avner, R.A. *J. Chem. Educ.* **1974**, 51(4), 243-244.
64. Chabay, R. y Smith, S.G. *J. Chem. Educ.* **1977**, 54(12), 745-747.
65. Eskinazi, J. y Macero, D.J. *J. Chem. Educ.* **1972**, 49(8), 571.
66. Tabbutt, F.D. *Chem. & Eng. News* **1970**, 48(3), 44-57.
67. Rodewald, L.B.; Culp, G. H. y Lagowski, J.J. *J. Chem. Educ.* **1970**, 47(2), 134-136.
68. Castleberry, S. J. y Lagowski, J. J. *J. Chem. Educ.* **1970**, 47(2), 91-96.
69. Castleberry, S. J.; Culp, G. H. y Lagowski, J. J. *J. Chem. Educ.* **1973**, 50(7), 469-472.
70. Lower, S.; Gerhold, G.; Smith, Stanley, G.; Johnson, K. J. y Moore, J. W. *J. Chem. Educ.* **1979**, 56(4), 219-227.
71. Lagowski, J. J. *J. Chem. Educ.* **1998**, 75(4), 425-436.
72. Moore, J.W. y Moore, E. A. *J. Chem. Educ.* **1984**, 61(8), 699-703.
73. More, J. W. y Moore, E. A. *J. Chem. Educ.* **1984**, 61(1), 26-27.
74. Griffin, H.C. y Butler, W. M. *J. Chem. Educ.* **1979**, 56(8), 543-555.
75. Engh, S. y Ratzlaff, K. L. *J. Chem. Educ.* **1980**, 57(11), 815-818.
76. Burden, S.L. *J. Chem. Educ.* **1984**, 61(1), 29-30.
77. Smith, S. G. *J. Chem. Educ.* **1984**, 61(10), 864-866.
78. Dessy, R. E. *J. Chem. Educ.* **1982**, 59(4), 320-327.
79. Allan, L. S. *J. Chem. Educ.* **1984**, 61(1), 28-29.
80. Paniagua, J. C. *Introducció a la Programació per a Químics*, 2ª Ed; Textos docents 4; Publicacions Universitat de Barcelona; Barcelona, 1994.
81. Whitnell, R.M.; Fernandes, E.A.; Almassizadeh, F.; Love, J.J.C.; Dugan, B.M.; Sawrey, B. A. y Wilson, K.R. *J. Chem. Educ.* **1994**, 71(9), 721-725.
82. Salinas, J. *Multimedia en los procesos de enseñanza-aprendizaje: elementos de discusión*, En *Encuentro de Computación Educativa*, 2-4 mayo; Santiago de Chile, 1996.
83. Jones, L.L. y Smith, S. G. *Pure & Appl. Chem.* **1993**, 65(2), 245-249.
84. Llitjós, A., Hacia el siglo XXI: Comunicación audiovisual de la química; En *Aspectos didácticos de Física y Química*; ICE Universidad de Zaragoza: Zaragoza, 2000; pp. 145-170.
85. Robinson, W. R. *J. Chem. Educ.* **2004**, 81(1), 10-12.
86. Dillon, A. y Gabbard, R. *Rev. Educ. Res.* **1998**, 68(3), 322-349.
87. Weaver, G. C. *Chem. Educator* **1997**, 2(5), 1-17.
88. Calcaterra, A.; Antonietti, A. y Underwood, J. *Computers Educ.* **2005**, 44(4), 441-457.
89. Jonassen, D. H. *Educational Technology* **1991**, 39(9), 28-33.
90. Greenbowe, T. J. *J. Chem. Educ.* **1994**, 71(7), 555-557.
91. Prendes, M. P. y Solano, I. M. Multimedia como recurso para la formación; En *Actas de las III Jornadas Multimedia Educativa*, 25-26 junio; Universitat de Barcelona: Barcelona, 2001, pp.460-470.
92. Illman, D. L. *Chem. & Eng. News* **1994**, 72(19), 34-40.
93. Russell, A. A. *J. Chem. Educ.* **1984**, 61(10), 866-868.
94. Jenkinson, G. T. y Fraiman, A. *J. Chem. Educ.* **1999**, 76(2), 283-284.
95. Bodner, G. M. *J. Chem. Educ.* **1986**, 63(10), 873-878.
96. Jonassen, D. H. *Educ. Tech. Res. Dev.* **1991**, 39(1), 83-92.
97. Wisnudel, M. *J. Comps. in Maths. and Sci. Teaching* **1994**, 13(1), 5-15.
98. Varveri, F. S. *J. Chem. Educ.* **1993**, 70(3), 204-208.
99. Varveri, F. S. *J. Chem. Educ.* **1994**, 71(10), 872-873.
100. Harkanyi, K. y Carande, R. *J. Chem. Educ.* **1995**, 72(9), 812-813.
101. Martínez-Jiménez, P.; Pontes-Pedrajas, A.; Polo, J. y Climent-Bellido, M.S. *J. Chem. Educ.* **2003**, 80(3), 346-352.