

Química en microescala en los laboratorios de Química Inorgánica y Organometálica

Francisco J. Arnáiz*

Abstract (*Microscale Chemistry in Inorganic and Organometallic Laboratories*)

The aim of this paper is to present a perspective on the activities developed in our laboratories at small scale to show that most of synthetic experiments in Inorganic and Organometallic Chemistry can be conveniently carried out on Microscale.

Introducción

Aparentemente la química en microescala no representa nada nuevo. Cuando los de mi generación echamos una mirada retrospectiva a nuestra época de estudiantes, allá por la década de 1960, recordamos que, por ejemplo, en los laboratorios de Química General la determinación de puntos de fusión se hacía con muestras de unos pocos miligramos en un capilar adosado a un termómetro que se introducía en el tubo de Thiele; en los laboratorios de Química Analítica el reconocimiento de aniones y cationes se realizaba frecuentemente a través de ensayos a la gota y la determinación complejométrica de metales con AEDT (ácido etilendiaminotetraacético) requería utilizar muestras inferiores a 0,1 g; en Química Física con la aparición de las modernas técnicas espectroscópicas las medidas, cuando era posible el acceso a los equipos, se realizaban con dispersiones de unos pocos miligramos de producto en un soporte inerte, o en celdas de pocos mililitros con disoluciones muy diluidas.

Pero del mismo modo podemos recordar con qué frecuencia se utilizaban matraces de destilación de 250 y 500 mL en los laboratorios de Química Orgánica, y vasos y cristalizadores de volumen incluso mayor en Química Inorgánica. Es decir, en Química preparativa lo habitual era seguir las recetas descritas en los manuales de prácticas de la época, que raramente partían de cantidades de reactivos

inferiores a 5 g. Aún recuerdo con qué orgullo mostraba a mis compañeros los 28 g de alumbre de cromo que había cristalizado, y lo grandes y bonitos que eran algunos de los cristales. Pero también lo tedioso que resultaba filtrar y lavar precipitados gelatinosos como el oxhidrato de cromo (III).

De la escala óptima a microescala

Cuando en 1972 se creó el Colegio Universitario de Burgos, transformado hace diez años en Universidad de Burgos, tuve la fortuna de poder hacerme cargo de la enseñanza de la Química Inorgánica. Y pronto mi percepción de la Química preparativa comenzó a sufrir un cambio radical. De un lado el coste de los productos químicos para las prácticas de síntesis, trabajando a la escala entonces habitual, no dejaba de impulsarme a la reducción de escala. Y de otro lado me preguntaba ¿para qué queremos tantos cientos de gramos de productos preparados por los alumnos a veces insuficientemente fiables como productos de partida para otras preparaciones? Aún hoy no dejo de sorprenderme al pensar cuánto tiempo tardé en adquirir conciencia del verdadero significado de una idea tan racional y simple como la representada por ‘escala óptima’, a pesar de las dificultades para su precisa definición.

La escala óptima viene determinada por el objetivo del trabajo a realizar en cada caso; es decir, por la cantidad de reactivos requeridos para obtener la cantidad de producto necesaria para cubrir dicho objetivo. Supongamos, por ejemplo, que pretendemos preparar un carbonato básico de plomo —a través de la reacción entre cantidades equimoleculares de nitrato de plomo y carbonato sódico— y determinar su composición. Y que consideramos suficiente la caracterización del producto mediante un par de ensayos cualitativos de plomo y carbonato (que requieren unos pocos miligramos), junto a un análisis volumétrico por duplicado de plomo con AEDT (sobra con 100 mg). Con estos datos resulta evidente que necesitamos de 100 a 200 mg de producto. Sabiendo que la transformación de nitrato en carbonato básico de plomo es prácticamente cuanti-

* Universidad de Burgos, Departamento de Química, Área de Química Inorgánica, 09001 Burgos (España).
Correo electrónico: farnaiz@ubu.es

tativa, conociendo la estequiometría de la reacción y el peso fórmula de las especies implicadas, podemos concluir que es suficiente partir de 250-300 mg de nitrato de plomo. En cambio, si lo que se pretende es preparar un carbonato básico de plomo para utilizarlo como producto de partida en la síntesis de una serie de carboxilatos, una estimación similar nos conducirá a que la escala óptima es de varios gramos.

El resultado de este simple análisis lleva a la conclusión de que la práctica totalidad de los experimentos de síntesis puede conducirse de modo satisfactorio a escala inferior a 1 g, y que sólo en circunstancias especiales es aconsejable trabajar a escala superior. Es decir, la determinación de la 'escala óptima' conduce inevitablemente a la propuesta de realización de la inmensa mayoría de experimentos en microescala.

A pesar de mis convicciones he de reconocer que hasta bien entrada la década de 1980 apenas incorporamos en nuestro laboratorio experimentos en microescala. Sin duda fue debido, en buena medida, a la fuerza de la costumbre y a las reticencias de los colegas que consideraban era poco serio la preparación de cantidades tan exiguas de productos, utilizando viales, tubos de ensayo y 'cazuelitas de juguete' en vez de matraces y cristalizadores convencionales. Y ello a pesar de que la tercera edición del libro de Feigl *Análisis cualitativo mediante reacciones a la gota*, traducido por los profesores Ricardo Rincón y Siro Arribas, publicado en España en 1949 (Feigl, 1949), y presente en la mayoría de los laboratorios, contiene en su primer capítulo una excelente descripción de materiales y métodos para el trabajo en microescala.

El nacimiento de la moderna Química en Microescala

El fenómeno se produjo en Estados Unidos a comienzos de la década de los 80 y se debió fundamentalmente al esfuerzo de los profesores S. S. Butcher y D. W. Mayo del Bowdoin College (Brunswick, Maine) y R. M. Pike del Merrimack College (North Andover, Massachusetts). Como reconocen los protagonistas surgió, al menos en parte, para dar solución al problema de renovación, a un coste asequible, de un laboratorio de Química Orgánica obsoleto que no cumplía con la reglamentación vigente. Las técnicas y materiales necesarios fueron desarrollados en 1982, los primeros resultados se dieron a conocer en 1984 (Pike *et al.*, 1984; Butcher *et al.*, 1984) y fueron publicados el año siguiente (Butcher *et al.*,

1985; Mayo *et al.*, 1985).

Desde la aparición del libro *Microscale Organic Laboratory* (Mayo *et al.*, 1986) han aparecido más de una treintena de manuales de prácticas de Química en Microescala, la mayoría de ellos referidos a Química Orgánica. Si no fuera por el excelente libro *Microscale Inorganic Chemistry* (Szafran *et al.*, 1991) se tendría la impresión de que microescala pertenece en exclusiva al dominio de la Química Orgánica. Nada más lejos de la realidad. En nuestro laboratorio, y con toda probabilidad en muchos otros, se venían desarrollando en la misma época, aunque con cierta timidez, experimentos de síntesis inorgánica a pequeña escala. La aparición de artículos y libros a finales de los 80 fue el motor que nos impulsó a la publicación de algunos de los experimentos que habíamos puesto a punto en nuestro laboratorio y que contenían alguna novedad, más allá de la simple reducción de escala, que los convertía en potencialmente aceptables para publicación. Las ventajas de la Química en Microescala ya han sido analizadas y publicadas por numerosos autores. Por nuestra parte también han sido presentadas en algunos artículos en castellano (Arnáiz, 1998(a); Arnáiz y Pike, 1999) por lo que aquí nos limitaremos a comentar brevemente los principales tipos de productos que preparamos en nuestros laboratorios a pequeña escala.

Algunas sugerencias de síntesis inorgánica en microescala

Como ya se ha mencionado casi cualquier tipo de síntesis es susceptible de ser convenientemente llevada a cabo en microescala.

La preparación de metales y la recuperación de metales valiosos o tóxicos, tanto por vía húmeda como por vía seca, puede realizarse fácilmente con materiales de bajo coste (tubos de ensayo, viales, microcrisoles de barro o hierro de fabricación casera,...). Metales nobles, seminobles y poco activos como Ag, Hg, Cu, Sb, Pb,... se obtienen fácilmente por vía húmeda. Como ejemplo podemos mencionar la recuperación de plomo en forma de grandes burbujas (Arnáiz y Pedrosa, 1998) que se puede realizar de modo conveniente y bastante espectacular en un tubo de ensayo partiendo de menos de 100 mg de cualquier sal de plomo algo soluble en agua (figura 1). En la tercera de forros pueden verse todas las figuras en color.

La reducción de óxidos (carbótermias, metalotermias) puede llevarse a cabo en pequeños crisoles con mezclas de reactivos inferiores a 1 g. Merece ser

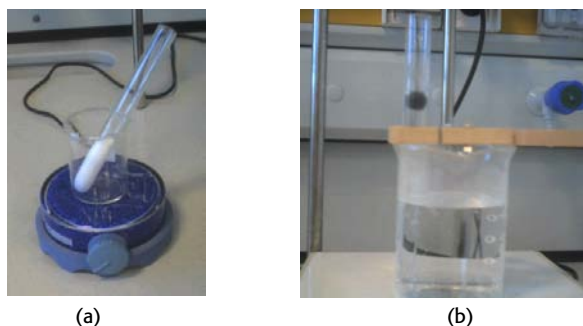


Figura 1. Recuperación de plomo en forma de 'burbuja'. (a) Formación de Pb(OH)_2 al añadir una gota de NaOH 4M sobre 5 mL de disolución de nitrato de plomo 0,1 M. (b) Formación de una burbuja esférica de plomo tras añadir 5 mL de NaOH 4 M, calentar la disolución resultante en baño de agua a 80-90°C, añadir un gránulo de Al de 2-3 mm y esperar dos minutos.

destacado que varias metalotermias pueden realizarse con excelentes resultados, y el consiguiente ahorro, sustituyendo los crisoles por conos de papel, ya que los crisoles de tierra refractaria habitualmente se rompen durante el proceso (Arnáiz *et al.*, 1998). La reducción aluminotérmica de óxidos de hierro es un buen ejemplo (figura 2) y la ignición de la mezcla puede realizarse de modo simple y seguro con permanganato potásico y glicerina.

Elementos no metálicos también pueden prepararse, y es muy recomendable hacerlo, en microescala. Nótese, por ejemplo, que la reacción de sola-

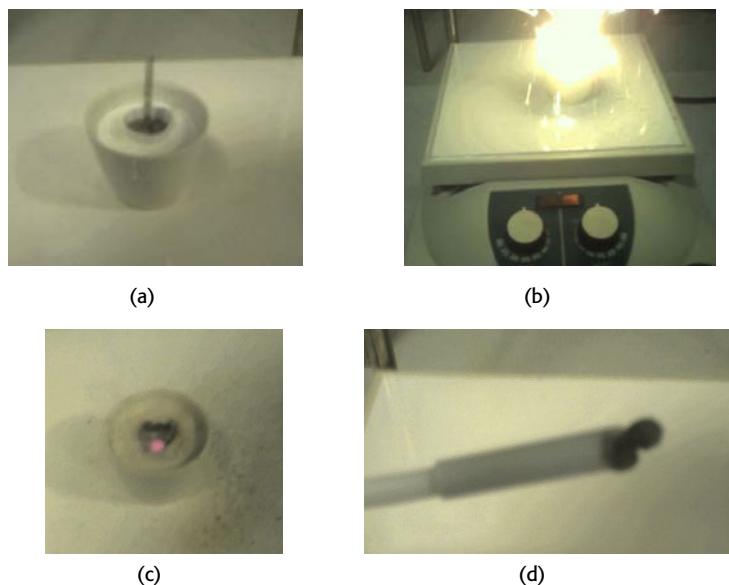


Figura 2. Preparación de hierro por aluminotermia. (a) Mezcla íntima de 0,9 g de Fe_2O_3 seco, 0,3 g aluminio en polvo y trozo de cinta de Mg de unos 5 cm en un cono de papel incrustado en la arena blanca contenida en un crisol. (b) Mezcla en ignición. (c) Masa de hierro incandescente. (d) Bola de hierro obtenida adherida al imán.

mente 25 mg de aluminio con hidróxido sódico para generar hidrógeno suministra en torno a 30 mL de gas en condiciones normales, cantidad cuyo manejo no está exento de peligro. Similares consideraciones pueden hacerse en la preparación de oxígeno por descomposición del peróxido de hidrógeno, o de nitrógeno por calentamiento suave de nitrito amónico (disolución concentrada de un nitrito y una sal amónica). La generación de éstos y otros gases puede hacerse muy satisfactoriamente utilizando tubos de ensayo (Arnáiz, 1995(a)). Otros elementos no metálicos muy agresivos que preparamos en microescala —en este caso unos pocos miligramos— son los halógenos. Cabe aquí señalar que en los ensayos de reactividad y en la preparación de haluros, especialmente cuando se halla implicado el yodo, es habitual la utilización de disolventes orgánicos; para minimizar su consumo, estos disolventes pueden recuperarse con facilidad por tratamiento con tiosulfato sódico (Arnáiz y Casares, 1991).

Entre los compuestos binarios a los que más atención prestamos se hallan los óxidos y los haluros, compuestos que en la actualidad preparamos siempre en escala inferior a 1 g a través de adaptaciones de los guiones publicados en los libros de síntesis. Como ejemplos representativos implicando procedimientos menos conocidos citaremos: i) la preparación de AlCl_3 por reacción entre Al, I_2 y CH_2Cl_2 que permite aislar el producto anhidro muy puro a la vez que permite la obtención de cloroyodometano o diyodometano (Arnáiz, 1995(d)); ii) la preparación de HCl gas, adaptando a microescala un procedimiento previamente descrito que permite la obtención del gas sin generación de residuos (Arnáiz, 1995(b)); iii) la preparación de CuCl por reducción de CuCl_2 con Cu (figura 3), y la de CuI a partir de los elementos, utilizando como producto auxiliar NaI que puede ser reutilizado indefinidamente (Arnáiz *et al.*, 2003).

Oxisales y complejos de todo tipo se preparan de modo similar. Algunos ejemplos característicos de síntesis puestas a punto en nuestro laboratorio y previamente publicadas son: i) la preparación del acetilacetonatos metálicos y en especial del derivado de dioxomolibdeno(VI) con un considerable ahorro de tiempo respecto al procedimiento convencional (Arnáiz, 1995(c)); ii) la preparación de formiatos metálicos con notables ventajas sobre los procedimientos previamente descritos, particularmente el formiato de níquel (Arnáiz, 1995(e)) y los formiatos de hierro(II) y plomo(II) (Arnáiz *et al.*, 2003(a))

(figura 4); iii) alcóxidos como el arsenito de butilo (Arnáiz y Miranda, 1999); iv) haluros complejos como el $TiBF_4$ (Arnáiz, 1997), el $UO_2Cl_2(OPPh_3)_2$ (Arnáiz y Miranda, 1998) y los aductos de haluros de dioxomolibdeno(VI) (Arnáiz *et al.*, 2003(b)); v) y varios compuestos de plomo en el contexto de la minimización de residuos durante los procesos sintéticos (Arnáiz y Pedrosa, 1999; Arnáiz *et al.*, 2000).

Microescala en el laboratorio de Química de Compuestos Organometálicos

La adscripción de la asignatura de Compuestos Organometálicos al Área de Química Inorgánica significó un importante reto de cara a la elaboración de un programa práctico adecuado, pero también constituyó un fuerte impulso para la adopción de microescala en nuestros laboratorios. La selección de experimentos para el programa práctico se realizó fundamentalmente considerando: i) la inclusión de las principales clases de compuestos en razón de la naturaleza del enlace metal-carbono, ii) los tipos de compuestos que pueden prepararse y manipularse al aire, y iii) la posibilidad de realizar algunos experimentos en atmósfera inerte.

Dado que varios de los compuestos más representativos implican a metales y compuestos de coste elevado, la adopción de microescala resultó obligada. La ausencia de infraestructura suficiente (especialmente instalaciones de gas inerte en los puestos de trabajo requeridos para atender a los alumnos matriculados) operó en el mismo sentido; así decidimos la utilización de globos llenos de nitrógeno o argón, adaptados a llaves, para la realización de síntesis en atmósfera inerte. En este sentido es de notar que un globo convencional puede cargar al menos de 2 L de gas a una sobrepresión de 0,2-0,5 atmósferas, cantidad más que suficiente para concluir con éxito síntesis en matraces o tubos de Schlenck de 25 mL (Arnáiz, 1993(a)).

En la actualidad la casi totalidad de las síntesis las llevamos a cabo al aire. Una selección de una veintena de compuestos organometálicos representativos que pueden prepararse de esta manera ha sido ya comentada (Arnáiz y Pike, 2000). La mayoría de las propuestas son simples adaptaciones en microescala de experimentos clásicos, aunque también hemos puesto a punto procedimientos de síntesis que incorporan alguna novedad como las preparaciones de ferroceno (Arnáiz *et al.*, 2002) (figura 5), de óxido de trifenilfosfina (Arnáiz y Aguado, 1995) y de compuestos ortometalados de paladio (Arnáiz, 1996).

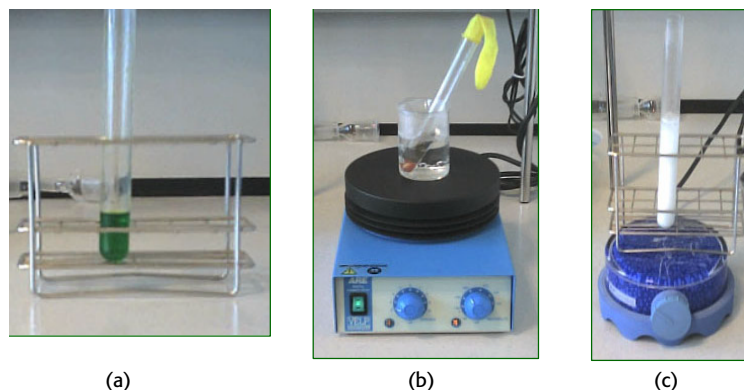


Figura 3. Preparación de cloruro cuproso. (a) Disolución verde de $CuCl_2$ (200 mg de CuO + 1 mL de agua + 2 mL de HCl 12M). (b) Adición de 500 mg de Cu polvo y calentamiento al baño María hasta disolución incolora. (c) Adición de la disolución incolora de $[CuCl_2]^-$ resultante sobre 10 mL de H_2O desaireada (hervida y fría). El $CuCl$, precipitado blanco, decanta rápidamente y puede lavarse con acetona y secarse en el propio tubo.

Materiales para la síntesis en microescala en laboratorios de Química Inorgánica y Organometálica.

Aunque los equipos de microescala existentes en el mercado son en principio adecuados, cabe destacar que resultados similares se obtienen con materiales más sencillos y menos costosos. Así, en nuestros laboratorios las síntesis en microescala las llevamos a

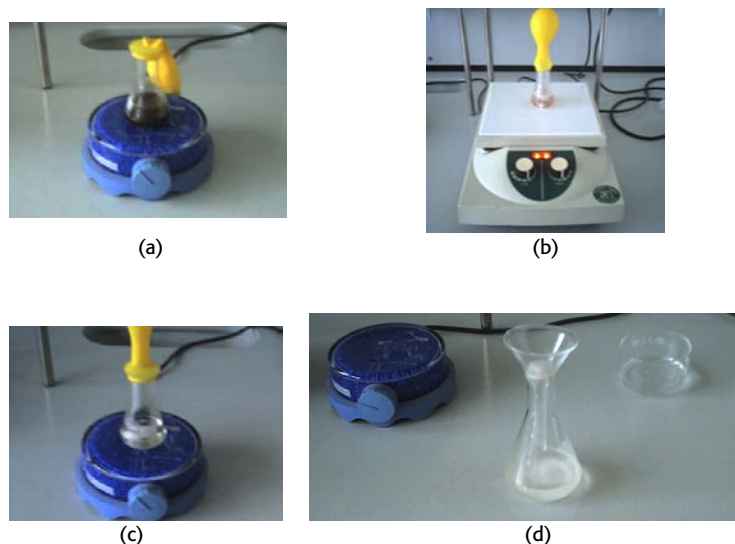


Figura 4. Preparación de formiato de plomo. (a) Erlenmeyer de 25 mL conteniendo 1 g de Pb_3O_4 , 2 g de HCO_2H y 15 g de H_2O . (b) Mezcla calentada justo a ebullición durante 3 min (la formación de CO_2 es en buena medida responsable del inflado parcial del globo). (c) La misma mezcla a los 5 min (reacción finalizada) en proceso de enfriamiento y cristalización. (d) $Pb(HCO_2)_2$ cristalino recogido en el embudo y $Pb(HCO_2)_2$ microcristalino en el Erlenmeyer (precipitado al recoger la acetona de lavado sobre el líquido filtrado).

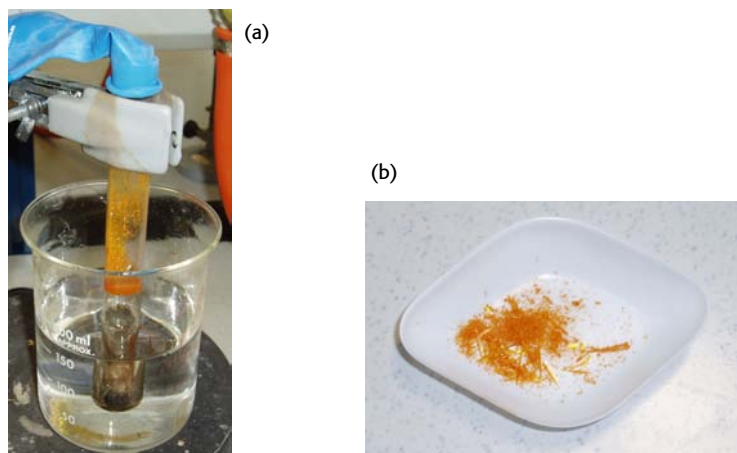


Figura 5. Purificación de ferroceno por sublimación. (a) Tubo de ensayo conteniendo ferroceno impuro, cubierto con un tapón de fibra de vidrio, protegido con un globo, e introducido en un baño de silicona caliente (observar el ferroceno sublimado adherido a la parte superior fría del tubo). (b) Ferroceno cristalino obtenido.

cabo en su mayoría utilizando pequeños viales, vasos de 10 mL, placas Petri como cristalizadores, matraces Erlenmeyer de 10 mL, tubos de ensayo de tamaño variable, varillas de vidrio, pipetas Pasteur, etc. Cabe destacar que, debido a la limitada solubilidad de muchos compuestos inorgánicos y organometálicos en los disolventes convencionales, con cierta frecuencia los recipientes a utilizar deben ser de un volumen de 25 mL o superior, aunque las cantidades de reactivos no superen el medio gramo. Un análisis detallado de las posibilidades de ofrecen estos materiales para la síntesis inorgánica y organometálica queda fuera del alcance de este artículo, pero una buena idea puede adquirirse consultando algunos libros de microescala (Szafran *et al.*, 1991; Szafran *et al.*, 1993) y artículos complementarios (Arnáiz, 1993(a); 1993(b); 1995(a); 1995(f); 1996(a); 1998(b); 1998(c); 1998(d); 1998(e) y 2000). ▣

Referencias

- Arnáiz, F. J.; Casares, J. A. "Recovering Solvent from Iodine Solutions", *J. Chem. Educ.*, **1991**, *68*, 516.
- Arnáiz, F. J. (a) "Balloons in lab", *J. Chem. Educ.*, **1993**, *70*, 1020. (b) "Air Condensers", *J. Chem. Educ.*, **1993**, *70*, 1020.
- Arnáiz, F. J. (a) "The Tube-in-Tube Solution for Gas Generation", *J. Chem. Educ.*, **1995**, *72*, 572. (b) "A Convenient Way to Generate Hydrogen Chloride in the Freshman Lab.", *J. Chem. Educ.*, **1995**, *72*, 1139. (c) "Preparation of $\text{MoO}_2(\text{acac})_2$ ", *J. Chem. Educ.*, **1995**, *72*, A7. (d) "Microscale Preparation of AlCl_3 ", *J. Chem. Educ.*, **1995**, *72*, A8. (e) "Microscale Preparation of Nickel Formate Dihydrate: A Simple Experiment for the Freshman Lab", *J. Chem. Educ.*, **1995**, *72*, A200. (f) "How a Simple Accessory may facilitate a number of Operations of Distillation and Extraction", *Rev. Cien.*, **1995**, *16*, 89.
- Arnáiz, F. J.; Aguado, R. "The Conversion of Triphenylphosphine to the Oxide. A Simple Experiment to Illustrate Catalytic Oxotransfer.", *J. Chem. Educ.*, **1995**, *7*, A196.
- Arnáiz, F. J. (a) "Easy Filling of Capillaries in an Inert Atmosphere", *J. Chem. Educ.*, **1996**, *73*, A102. (b) "The Synthesis of $[\text{Pd}(\text{m-Cl})(\text{C}_6\text{H}_4\text{N}=\text{NPh})_2]$ ", *J. Chem. Educ.*, **1996**, *73*, A126.
- Arnáiz, F. J. "The Preparation of TlBF_4 ", *J. Chem. Educ.*, **1997**, *74*, 1332.
- Arnáiz, F. J. (a) "Química en Microescala", *Anuario Latinoamericano de Química*, **1998**, *X*, 79. (b) "Easy Filling of a Buret", *J. Chem. Educ.*, **1998**, *75*, 149. (c) "Glass Apparatus for Gas Generation", *J. Chem. Educ.*, **1998**, *75*, 150. (d) "Some Suggestions to Treat Sodium Wastes", *J. Chem. Educ.*, **1998**, *75*, 150. (e) "Using Plastiline in the Laboratory", *J. Chem. Educ.*, **1998**, *75*, 1418.
- Arnáiz, F. J.; Pedrosa, M. R. "Lead Globules", *J. Chem. Educ.*, **1998**, *75*, 1431.
- Arnáiz, F. J.; Aguado, R.; Arnáiz, S. "Microscale Thermite Reactions", *J. Chem. Educ.*, **1998**, *75*, 1630.
- Arnáiz, F. J.; Miranda, M. J. "Microscale Synthesis of $\text{UO}_2\text{Cl}_2(\text{OPPh}_3)_2$ ", *J. Chem. Educ.*, **1998**, *75*, 1458.
- Arnáiz, F. J.; Pike, R. M. "Microescala en los laboratorios de Química. Una revolución imparables", *An. Quím.*, **1999**, *95*(3), 45.
- Arnáiz, F. J.; Pedrosa, M. R. "Microscale Transformations of Some Lead Compounds. A Cycle for Minimizing the Production of Wastes", *J. Chem. Educ.*, **1999**, *76*, 1687.
- Arnáiz, F. J. "In Praise of Latex Gloves", *J. Chem. Educ.*, **2000**, *77*, 1303.
- Arnáiz, F. J.; Pedrosa, M. R.; Mendía, A.; Arnáiz, S.; Aguado, R. "Un ciclo de compuestos de plomo como modelo de experimentos con productos peligrosos", *Educ. Quím.*, **2000**, *11*(3), 333.
- Arnáiz, F. J.; Pike, R. M. "Algunas sugerencias para el laboratorio de Química de Compuestos Organometálicos", *An. Quím.* **2000**, *96*(2), 31.
- Arnáiz, F. J.; Aguado, R.; Pedrosa, M. R.; Sanz, R., "Síntesis de ferroceno", *Anuario Latinoamericano de Química*, **2002**, *XV*, 156.

- Arnáiz, F. J.; Pedrosa, M. R.; Arnáiz, S. "The preparation of CuI", *Inorganic Experiments*, 2nd Edition (Ed. J. D. Woollins), Wiley-VCH, Weinheim, 2003, p. 75.
- Arnáiz, F. J.; Pedrosa, M. R.; Aguado, R. (a) "Iron(II) and Lead(II) formates", *Inorganic Experiments*, 2nd Edition (Ed. J. D. Woollins), Wiley-VCH, Weinheim, 2003, p. 71. (b) "[MoO₂Br₂(H₂O)₂](diglyme) and [MoO₂Br₂(DMF)₂]", *Inorganic Experiments*, 2nd Edition (Ed. J. D. Woollins), Wiley-VCH, Weinheim, 2003, p. 199.
- Butcher S. S.; Mayo, D. W.; Hebert, S. M.; Hotham, J. R.; Page D. S.; Pike, R. M. "Microscale Organic Laboratory Program: Air Quality Aspects", 187th ACS National Meeting, St Louis, MO, Abril, 1984.
- Butcher S. S.; Mayo, D. W.; Pike, R. M.; Foote, C. M.; Hotham, J. R.; Page D. S. "Microscale Organic Laboratory: I: An Approach to Improving Air Quality in Instructional Laboratories", *J. Chem. Educ.*, 1985, 62, 147.
- Feigl, F. "Análisis cualitativo mediante reacciones a la gota", 3^a ed., Paraninfo, Madrid, 1949.
- Mayo, D. W.; Butcher, S. S.; Pike, R. M.; Foote, C. M.; Hotham, J. R.; Page, D. S. "Microscale Organic Laboratory: II: The Benefits Derived from Conversion to the Program and Representative Experiments", *J. Chem. Educ.*, 1985, 62, 149.
- Mayo, D. W.; Pike, R. M.; Butcher, S. S. "Microscale Organic Laboratory", John Wiley & Sons, New York, 1986.
- Pike, R. M.; Mayo, D. W.; Butcher S. S.; Hotham, J. R.; Foote, C. M.; Page, D. S. "An Introductory Microscale Organic Laboratory Program", 187th ACS National Meeting, St Louis, MO, Abril, 1984.
- Szafran, Z.; Pike, R. M.; Singh M. M. "Microscale Inorganic Chemistry: A Comprehensive Laboratory Experience", Wiley, New York, 1991.
- Szafran, Z.; Pike, R. M.; Foster, J. C. "Microscale General Chemistry Laboratory with Selected Macroscale Experiments", Wiley, New York, 1993.

Agradecimientos

A la Dra. María R. Pedrosa, por la lectura crítica del manuscrito.





Estimado colega, te invito a conocer algunos
 materiales didácticos, a través de la **Página:**
www.quimicadidactica.com

Atentamente
Lucila Castillejos Escobar
contacto@quimicadidactica.com