

Microescala en los laboratorios de Química. Una revolución imparabile

Francisco J. Arnáiz, Departamento de Química Universidad de Burgos. 09001 Burgos

Ronald M. Pike, Merrimack College, National Microscale Chemistry Center, North Andover, Massachusetts 01845

A primera vista la impresión que puede producir el título de este artículo a muchos lectores es la de ser

excesivamente pretencioso. ¿Representa alguna novedad hablar de Química a Microescala?. ¿Una revolución?. ¿Imparabile?.

Aparentemente la proposición de experimentos de Química a microescala no tiene nada de nuevo. Desde nuestra época de estudiantes hemos hecho numerosos experimentos de este tipo, particularmente en los laboratorios de

Química Analítica (separación de cationes, identificación de compuestos tanto orgánicos como inorgánicos,...). En los laboratorios de investigación es cada vez más frecuente la realización de experimentos de síntesis y reactividad empleando pequeñas cantidades de reactivos y productos. ¿Por qué decimos entonces que el fenómeno de microescala constituye una revolución imparabile?. Para entender esta afirmación parece pertinente analizar, aunque sea brevemente, el significado de Microescala a lo largo del tiempo.

ORÍGENES DE LA QUÍMICA A MICROESCALA

Desde mediados del siglo pasado se han venido realizando experimentos a microescala en Europa central, especialmente por parte de Emish y Pregl

(1). Fritz Pregl recibió el premio Nobel de Química en 1923 por sus aportaciones en este campo.

Pero quizás es más conocido en España el trabajo desarrollado por Feigl en la primera mitad de este siglo. La tercera edición de su tratado "Análisis cualitativo mediante reacciones a la gota", traducido por los profesores Ricardo Rincón y Siro Arribas, y publicado en España en 1949 (2), contiene en su primer capítulo una excelente descripción de materiales y métodos para el trabajo a microescala. Aunque orientado

hacia el tratamiento de muestras para análisis, los equipos y técnicas allí descritos permiten abordar con rigor la mayoría de las operaciones básicas que se llevan a cabo en los laboratorios de Química a microescala actuales.

En EE.UU. se enseñaron técnicas de microescala poco después de la segunda guerra mundial, tanto con fines analíticos como sintéticos, en algunas instituciones académicas. Especial mención merecen los programas de Cheronis y Ma en Brooklyn College, Benedetti-Pichler y Schneider en Queens College, Entrikin en Centenary

LA INICIATIVA DE LOS PROFESORES BUTCHER-MAYO-PIKE DE REINTRODUCIR Y READAPTAR LAS TÉCNICAS DE MICROESCALA EN LOS LABORATORIOS DE ENSEÑANZA DE QUÍMICA FUE EXTRAORDINARIAMENTE RELEVANTE.

EN 1992 LOS PROFESORES PIKE, SZAFRAN Y SINGH CREARON EL NATIONAL MICROSCALE CHEMISTRY CENTER EN MERRIMACK COLLEGE CON EL PROPOSITO DE IMPARTIR CURSILLOS TEORICO-PRACTICOS DE QUÍMICA A MICROESCALA.

College y Stock en la Universidad de Connecticut; y fuera de EE.UU. los de Veibel en la Universidad de Copenhague y de El-Badry en la Universidad de El Cairo. Aunque estos autores publicaron varios textos y artículos (3-5) sus propuestas no tuvieron gran eco fuera de su entorno, muy probablemente por la conjunción de varios factores entre los que cabe destacar:

- Bajo grado de conciencia de la necesidad de preservar el medio ambiente.
- Limitado conocimiento de la peligrosidad de muchos productos químicos.
- Ausencia de balanzas electrónicas monoplato, lo que convertía la pesada de pequeñas muestras en una operación especialmente tediosa.

LA REVOLUCIÓN

El inicio de la revolución de la Química a microescala en las instituciones académicas de EE.UU. se produce en la década de los 80 y se halla asociado a la publicación

del libro 'Microscale Organic Laboratory' (6), fruto del esfuerzo de los profesores Samuel S. Butcher y Dana W. Mayo del Bowdoin College (Brunswick, Maine) y Ronald M. Pike del Merrimack College (North Andover, Massachusetts).

Tras la publicación del mencionado libro y la subsiguiente comercialización de los equipos allí pro-

Estimaciones fiables indican que el número de alumnos que el pasado año siguió cursos de este tipo superó los 500.000, cuando en 1985 apenas llegaba a 500. Actualmente más del 75 % de los laboratorios de Química Orgánica de instituciones universitarias han adoptado como estándar el desarrollo de experimentos a microescala.

puestos (Ace Glass, Inc., Vineland, New Jersey) se produce la explosión de la Química a microescala. No tardan en hacer su aparición varios libros de prácticas, la mayoría de los cuales han sido publicados en la última década (7-30).

La adopción de técnicas, y el desarrollo de cursos, de microescala en EE.UU. ha crecido desde entonces de modo exponencial. Estimaciones fiables indican que el número de alumnos que el pasado año siguió cursos de este tipo superó los 500.000, cuando en 1985 apenas llegaba a 500. Actualmente más del 75 % de los laboratorios de Química Orgánica de instituciones universitarias han adoptado como estándar el desarrollo de experimentos a microescala.

¿Por qué hubo que esperar a bien entrados los años 80 para el comienzo de la adopción masiva de las técnicas de microescala? Los movimientos ecologistas de las últimas décadas han tenido mucho que ver en este proceso. La publicación de "Silent Spring" por Rachel Carson (31) produjo un fuerte impacto en la sociedad norteamericana. Pero sin duda el factor más decisivo fue la actuación de la Administración Ford en lo referente a regulaciones sobre la calidad del agua (Safe Drinking Water Act, 1974), para la reducción de la cantidad de sustancias peligrosas producidas por la industria química (Resource Conservation and Recovery Act, 1976) y para la eliminación de residuos tóxicos (Toxic Substance Control Act, 1976), que pronto fueron aprobadas por el Congreso.

Hasta ese momento las únicas fórmulas empleadas por la industria para la eliminación de residuos eran la incineración y la "neutralización" (almacenamiento en minas abandonadas o depósitos de petróleo agotados, ver-

tederos "especiales" entre los que se incluyen lechos marinos, dilución,...). Ahora el énfasis se pone en la reutilización de subproductos y muy especialmente en el desarrollo de nuevos métodos que reduzcan la generación de residuos en el origen, al inicio de los procesos.

Puede decirse que la iniciativa de los profesores Butcher-Mayo-Pike de reintroducir y readaptar las técnicas de microescala en los laboratorios de enseñanza de Química fue extraordinariamente relevante pero, sobre todo, se produjo en el momento preciso. Inicialmente surgió para dar solución al problema de renovación, a un coste asequible, de un laboratorio de Química Orgánica obsoleto que no cumplía con la reglamentación recientemente aprobada.

Los propios autores reconocen (32) que tuvieron serias dudas sobre la conveniencia del cambio, tales como: ¿Cuál es el límite inferior en la cantidad de producto que un alumno puede manejar sin necesidad de equipamiento excesivamente sofisticado?, ¿podrían trabajar los estudiantes con cantidades del orden de 50-200 mg 'viendo' y 'sintiendo' la química?, ¿qué equipos serían los idóneos para desarrollar esta tarea?, ¿valdría la pena preparar un texto especializado?, ¿querría alguien publicarlo?...

Las técnicas y materiales necesarios fueron desarrollados en 1982, y en 1983 se realizaron pruebas con grupos de alumnos en Bowdoin College y Merrimack College. Los primeros resultados se dieron a conocer en 1984 (33-34) y aparecieron publicados el año siguiente (35-36). En el 1984 ACS Meeting de St. Louis el Profesor David Brooks de la Universidad de Nebraska dijo: "We have been trying for years to make the instructional laboratory a meaningful,

exciting experience for the student; here at last is our solution". Pronto se hizo evidente que la experimentación a microescala presentaba notables ventajas con respecto al modo operatorio tradicional y que llevada a cabo adecuadamente era muy bien acogida por los estudiantes. De ahí la revolución producida y su carácter irreversible.

En 1992 los profesores Pike, Szafran y Singh crearon el National Microscale Chemistry Center (NMC2) en Merrimack College con el propósito de impartir cursillos teórico-prácticos de Química a Microescala -tanto a profesores de todos los niveles educativos como a personal de laboratorios industriales- para dar a conocer el significado y alcance de las técnicas a microescala. Desde su creación el NMC2 ha prestado una colaboración decisiva para el establecimiento de otros centros similares en las Universidades Roosevelt y West Virginia, Pinkerton Academy, Kokkolan Teknillinen Oppilaitos (Finlandia), Universidades Iberoamericana (México), Autónoma de San Luis Potosí (México), Deakin (Australia), Halmstad (Suecia) y Amsterdam (Holanda). Asimismo ha prestado su asistencia para la instalación de más de una docena de centros similares en Community Colleges de EE.UU., financiados por la PETE (Partnership for Environmental Technological Education), y en la actualidad ayuda al establecimiento de Centros de Microescala en India y Puerto Rico.

El centro más importante de la comunidad iberoamericana es sin duda el Centro Mexicano de Química en Microescala, fundado en 1994 por el Dr. Jorge Ibáñez en la UIA (Universidad Iberoamericana) tras su estancia en el NMC2. Hasta la fecha ha enseñado técnicas de microescala a cientos de pro-

Una revisión de los libros de experimentación química más utilizados a lo largo de este siglo pone de manifiesto que en la mayoría de las síntesis descritas no se percibe una reducción significativa en la cantidad de productos de partida.

fesores de todos los niveles. Actualmente es el coordinador de la red MICRONET (Microscale Techniques for the Reduction of Hazardous Wastes in Academic Laboratories), creada el pasado año por la Unión Europea, y que incluye instituciones de España, Suecia, Finlandia, Brasil y México.

En enero de 1992, M. R. Mahoney, coordinador de Prevención de Polución de la EPA (Environmental Protection Agency), Region I, Boston, Mas-

sachusetts, manifestó: "This exciting innovation is a critical element in fostering a cultural change toward pollution prevention".

La dirección del NMC2 ha mostrado siempre una disponibilidad excepcional para acoger e impulsar todo tipo de iniciativas encaminadas a la extensión de Microescala; buen ejemplo de ello ha sido la colaboración del profesor

Pike en la organización y desarrollo del primer "Curso de Verano de Química a Microescala" celebrado el pasado mes de julio en la Universidad de Burgos.

¿QUÉ ENTENDEMOS HOY POR QUÍMICA A MICROESCALA?

El término microescala es utilizado por diferentes autores para indicar muy diferentes cantidades de productos de partida.

Desde una perspectiva analítica (37) es frecuente considerar que un ensayo a microescala implica la utilización

de menos de 10 mg de muestra, siendo habitual la realización de ensayos a la gota de productos en disolución.

Desde un punto de vista sintético habitualmente se engloban dentro de microescala los experimentos que implican la utilización inicial de 25 a 250 mg de sólidos y de 0,05 a 2 mL de disolución.

Pero estos valores deben considerarse como meramente orientativos. Especialistas en este campo no plantean objeciones a la hora de admitir y publicar como experimentos a microescala propuestas con cantidades sensiblemente superiores a las mencionadas. De ahí que la IUPAC prefiera utilizar el término 'Small Scale' como modo de indicar que, más importante que delimitar con precisión las fronteras del campo de microescala, es destacar la drástica reducción en el uso de productos con respecto a las cantidades usadas tradicionalmente.

LA FALTA DE MOTIVACION SE HALLA RELACIONADA CON LA FALTA DE RECONOCIMIENTO, CUANDO NO ABIERTO DESPRECIO, DEL ESFUERZO DEDICADO A LA ADAPTACION A PEQUEÑA ESCALA DE LOS EXPERIMENTOS CONVENCIONALES.

DE LA ESCALA ÓPTIMA A MICROESCALA

Una revisión de los libros de experimentación química más utilizados a lo largo de este siglo pone de manifiesto que en la mayoría de las síntesis descritas no se percibe una reducción significativa en la cantidad de productos de partida (20).

No deja de ser llamativo este fenómeno en una ciencia que se caracteriza por su racionalidad.

A la hora de proponer un experimento de síntesis lo primero que se

plantea, aunque muy frecuentemente de modo tácito, es el objetivo del mismo. De aquí a establecer cual ha de ser la escala óptima no hay más que un paso.

Es cierto que en ocasiones se requiere la preparación de una cantidad importante de producto porque se halla destinado a ser el producto de partida para otros experimentos. Pero con más frecuencia sucede que el objetivo del experimento es ilustrar el potencial de una determinada clase de reacciones, o el alcance de una técnica, de modo que el producto final solo se necesita para la caracterización mediante un reducido número de ensayos (a menudo no destructivos). En estas condiciones, si un análisis racional del problema indica que 50-100 mg de producto es suficiente, ¿por qué preparar 100 ó 200 veces más, como es tan habitual?

Muchas pueden ser las razones para entender este comportamiento. Pero entre ellas se hallan sin duda la falta de motivación y la resistencia al cambio.

La falta de motivación se halla relacionada con la falta de reconocimiento, cuando no abierto desprecio, del esfuerzo dedicado a la adaptación a pequeña escala de los experimentos convencionales. Afortunadamente en el momento actual la variedad de actividades descritas en libros de prácticas (particularmente en el área de Química Orgánica) y revistas fácilmente accesibles es suficientemente amplia para permitir la implantación de cursos a microescala con un esfuerzo insignificante.

La resistencia al cambio a veces se justifica por las muchas complicaciones que se supone puede introducir el trabajar a pequeña escala. Nada más lejos de la realidad. La síntesis a microescala presenta muchas más ventajas que inconvenientes. Un análisis riguroso

Las ventajas pedagógicas deben ser consideradas por quienes dudan de la conveniencia de la progresiva conversión hacia microescala de las actividades prácticas de las que son responsables. De modo similar, las ventajas económicas merecen ser analizadas por los gestores de la administración de los centros.

roso del problema indica que microescala es la escala óptima en la mayoría de las situaciones.

VENTAJAS DE LA EXPERIMENTACION A MICROESCALA

Antes hemos comentado el carácter de revolución irreversible de la implantación de la Química a microescala a todos los niveles, basada en nuestra convicción de las ventajas que representa. Estas ventajas, aunque un poco arbitrariamente, pueden agruparse en dos bloques: pedagógicas y económicas.

Las ventajas pedagógicas deben ser consideradas por quienes dudan de la conveniencia de la progresiva conversión hacia microescala de las actividades prácticas de las que son responsables.

De modo similar, las ventajas económicas merecen ser analizadas por los gestores de la administración de los centros.

VENTAJAS PEDAGOGICAS

Seguridad

Operando a microescala la calidad del aire en el laboratorio se mejora sustancialmente y la exposición a productos tóxicos se reduce marcadamente. Esto repercute en la salud de los usuarios directos pero también de los vecinos y visitantes. Al propio tiempo disminuye el rechazo social de la Química, aspecto no trivial en entornos en los que impere un alto grado de quimiofobia.

Los riesgos de incendio son mínimos. Si consideramos que los disolventes inflamables requeridos para un experimento, en un laboratorio de 20 plazas,

pueden contenerse en frascos de 50-100 mL, la probabilidad de que se produzca un incendio de grandes proporciones es prácticamente inexistente.

Los daños derivados de una eventual explosión se minimizan de tal modo que pequeñas pantallas de plástico garantizan una protección completa y la sola presencia de gafas es suficiente para evitar daños corporales significativos.

Los aspectos de seguridad adquieren especial relevancia cuando se trabaja con grupos de alumnos muy jóvenes o poco experimentados y en laboratorios con una infraestructura deficiente, lo que es frecuente en centros de educación primaria y secundaria, y a veces también en universidades.

Aborro de tiempo

Los requerimientos de tiempo en operaciones convencionales como montaje de aparatos, calentamiento, enfriamiento, eliminación de disolventes, filtración, etc. son considerablemente inferiores cuando se opera a microescala. Estudios detallados (38, 39) han puesto de manifiesto que la mayoría de experimentos a microescala requiere menos de la mitad de tiempo que los realizados a escala normal.

La disponibilidad de tiempo extra es de gran importancia porque permite:

- Realizar en una sesión normal experimentos que habitualmente requieren dos o tres sesiones.

- Realizar experimentos complementarios, en la misma sesión.
- Repetir experimentos que han sido abortados tras una operación equivocada.
- Destinar el tiempo ganado a la ampliación de las sesiones de pre y post lab.
- Ampliar extraordinariamente la gama de experimentos a desarrollar en

cursos de Química de educación primaria y secundaria en los que los periodos de prácticas suelen estar sometidos a serias restricciones.

Nuevas posibilidades de experimentación

La propia dinámica del desarrollo científico exige la realización de ensayos con

productos cada vez más sofisticados. Trabajando a la escala habitual, muchos experimentos de gran relevancia son inmediatamente descartados por inviables al considerar los costes asociados. La drástica reducción de costes y las facilidades operatorias que ofrece microescala amplían enormemente las posibilidades.

Así en la mayoría de los laboratorios de Química Inorgánica se evita proponer al conjunto de alumnos de la clase prácticas de interés actual por implicar metales u otros productos de elevado coste. Sin embargo, es fácil comprobar que la preparación a microescala de un compuesto organometálico típico como el $[Pd(m-Cl)(C_6H_4N=NPh)]_2$ (40) resul-

LOS DAÑOS DERIVADOS DE UNA EVENTUAL EXPLOSION SE MINIMIZAN DE TAL MODO QUE PEQUEÑAS PANTALLAS DE PLASTICO GARANTIZAN UNA PROTECCION COMPLETA Y LA SOLA PRESENCIA DE GAFAS ES SUFICIENTE PARA EVITAR DAÑOS.

El grado de satisfacción -a veces el asombro- que produce el éxito alcanzado hace olvidar el esfuerzo realizado y conduce al alumno a la convicción de que microescala es el camino idóneo, y que el laboratorio a microescala es el lugar ideal para aprender química de modo seguro y divertido.

ta más barata que la preparación a escala normal de un complejo clásico de cobalto.

De modo similar, en los laboratorios de Química Orgánica operando a microescala es perfectamente asumible la utilización de productos como el "iluro instantáneo" (mezcla de sodamida y bromuro de benciltrifenilfosfonio) (20), lo que resultaría prohibitivo a escala convencional.

Microescala ofrece innumerables posibilidades para el desarrollo de experimentos que hacen uso de materiales y productos fácilmente accesibles a bajo coste. De este modo facilita la implementación de cursos prácticos de Química General en centros de enseñanza primaria y secundaria. Desde hace algunas décadas han proliferado en la

mayoría de los países desarrollados manuales de experimentos de este tipo, aunque su carácter local hace que sean escasamente conocidos por la comunidad científica de otros países.

En esta línea cabe destacar la labor realizada por S. Thompson de la Universidad de Colorado a quien puede considerarse el principal innovador de las técnicas de microescala dirigidas a laboratorios de Química General (41). En 1977 modificó los experimentos tradicionales y puso de manifiesto el potencial de materiales de plástico de equipos de biomedicina (tubos, jeringas,...) para el desarrollo de experimentos a pequeña escala (9).

Una excelente descripción de la utilización de los materiales básicos más baratos (tubos de vidrio, pipetas Pasteur, clips,...) para la preparación de equipos de microescala es fácilmente accesible (18, 23, 24). Y, recientemente, se ha publicado una perspectiva de las posibilidades que ofrecen estos materiales para la preparación de una amplia gama de compuestos relevantes en los laboratorios de Química General e Inorgánica (42)

Finalmente, no es en absoluto trivial considerar lo mucho que la experimentación a microescala facilita el trabajo a personas con discapacidades (o simplemente de estatura reducida) puesto que posibilita la realización de una gran variedad de operaciones con una sola mano, cómodamente sentado, sin necesidad inexcusable de trabajar en la vitrina, etc.

Mayor motivación de los estudiantes

Los alumnos que se enfrentan por primera vez a la síntesis a microescala, una vez comprendidas sus implicaciones, acogen la idea con entusiasmo, aunque en ocasiones no exento de cierto grado de escepticismo. Quizás los elementos más motivadores para los estudiantes, según nuestra experiencia, proceden de su convicción de:

- Estar operando del modo más racional posible.
- Hacer "química verde".

- Existir poco riesgo de sufrir accidentes serios durante la experimentación.

Con frecuencia se detecta entre los alumnos una especial curiosidad por comprobar si será posible, o si serán capaces de, realizar el experimento propuesto.

El grado de satisfacción -a veces el asombro- que produce el éxito alcanzado hace olvidar el esfuerzo realizado y conduce al alumno a la convicción de que microescala es el camino idóneo, y que el laboratorio a microescala es el lugar ideal para aprender química de modo seguro y divertido.

Mejor preparación de los estudiantes

El trabajo a microescala facilita una mejor preparación de los estudiantes que puede concretarse: en la adquisición de una mayor destreza en el manejo de materiales y productos, en un mejor conocimiento de los fundamentos de la Química, y en la superior capacitación para la vida profesional.

Al estar obligados a manipular piezas de tamaño reducido y pequeñas cantidades de productos los alumnos han de ser especialmente cuidadosos en todas las operaciones. Desarrollan así habilidades que no adquirirían tan fácilmente operando a escala normal.

La ganancia de tiempo ya mencionada permite mayor dedicación al análisis e interpretación de resultados, aspecto crucial para el aprendizaje de los fundamentos de la Química.

El desarrollo de actividades a microescala lleva implícito un nuevo modo de concebir la Química en el mundo actual y futuro. El profesional con este tipo de formación se halla mentalmente mejor preparado para abordar el reto

MICROESCALA OFRECE
INNUMERABLES
POSIBILIDADES PARA
EL DESARROLLO DE
EXPERIMENTOS QUE
HACEN USO DE
MATERIALES Y
PRODUCTOS
FÁCILMENTE
ACCESIBLES A BAJO
COSTE

Las ventajas económicas -muchas y bastante evidentes- afectan a todos los eslabones de la cadena implicados directa o indirectamente en la enseñanza práctica de la Química, desde los costes de instalación y equipamiento de laboratorios hasta los de eliminación de residuos.

del desarrollo de nuevos procesos químicos, más limpios y a la medida de las necesidades del momento, que la sociedad está demandando.

Ventajas económicas:

Las ventajas económicas -muchas y bastante evidentes- afectan a todos los eslabones de la cadena implicados directa o indirectamente en la enseñanza práctica de la Química, desde los costes de instalación y equipamiento de laboratorios hasta los de eliminación de residuos.

Los siguientes aspectos merecen ser destacados:

- Menores necesidades de espacio, particularmente en almacenes de materiales y productos.
- Menor coste de instalaciones y de mantenimiento (calefacción, ventilación, número de extintores, agua, gases,...).
- Mayores facilidades para el acondicionamiento de laboratorios, para el cumplimiento de las regulaciones oficiales sobre seguridad, y para la implementación de programas de calidad total.
- Menor coste de seguros de edificios, especialmente contra incendios.
- Menor coste material fungible (matraces, vasos,...)
- Drástica reducción en costes de productos químicos, incluyendo disolventes.
- Facilidades para el reciclado in situ.
- Menor coste de neutralización de residuos y retirada a depósitos de seguridad.

Algunos de estos aspectos, actualmente poco importantes en algunos lugares, como los costes de retirada de residuos, con toda seguridad muy

pronto tendrán un peso decisivo en la implantación de la Química a microescala. Así ha sucedido ya en varias universidades americanas. Un reciente estudio realizado en la Universidad de West Virginia (43), en la que el coste de retirada de residuos del laboratorio de Química Orgánica duplicaba el de adquisición de productos, puso de manifiesto que la inversión necesaria para la compra de equipos de microescala podía ser amortizada en dos años.

EL FUTURO

El futuro más inmediato es sin duda la conversión a microescala de los laboratorios tradicionales. Los manuales de prácticas de Química a microescala publicados hasta la fecha constituyen un buen indicador del fuerte crecimiento en el área de Química Orgánica.

El hecho de que la reintroducción de la Química a microescala en su forma actual sea un fenómeno reciente, que naciera originalmente para dar solución a problemas de laboratorios de Química Orgánica, y que la Química acuosa sea muy importante en otras áreas de la Química, podrían explicar la menor implantación en otros laboratorios.

Sin embargo, la aparición del manual 'Microscale Inorganic Chemistry' (15) y la creciente publicación de experimentos a microescala en otras ramas de la Química (ver, por ejemplo, la columna de microescala en J. Chem. Educ.), junto a las ventajas antes apuntadas, permiten predecir una rápida entrada de la Química a microescala en todo tipo de laboratorios.

La adopción de técnicas de microescala significará sin duda importan-

tes cambios en el modo de llevar a cabo la experimentación química.

La incorporación de una gran variedad de nuevos experimentos enriquecerá y facilitará la enseñanza actualizada de la Química.

Aumentará el tiempo para la reflexión y análisis crítico de los experimentos.

El cambio previsiblemente implicará una nueva concepción en la instalación y uso de los laboratorios:

- Los almacenes de material y productos verán reducidas sensiblemente sus dimensiones (en muchos casos serán simples armarios).
- Las grandes y costosas campanas extractoras serán progresivamente sustituidas por pequeños brazos articulados.
- Los equipos de refrigeración/calefacción (frigoríficos, hornos, estufas, baños,...) tendrán menores requerimientos de espacio y de consumo eléctrico.
- Se incorporarán nuevos equipos tales como minirreactores de vidrio reforzado, operando bajo pequeñas campanas protectoras, que permitirán el seguimiento visual de reacciones catalíticas a presión.
- Las mesas de trabajo verán reducida su altura y las banquetas serán sustituidas por cómodas sillas,...

En fin, la revolución es joven -todavía no ha alcanzado la mayoría de edad- y es difícil predecir el curso que irá tomando. Pero es seguro que nos deparará interesantes sorpresas en los albores del nuevo siglo. En palabras del Profesor T. C. Morrill del Rochester Institute of Technology, durante el Meeting de marzo de 1989 en Merrimack College: "To me, the advent of the microscale approach to the instructional laboratory is the most significant advancement in educational circles since World War II".



REFERENCIAS

- R. Hathaway, *Safety Considerations in the Microscale Laboratories*, Symposium at the 197th ACS National Meeting, Dallas, TX, Abril, 1989.
- F. Feigl, *Análisis cualitativo mediante reacciones a la gota*, 3ª ed., Paraninfo, Madrid, 1949.
- J. T. Stock y M. A. Fill, *J. Chem. Educ.*, 1953, 30, 296.
- J. T. Stock, *J. Chem. Educ.*, 1990, 67, 898.
- S. W. Breuer, *Educ. Chem.*, 1991, 28, 75.
- D. W. Mayo, R. M. Pike, S. S. Butcher, *Microscale Organic Laboratory*, John Wiley & Sons: New York, NY, 1986.
- T. Russo, *Microscale Chemistry for High School General Chemistry*, Kemtec Educational: Kensington, ND, 1986.
- Microscale Chemistry Curriculum Module*, The Woodrow Wilson National Fellowship Foundation Chemistry Institute, 1987.
- S. Thompson, *Chemtrek: Small Scale Experiments for General Chemistry*, Prentice Hall: Upper Sadler River, NJ, 1990.
- J. S. Nimitz, *Experiments in Organic Chemistry, From Microscale to Macroscale*, Prentice-Hall: Englewood Cliffs, NJ, 1990.
- D. Ehrenkrantz, J. J. Mauch, *Chemistry in Microscale: A Set of Microscale Laboratory Experiments with Teacher Guides*, Kendall/Hunt Publishing Co.: Dubuque, IA, 1990.
- J. L. Mills, M. D. Hampton, *Microscale Experiments for General Chemistry*, 2ª ed., McGraw-Hill: New York, NY, 1991.
- J. L. Mills, M. D. Hampton, *Microscale and Macroscale Experiments for General Chemistry*, 2ª ed., McGraw-Hill: New York, NY, 1991.
- D. W. Mayo, R. M. Pike, S. S. Butcher, P. K. Trumper, *Microscale Techniques for the Organic Laboratory*, Wiley: New York, NY, 1991; 2ª ed. en preparación por D. W. Mayo, R. M. Pike and P. K. Trumper, prevista publicación en mayo de 2000.
- Z. Szafran, R. M. Pike, M. M. Singh, *Microscale Inorganic Chemistry: A Comprehensive Laboratory Experience*, Wiley: New York, NY, 1991.
- J. A. Landgreve, *Theory and Practice in the Organic Laboratory with Microscale and Standard Macroscale Experiments*, 4ª ed., Brooks/Cole: Pacific Grove, CA, 1993.
- R. W. Holman, R. W. Hesley, R. K. Hesley, *Contemporary Microscale Organic Chemistry*, Kendall/Hunt: Dubuque, IA, 1993.
- Z. Szafran, R. M. Pike, J. C. Foster, *Microscale General Chemistry Laboratory with Selected Macroscale Experiments*, Wiley: New York, NY, 1993.
- B. N. Campbell, M. M. Ali, *Organic Chemistry Experiments-Microscale and Semi-microscale*, Brooks/Cole: Pacific Grove, CA, 1994.
- D. W. Mayo, R. M. Pike, P. K. Trumper, *Microscale Organic Laboratory*, 4ª ed., Wiley: New York, NY, 2000.
- K. L. Williamson, *Macroscale and Microscale Organic Experiments*, 2ª ed., Houghton Mifflin: Boston, MA, 1994.
- D. L. Pavia, G. M. Lampman, G. S. Kriz, R. G. Engel, *Introduction to Organic Laboratory Techniques, A Microscale Approach*, 2ª ed., Saunders: Philadelphia, PA, 1995.
- M. M. Singh, R. M. Pike, Z. Szafran, *Microscale and Selected Macroscale Experiments for General and Advanced General Chemistry, An Innovative Approach*, Wiley: New York, NY, 1995.
- Z. Szafran, R. M. Pike, M. M. Singh, *Microscale Chemistry for High School*, Vol. I, Kendall/Hunt Pub.: Dubuque, IA, 1996.
- W. R. Moore, A. Winston, *Laboratory Manual for Organic Chemistry: A Microscale Approach*, WCB/McGraw-Hill: New York, NY, 1996.
- C. Bishop, M. Bishop, *Standard and Microscale Experiments in General Chemistry*, 3ª ed., Saunders College Pub.: Philadelphia, PA, 1996.
- C. E. Bell, Jr, A. K. Clark, D. F. Taber, O. R. Rodig, *Organic Chemistry Laboratory: Standard and Microscale Experiments*, 2ª ed., Saunders: Philadelphia, PA, 1997.
- J. R. Mohrig, C. N. Hammond, T. C. Morrill, *Organic Chemistry Laboratory Manual / A Balanced Approach: Macroscale and Microscale*, W. E. Freeman & Co: New York, NY, 1997.
- K. L. Williamson, *Microscale Chemical Experiments*, Houghton Mifflin: Boston, MA, 1997.
- Z. Szafran, R. M. Pike, M. M. Singh, *Microscale Chemistry for High School*, Vol. II, Kendall/Hunt Pub.: Dubuque, IA, 1998.
- R. Carson, *Silent Spring*, Houghton-Mifflin: Boston, MA, 1962.
- R. M. Pike, Z. Szafran, M. M. Singh, D. W. Mayo, *Educación Química*, 1999, 10, 102.
- R. M. Pike, D. W. Mayo, S. S. Butcher, J. R. Hotham, C. M. Foote, D. S. Page, *An Introductory Microscale Organic Laboratory Program*, 187th ACS National Meeting, St Louis, MO, Abril, 1984.
- S. S. Butcher, D. W. Mayo, S. M. Hebert, J. R. Hotham, D. S. Page R. M. Pike, *Microscale Organic Laboratory Program: Air Quality Aspects*, 187th ACS National Meeting, St Louis, MO, Abril, 1984.
- S. S. Butcher, D. W. Mayo, R. M. Pike, C. M. Foote, J. R. Hotham, D. S. Page, *J. Chem. Educ.*, 1985, 62, 147.
- D. W. Mayo, S. S. Butcher, R. M. Pike, C. M. Foote, J. R. Hotham, D. S. Page, *J. Chem. Educ.*, 1985, 62, 149.
- I. M. Kolthoff; P. J. Elving, Eds., *Treatise on Analytical Chemistry*, Interscience Publishers, Inc.: New York, NY, 1959.
- M. Pickering, J. E. LaPrade, *J. Chem. Educ.*, 1986, 63, 535.
- R. M. Pike, Z. Szafran, M. M. Singh, T. Virk-kala, *Kemia-Kemi*, 1995, 22, 653
- F. J. Arnáiz, *J. Chem. Educ.*, 1996, 73, A126.
- G. Rayner-Canham, *Educ. Chem.*, 1994, 31, 68.
- F. J. Arnáiz, *Anuario Latinoamericano de Química*. 1998, X, 79.
- J. H. Penn, *Educación Química*, 1999, 10, 107.