

Recursos didácticos audiovisuales en la enseñanza de la química: una perspectiva histórica

Gregorio Jiménez-Valverde*; Anna Llitjós-Viza

Abstract (Audiovisual teaching aids in chemical education: a historical perspective)

This article consists on a historical review of the first uses of the most important audiovisual teaching aids in chemical education: radio, tape recorder, slides, projectors, microforms, films, television, video-tapes, video-discs and multimedia. The article concludes with a summarization of the effects these teaching aids have had on instructional practices, and a prediction regarding the effect Information and Communication Technologies will have on such practices over the next years.

Internet, DVD, mp3, multimedia, etc. son términos relativamente nuevos pero que ya forman parte de nuestro vocabulario y, lejos de ser ajenas al mundo educativo, estas herramientas son usadas habitualmente por el profesorado de química como recursos didácticos en sus clases, puesto que las posibilidades que ofrecen son múltiples y muy potentes, especialmente los telemáticos (Tissue, 1996). Las tecnologías de la información y comunicación (TICs) han logrado integrar los recursos audiovisuales clásicos, aunque éstos siguen siendo utilizados de manera autónoma. Olvidemos por un momento la Sociedad del Conocimiento y echemos la vista atrás para hacer un repaso histórico a los recursos audiovisuales utilizados en la didáctica de la química durante el siglo pasado y que constituyen los precursores de algunas de las nuevas tecnologías. Describiremos y dataremos los primeros usos documentados, en la didáctica de la química, de los siguientes recursos audiovisuales: radio, grabadoras de audio, diapositivas, proyectores, microfilms, cámaras de fotografía, películas (16 mm y 8 mm), televisión, vídeo-cassettes, vídeo-discos y multimedia. Para una revisión crítica de los recursos didácticos actuales en la enseñanza de la química, el lector puede consultar a Llitjós *et al.* (1997) y si lo que se desea es volver la vista atrás hasta el siglo XIX, el lector queda invitado a consultar el artículo escrito por Williams (1996) en donde describe cuatro recursos didácticos (no audiovisua-

les, obviamente) usados a mediados del siglo XIX en la didáctica de la química.

Recursos auditivos

En 1924, Killifer (1924) describe el primer uso didáctico de la radio en la enseñanza de la química. En concreto, se trataban de charlas sobre temas de química (colorantes, petróleo, cuero, nutrición...), de unos 10-15 minutos de duración, que se emitían dentro de programas de variedades en los que también había cabida para música, noticias y concursos. Killefer no sería el único en dejar constancia del uso de la radio en la didáctica de la química puesto que, años más tarde, Snell y Snell (1936) explican su experiencia sobre el programa radiofónico "Science in Your Home" en la que los oyentes formulaban sus preguntas por teléfono y recibían la respuesta a través de sus transistores. Más adelante aumentaría el número de programas radiofónicos dedicados a la enseñanza de la química ("The World is Yours", "Adventures in Science", "Hayden Planetarium", "Science Forum" o "Science in the News", por citar algunos) que se emitían en diferentes horarios y dirigidos tanto para jóvenes estudiantes como para adultos (Elder y Bartlett, 1941).

En el año 1956 se describe, por primera vez, un uso didáctico a la grabadora de audio (Burrt, 1956). En este artículo, Burrt explica su experiencia docente utilizando una grabadora para grabar sus propias clases de Radioquímica y del éxito que tiene este sistema entre sus estudiantes, ya que luego pueden ir a su despacho a escuchar de nuevo la grabación y completar sus apuntes. El autor indica que es igualmente efectivo con los estudiantes que no pudieron asistir a su clase, ya que en la grabación el profesor procura que también quede patente la información visual generada durante la clase, especialmente lo escrito en la pizarra. Para la instrucción del laboratorio, habría que esperar hasta el 1964 cuando Lagowski (1966) explica la investigación que, sobre el uso de las grabaciones auditivas en el laboratorio, ha realizado. En concreto se trata de una grabación magnetofónica sobre cómo deben los estudiantes utilizar una balanza analítica. Curiosamente, tal y como veremos más adelante, el uso de la balanza analítica mereció igualmente especial atención tanto para las películas como para la televisión, puesto que estos dos recursos audiovisuales se centraron, en sus primeras aplicaciones, en el uso de la balanza analítica.

*Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y la Matemática. Universidad de Barcelona. Paseo de la Vall d'Hebron, 171. Edificio Llevant 08035 - Barcelona. España.

Correo electrónico: gjimene2@xtec.net; anna.litjos@ub.edu

Recibido: 18 de marzo de 2005; aceptado: 8 de julio de 2005.

Recursos audiovisuales: imagen fija

Aunque se venían usando con anterioridad según el propio autor explica, en 1929 Taft (1929) publica un artículo sobre un sistema de proyección en pantalla que usa en sus clases de química. Este sistema de proyección es un precursor de los actuales proyectores y recibía el nombre de “Balopticon”. En función del modelo usado, el “Balopticon” permite proyectar tanto diapositivas como pequeños objetos opacos que pueden permitir al profesorado proyectar diferentes experimentos.

Filliger (1931) describe varios experimentos que pueden llevarse a cabo con la ayuda de estos proyectores. Por ejemplo, describe una experiencia en la que se pone de manifiesto la diferencia del grado de ionización de tres ácidos (clorhídrico, fosfórico y acético) cuando se añade cada uno de estos tres ácidos, en idéntica concentración, a tres cápsulas de Petri con cantidades iguales de mármol. La diferente evolución del dióxido de carbono generado indica velocidades de reacción diferentes y, por tanto, grados de ionización distintos. En un experiencia similar del mismo autor en la que se desea mostrar al alumnado la influencia del tamaño de partícula en la velocidad de reacción, se añade ácido clorhídrico sobre diferentes vidrios de reloj situados sobre el proyector y que contienen zinc de diferente tamaño de partícula, desde zinc en polvo a zinc granulado. Filliger reporta una notable mejora de la visualización de estas reacciones por parte de todos sus estudiantes, especialmente de los que están situados al final del aula.

En esta misma época empiezan a aparecer artículos que describen cómo realizar diapositivas, como el que escribió Wilson (1931) sobre cómo crear baratas diapositivas con texto a partir de celofán o la exhaustiva revisión que hizo Alyea (1939) sobre cómo crear y exponer diapositivas. Más adelante, las diapositivas serían usadas conjuntamente con cintas de audio, por ejemplo, para asistir a los estudiantes con el tratamiento de datos en las prácticas de laboratorio (Barry y Carter, 1972). En 1971, Hubinger y Schultz (1971) describen un método visual que combina dos proyectores de diapositivas sincronizados, de tal manera que cuando en un proyector se está haciendo el intercambio de diapositivas, el otro ya está mostrando su diapositiva en la misma pantalla: con esto se consigue crear secuencias animadas sin las pausas que los proyectores de diapositivas generan al pasar de una diapositiva a otra. Según la propia experiencia de los autores, este acoplamiento sincronizado de dos proyectores de diapositivas es especialmente útil para ilustrar determinados conceptos dinámicos o espaciales, como las polarizaciones progresivas de las fuerzas de London o mecanismos de reacción tridimensionales.

En 1975, Carraher (1975) describe una curiosa fusión de las diapositivas con otro recurso audiovisual: el cómic. Para

este autor, un buen método para introducir algunos conceptos químicos en clase consiste en elaborar diapositivas utilizando personajes de cómics, para llamar la atención y despertar el interés del alumnado. Así, por ejemplo, para el tema de Termodinámica, el autor creó diapositivas con las imágenes del Hombre Energía o los Gemelos Entropía (Orden y Desorden).

A pesar de que ya habían aparecido artículos que describían diferentes aparatos ópticos para realizar determinadas proyecciones, como el mencionado “Balopticon” o una modificación de un “Delineascope” para hacer demostraciones de la actividad óptica de sustancias (Noller, 1949), no hubo que esperar mucho para que apareciese un artículo en donde sí se hablaba de los proyectores *estándar* como recurso didáctico (Slabaugh, 1951). Slabaugh en su artículo ofrece una serie de experimentos que se pueden llevar a cabo en una cápsula de Petri encima de un proyector: la electrólisis del agua, la acción de parejas de metales, aspectos cualitativos de la actividad óptica o la fuerza relativa de ácidos. Este último experimento consiste en colocar encima de un proyector cinco cápsulas de Petri en las que se ha depositado soluciones diluidas de ácido clorhídrico, sulfúrico, acético, cítrico y bórico. Cuando se añade pequeñas cantidades de zinc en cada cápsula de Petri se puede deducir fácilmente la actividad relativa de cada ácido a partir de la cantidad de burbujas de hidrógeno que aparecen en cada cápsula. De todos modos, la experiencia más llamativa descrita por Slabaugh quizá sea la simulación del movimiento aleatorio de las moléculas de gas, según la teoría cinético-molecular. Para realizarlo, se toma una docena de trozos de sodio metálico, de aproximadamente 2 mm de diámetro y se depositan en un cristalizador que contiene una pequeña cantidad de agua y que está situado encima del proyector. El grado de actividad de la reacción hace que el metal vaya reaccionando con el agua y que tome una forma esférica viajando a una velocidad de 10 a 20 cm/s sobre la superficie del agua. En los extremos del cristalizador, el menisco del agua actúa como barrera y hace que el globo de sodio retroceda con un ángulo de reflexión aparentemente igual al ángulo de incidencia. La estela de la turbulencia causada por este movimiento deja un rastro del camino que sigue la esfera metálica, pero esta estela rápidamente desaparece de tal manera que la mayor parte de la superficie del agua permanece en reposo. La presencia de fenoltaleína en el agua produce una estela muy coloreada que añade espectacularidad al experimento.

Posteriormente, se describirían otros usos didácticos de los proyectores, como una curiosa adaptación de un proyector para ser colocado encima de un pH-metro para poder de esa manera proyectar la señal generada (Hoff, 1964). Rápidamente, los proyectores se convierten en recursos muy

utilizados (Alyea, 1962; Walker, 1964) y se publican artículos con gran cantidad de información sobre los tipos de proyectores disponibles y su uso en la enseñanza de la química (Barnard, 1968a).

Las microformas (nombre genérico que reciben todos los sistemas que utilizan micro imágenes) fueron igualmente utilizadas en el campo de la educación química. Tenemos constancia de su uso en un artículo de 1969, en donde Barnard (1969) analiza el uso de microfilms como sistema de almacenaje y posterior consulta de gran cantidad de espectros químicos.

Acabamos este apartado haciendo mención a una curiosa aplicación de la fotografía en la didáctica de la química: se trata del primer uso documentado de las hoy famosas cámaras de fotografiar Polaroid. Hausser (1949), en su artículo, detalla el montaje necesario y el procedimiento a seguir para acoplar una cámara Polaroid a un microscopio y los usos didácticos que esta combinación puede tener.

Recursos audiovisuales: imagen en movimiento

La primera referencia que hemos encontrado al uso de películas en la didáctica de la química data del año 1941 (Durban, 1941). Se trata de una película de 16 mm sin sonido sobre cómo utilizar una balanza analítica y que, a juicio del autor, presentaba tres ventajas sobre el modelo tradicional de enseñanza: acortaba el tiempo necesario para que los estudiantes manejaran correctamente una balanza, incrementaba la eficacia de la explicación sobre cómo usar la balanza y, por último, hacían más interesante para el alumnado el estudio del análisis cuantitativo. Pronto aparecerían más películas para la enseñanza de la química (Slaugh, 1959).

En el año 1956 se usó por primera vez la televisión para transmitir clases de química en circuito cerrado de televisión (Smith, 1956). Este artículo describe la experiencia de la Universidad de Park (Pensilvania), sobre la puesta en marcha de un circuito cerrado de TV en un curso de química general y trata aspectos como el equipamiento audiovisual utilizado, la organización de los alumnos, la preparación del profesorado como “actores” y el equipo técnico. El proyecto fue evaluado positivamente y pronto surgieron nuevas experiencias televisivas para las clases teóricas de química (Glemser, 1958).

La primera clase práctica emitida por circuito cerrado de televisión vuelve a ser el uso de una balanza analítica (Hayes *et al.*, 1958). En otros casos, la televisión se utilizaba para mostrar al alumnado instrumentos químicos situados en laboratorios de investigación a los cuales no podían acceder (Kenney *et al.*, 1960).

El potencial educativo que ofrecía la televisión no pasó desapercibido y años más tarde, cuando la tecnología lo permitió, se grababan clases en vídeo-cassettes (Barnard *et*

al., 1968a). Cuatro años antes ya se habían usado los vídeo-cassettes como mejora en las transmisiones en directo de algunas clases, pero no como método para grabar íntegramente una clase y posterior reproducción (Brasted, 1964). Se empieza a hablar de “modern chemistry classrooms” (Barnard *et al.*, 1968b) como aulas en donde se combina el uso de proyectores, diapositivas, grabadoras de audio, televisión, vídeo-cassettes y películas, incluyendo el nuevo formato de 8 mm (Barnard, 1968b), y proliferan los artículos que hacen referencia a técnicas avanzadas de producción de películas o de emisiones televisivas (Barnard y Tressel, 1969) y nuevas películas, videocassettes o audio-diapositivas para la enseñanza de la química (Douville y Schlessinger, 1980). De hecho, la gran utilidad de los recursos audiovisuales ha favorecido que algunos profesores elaboren sus propios materiales audiovisuales (Llujós *et al.*, 1994).

En 1984 aparecen los vídeo-discos en la enseñanza de la química (Russell, 1984). Russell compara el uso de las cintas de vídeo en la instrucción en el laboratorio con el uso de vídeo-discos. Explica la diferencia entre uno y otro sistema mediante una analogía, según la cual la diferencia entre los vídeo-discos interactivos y las cintas de vídeo es la misma que la diferencia que hay entre la instrucción asistida por ordenador y un libro de texto: el estudiante se ve más inmerso en el proceso de aprendizaje. En el artículo también se citan las ventajas que ofrece la instrucción pregrabada de una experiencia de laboratorio:

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 peligro.

Smith y Jones (1989) 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). Nosotros añadiríamos una última ventaja: 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 audiovisual con las tecnologías informática y telemática

A finales de la década de los 80 la tecnología audiovisual se fusiona con la tecnología informática: los ordenadores pue-

den ser usados para generar algunas de las mismas imágenes que aparecen en los libros con la ventaja añadida de ser interactivos y de poder responder de manera diferenciada a cada estudiante. 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 (Smith y Jones, 1989).

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 (Whitnell *et al.*, 1994). Se pueden crear presentaciones que conjugan vídeos, texto, gráficos y sonido... es el inicio de la multimedia. Para Salinas (1996) "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". 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, catalizado por la tecnología multimedia (Jones y Smith, 1993). 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 (Llitjós, 2000). Se editan guías y se publican artículos con pautas para el correcto diseño didáctico de material multimedia (Robinson, 2004). Se estudia, incluso, el uso conjugado de la tecnología multimedia con el aprendizaje cooperativo (Pence, 1993) con resultados positivos y se integra la tecnología multimedia con el hipertexto, creando hipermedia (Tissue, 1996). 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. Incluso se describen experiencias de hipermedia cooperativo (Jiménez y Llitjós, 2005), en las que estudiantes de diferentes promociones académicas son capaces de cooperar en el tiempo a través de enlaces hipertexto en materiales multimedia creados por ellos mismos.

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 (Calcaterra *et al.*, 2005).

Según Prendes y Fernández (2001), existen dos tipos de multimedia según el soporte: multimedia en soporte físico y en línea. Las aplicaciones multimedia en soporte físico (*off-line*) 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 (Clark, 1997) y porque permiten proyectar en las pantallas del aula imágenes y vídeos de alta calidad sobre diferentes temas de química (Illman, 1994). El soporte en línea corresponde a la fusión de la tecnología audiovisual con la tecnología telemática (Internet). Con los primeros navegadores 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 (Tissue *et al.*, 1995). 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 (Tissue, 1996). 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 (Boschmann, 2003), laboratorios virtuales (Martínez-Jiménez *et al.*, 2003) o páginas web con soporte hipermedia para la visualización de nano-materiales o modelos moleculares en tres dimensiones (Ong *et al.*, 2000; Thomas *et al.*, 2001).

Conclusión

A lo largo del siglo XX hemos podido observar una vertiginosa evolución en los recursos audiovisuales utilizados por el profesorado de química. El uso de algunos de ellos no ha dejado de ser puntual, como las microformas o el videodisco, debido a que han sido superados rápidamente por tecnologías posteriores, como el CD-ROM o el DVD. Otros recursos, como la radio y las películas, han quedado igualmente obsoletos, pero han tenido una vida útil más larga debido a que, al ser más antiguos, la tecnología que los superó tardó más tiempo en ser creada, como la televisión. En cambio, el vídeo, a pesar de ser superado en prestaciones por el DVD o el CD-ROM o de estar integrado en contenidos telemáticos, actualmente sigue siendo utilizado ampliamente de manera autónoma en la enseñanza de la química.

Una de las principales conclusiones que podemos extraer a la vista de la historia de los recursos audiovisuales es que la expectación que han creado los primeros usos de estos recursos no ha sido generalmente correspondida con el alcance que tuvieron éstos. Cuando se introduce un nuevo

recurso didáctico en las escuelas, existe un gran interés inicial y mucho entusiasmo sobre los efectos que éste pudiera tener sobre la práctica educativa. Sin embargo, este entusiasmo e interés se va difuminando con el tiempo y finalmente el recurso didáctico innovador acaba teniendo poco impacto en la práctica educativa. Por ejemplo, en 1913, Edison proclamaba que “los libros pronto quedarán obsoletos en las escuelas... Es posible enseñar cualquier rama del conocimiento humano con películas. Nuestro sistema escolar cambiará completamente en los próximos diez años” (citado por Saettler, 1968). La predicción de Edison fue, sencillamente, incorrecta, ya que los cambios que él predijo no tuvieron lugar. La misma suerte corrieron los vaticinios entusiastas de algunos expertos audiovisuales cuando afirmaron, a principios de los años 30, que la radio revolucionaría la educación (Reiser, 2001). Contrariamente a estas predicciones, la radio tuvo un impacto muy pequeño en la educación (Cuban, 1986).

En cuanto a la televisión, a partir de la segunda mitad de los años 60 empezó a disminuir el interés de ésta en el mundo educativo. Muchos de los usos didácticos de la televisión, en sus primeros años, eran de una mediocre calidad educativa, ya que la mayor parte de programas consistían en la emisión de una clase magistral (Reiser, 2001).

A pesar del escaso impacto educativo que tuvieron los recursos informáticos en la década de los 80, sería una imprudencia por nuestra parte aventurar qué nos deparará el futuro de los sistemas audiovisuales (muy ligados a los sistemas informáticos y telemáticos en la actualidad) en la enseñanza de la química. A las previsible mejoras en los sistemas de almacenamiento, compresión y reproducción audiovisual hay que añadir la innegable importancia que ya han adquirido los sistemas multimedia *on-line*. Las TICs prometen mucho más que una simple mejora de la enseñanza, ya que una aplicación adecuada de éstas tiene el potencial de poder cambiar la naturaleza cualitativa del proceso de enseñanza: por vez primera, las TICs permiten una interacción entre estudiantes y entre éstos y el profesorado que va más allá de la simple interacción estudiantes-contenido que ofrecían los recursos audiovisuales anteriores, como las películas, la televisión educativa o la radio (Reiser, 2001; Sherry, 1996).

Para finalizar, señalaremos algunas características destacadas de este posible cambio en el modelo educativo en el que la tecnología multimedia (*off-line* y *on-line*) ha de jugar un papel destacado:

- 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 multimedia favorecen la personali-

zación de la instrucción, a través de la interacción estudiante-ordenador, y esta la interactividad de los materiales multimedia exigirá del alumnado un compromiso mayor con el proceso de aprendizaje. La creación de materiales hipermedia, como ejemplo de actividad centrada en el estudiante, permite a éstos crear y organizar su propio conocimiento además de estimularlos a pensar cómo representar una idea, cómo establecer relaciones entre ellas y cómo unir diferentes representaciones de las mismas. El profesorado, que cede parte de su responsabilidad en el proceso de aprendizaje al alumnado en este nuevo paradigma educativo, sigue siendo una figura imprescindible, pues guía y controla al alumnado en su proceso de aprendizaje y de selección de la información, ya que la gran cantidad de información a la que tienen acceso los estudiantes no está totalmente codificada.

- En el nuevo paradigma educativo adquiere protagonismo el aprendizaje a través del trabajo cooperativo. Los sistemas multimedia proporcionan oportunidades para este tipo de aprendizaje, tanto a través de experiencias de aprendizaje cooperativo con material multimedia *off-line* como, especialmente, con material multimedia *on-line*. Los recursos informáticos permiten al alumnado poder aprender de manera colaborativa salvando las distancias geográficas y temporales (CSCL, *Computer-Supported Collaborative Learning*). ■

Bibliografía

- Alyea, H.N., Lantern slide technics, *J. Chem. Educ.*, **16**[7], 308-312, 1939.
- Alyea, H.N., Tested overhead Projection Series, *J. Chem. Educ.*, **39**[1], 12-15, 1962.
- Barnard, W.R., Overhead projectors, *J. Chem. Educ.*, **45**[5], 341-346, 1968a.
- Barnard, W.R., 8mm projectors in the modern Chemistry classroom, *J. Chem. Educ.*, **45**[2], 1968b.
- Barnard, W.R., Microforms in chemical education, *J. Chem. Educ.*, **46**[4], 254-256, 1969.
- Barnard, W.R.; Bertaut, E.F y O'Connor, R., Television for the modern Chemistry classroom, part I, *J. Chem. Educ.*, **45**[9], 617-620, 1968a.
- Barnard, W.R.; Lagowski, J.J. y O'Connor, R., The modern Chemistry classroom, *J. Chem. Educ.*, **45**[1], 63-70, 1968b.
- Barnard, W.R. y Tressel, G., Advanced film-TV production techniques I, lighting, *J. Chem. Educ.*, **46**[7], 461-464, 1969.
- Barry, R.D. y Carter, R.A., Evaluation of general Chemistry slide-audio tape programs, *J. Chem. Educ.*, **49**[7], 495-496, 1972.
- Boschmann, E., Teaching Chemistry via distance education, *J. Chem. Educ.*, **80**[6], 704-708, 2003.
- Brasted, R.C., The general Chemistry program at the University of Minnesota, *J. Chem. Educ.*, **41**[3], 139-142, 1964.
- Burrt, B.P., The tape recorder as a teaching aid, *J. Chem. Educ.*, **33**[3], 139, 1956.
- Calcaterra, A.; Antonietti, A. y Underwood, J., Cognitive style, hypermedia navigation and learning, *Computers Educ.*, **44**[4], 441-457, 2005.
- Carraher, C.E., Comic books – another visual aid in teaching Chemistry, *J. Chem. Educ.*, **52**[10], 654, 1975.

- Clark, R. W., A review of Corel's ChemLab CD-ROM, *Chem. Educator.*, **2**[1], 1-5, 1997.
- Cuban, L., *Teachers and machines: The classroom use of technology since 1920*, Teachers College Press, NuevaYork, 1986.
- Douville, J.A. y Schlessinger, B.S., Teaching of chemical literature: a list of audiovisual materials, *J. Chem. Educ.*, **57**[11], 796-797, 1980.
- Durban, S.A., Teaching weighing technic with the aid of a motion picture film, *J. Chem. Educ.*, **18**[11], 520, 1941.
- Elder, A.L. y Bartlett, K.G., Science programs for adult radio listeners, *J. Chem. Educ.*, **18**[4], 190-192, 1941.
- Fillinger, H.H., The projection of lecture experiments, *J. Chem. Educ.*, **8**[9], 1852-1855, 1931.
- Glemser, O., Closed circuit TV in the Chemistry auditorium, *J. Chem. Educ.*, **35**[10], 573-574, 1958.
- Hauser, E.A., The Polaroid Land camera – A new tool for education and research, *J. Chem. Educ.*, **26**[4], 224-225, 1949.
- Hayes, J.R.; Schempff, J.M. y Murnin, J.A., Balance instruction by television, *J. Chem. Educ.*, **35**[12], 615, 1958.
- Hoff, D.B., Overhead projection with the pH meter, *J. Chem. Educ.*, **41**[12], 662, 1964.
- Hubinger, H. y Schultz, H.P., Time-lapse multiple slide projection as a instructional aid, *J. Chem. Educ.*, **48**[9], 618-620, 1971.
- Illman, D. L., Multimedia tools gain favor for Chemistry presentations, *Chem. & Eng. News*, **72**[19], 34-40, 1994.
- Jiménez, G.; Llitjós, A. (2005). Una experiencia sobre hipertexto cooperativo en la clase de química. *Revista Iberoamericana de Educación* (versión digital). OEI: <http://www.rieoei.org/experiencias95.htm> (consulta: 06/07/2005).
- Jones, L.L. y Smith, S.G., Multimedia technology: A catalyst for change in chemical education, *Pure & Appl. Chem.*, **65**[2], 245-249, 1993.
- Kenney, M.E.; Toomey, R. F. y Martin, J. R., Closed-circuit television as a supplement to the general Chemistry program, *J. Chem. Educ.*, **37**[5], 256-257, 1960.
- Killeffer, D.H., Chemical education via radio, *J. Chem. Educ.*, **1**[3], 43-48, 1924.
- Lagowski, J.J., Audio aids in laboratory teaching, *J. Chem. Educ.*, **43**[9], 501, 1966.
- Llitjós, A., Hacia el siglo XXI: Comunicación audiovisual de la química, en *Aspectos didácticos de Física y Química*, ICE Universidad de Zaragoza, Zaragoza, 2000, p. 145-170.
- Llitjós, A.; 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 Jiménez, R. y Wamba, A.M. (Eds.), *Avances en la didáctica de las Ciencias Experimentales*, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Huelva, Huelva, 1997, p. 369-395.
- Llitjós, A.; Estopà, C. y Miró, A., Elaboración y utilización de audiovisuales en la enseñanza de la química, *Enseñanza de las Ciencias*, **12**[1], 57-62, 1994.
- Martínez-Jiménez, P.; Pontes-Pedrajas, A.; Polo, J. y Climent-Bellido, M.S., Learning in Chemistry with virtual laboratories, *J. Chem. Educ.*, **80**[3], 346-352, 2003.
- Noller, C. R., Apparatus for lecture demonstration of optical activity, *J. Chem. Educ.*, **26**[5], 269-270, 1949.
- Ong, E. W.; Razdan, A.; Garcia, A.A.; Pizziconi, VB.; Ramakrishna, B.L. y Glaunsinger, W.S., Interactive nano-visualization of materials over the Internet, *J. Chem. Educ.*, **77**[9], 1114-1115, 2000.
- Pence, E., Combining cooperative learning and multimedia in general Chemistry, *Education*, **113**[3], 375-380, 1993.
- Prendes, M.P. y Solano, I.M., Multimedia como recurso para la formación, *Actas de las III Jornadas Multimedia Educativo*, Barcelona, 25-26 junio 2001. p. 460-470.
- Reiser, R. A., A History of Instructional Design and Technology: Part I: A History of Instructional Media, *ETR&D*, **49**[1], 53-64, 2001.
- Robinson, W.R., Cognitive theory and desing of multimedia instruction, *J. Chem. Educ.*, **81**[1], 10-12, 2004.
- Russell, A.A., From videotapes to videodiscs: from passive to active instruction, *J. Chem. Educ.*, **61**[10], 866-868, 1984.
- Salinas, J., Multimedia en los procesos de enseñanza-aprendizaje: elementos de discusión, *Encuentro de Computación Educativa*, Santiago de Chile, 2-4 mayo 1996.
- Saettler, P., *A history of instructional tecnology*, McGraw-Hill, Nueva York, 1968, p. 68.
- Sherry, L., Issues in distance learning, *Int. J. Educ. Telecom.*, **1**[4], 337-365, 1996.
- Slabaugh, W.H., The overhead projector and chemical demonstrations, *J. Chem. Educ.*, **28**[11], 579-580, 1951.
- Slabaugh, W. H., Trends in instruction of Chemistry by films and television, *J. Chem. Educ.*, **36**[12], 588-590, 1959.
- Smith, G.W., An experiment in teaching general Chemistry by closed-circuit television, *J. Chem. Educ.*, **33**[6], 257-263, 1956.
- Smith S.G. y Jones, L.L., Images, imagination, and chemical reality, *J. Chem. Educ.*, **66**[1], 8-11, 1989.
- Snell, F.D. y Snell, C.T., Popular chemical education by radio, *J. Chem. Educ.*, **13**[3], 115-117, 1936.
- Taft, R., Increasing the usefulness of the short focus projection lantern, *J. Chem. Educ.*, **6**[10], 1638-1643, 1929.
- Thomas, H.; Paasch, S.; Machill, S.; Thiele, S.; Herzog, K.; Hemmer, M.; Gasteiger, J. y Salzer, R., Internet-assisted exercises in structural analysis, *Fresenius J. Anal. Chem.*, **371**[1], 4-10, 2001.
- Tissue, B.M., Applying hypermedia to chemical education, *J. Chem. Educ.*, **73**[1], 65-68, 1996.
- Tissue, B.M.; Yip, C.W. y Wong, Y.L., NCSA Mosaic: An Internet and hypermedia browser, *J. Chem. Educ.*, **72**[6], A116-A117, 1995.
- Walker, R.A., Teaching basic chemistry concepts with the overhead projector, *J. Chem. Educ.*, **41**[12], 663-665, 1964.
- Whitnell, R.M.; Fernandes, E.A.; Almassizadeh, F.; Love, J.J.C.; Dugan, B.M.; Sawrey, B.A. y Wilson, K.R., Multimedia Chemistry lectures, *J. Chem. Educ.*, **71**[9], 721-725, 1994.
- Williams, W.D., Some nineteenth century Chemistry teaching aids, *Chem. Educator*, **1**[3], 1-9, 1996.
- Wilson, J.L., Lantern slides from cellophane, *J. Chem. Educ.*, **8**[11], 2212-2213, 1931.