

Generación e identificación de gases inorgánicos a microescala

Generació i identificació de gasos inorgànics a microescala

Micro-scale generation and identification of inorganic gases

Graciela Edith Muller-Carrera / Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Departamento de Química Inorgánica y Nuclear (México)

Adolfo Rivero-Muller / Universidad de Turku. Instituto para la Biomedicina (Finlandia)



resumen

En este artículo se presenta una alternativa fácil y económica a microescala para la generación y la identificación de los cinco gases inorgánicos (cloro, amoníaco, dióxido de azufre, dióxido de carbono y dióxido de nitrógeno) y una reflexión respecto a su utilización en las clases. Su objetivo es reducir al mínimo los peligros y las dificultades en la obtención de gases y en su identificación. Los experimentos se realizan utilizando cajas de Petri de plástico, previamente perforadas en el centro de la tapa, donde se inserta una pipeta de plástico con la que se añade el reactivo en disolución. La propuesta de trabajo se ha utilizado con dos grupos de estudiantes de secundaria y de universidad y, en ambos casos, se ha valorado positivamente su implementación.

palabras clave

Generación, identificación, microescala, gases inorgánicos (cloro, amoníaco, óxidos).

resum

En aquest article es presenta una alternativa fàcil i econòmica a microescala per a la generació i la identificació dels cinc gasos inorgànics (clor, amoníac, diòxid de sofre, diòxid de carboni i diòxid de nitrogen) i una reflexió respecte a la seva utilització a les classes. El seu objectiu és reduir al mínim els perills i les dificultats en l'obtenció de gasos i en la seva identificació. Els experiments es realitzen utilitzant càpsules Petri de plàstic, prèviament perforades al centre de la tapa, on s'insereix una pipeta de plàstic amb la qual s'afegeix el reactiu en dissolució. La proposta de treball s'ha utilitzat amb dos grups d'alumnes de secundària i d'universitat i, en ambdós casos, se n'ha valorat positivament la implementació.

paraules clau

Generació, identificació, microescala, gasos inorgànics (clor, amoníac, òxids).

abstract

This article presents an easy and economical micro-scale alternative for the generation and identification of five inorganic gases (chlorine, ammonia, sulphur dioxide, carbon dioxide and nitrogen dioxide), and reflection regarding their use in the classroom. It aims to minimize the dangers and difficulties involved in obtaining gases and their identification. The experiments were performed using plastic Petri dishes, which were pre-drilled in the centre of the lid, where a plastic pipette was inserted for deliver the reagent solution. The proposed work has been used with two groups of high school and college students. In both cases, its implementation has been evaluated positively.

keywords

Generation, identification, micro-scale, inorganic gases (chlorine, ammonia, oxides).

Introducció

Una parte fundamental de la ensenyanza de la química se da en los laboratorios; el trabajo práctico constituye una pieza clave para el aprendizaje de numerosos conceptos químicos. En concreto, el trabajo experimental con los gases que se producen en reacciones químicas es conveniente para enseñar y aprender conceptos básicos de química, pero, en ocasiones, se evita su uso por las dificultades que implican su manejo y el diseño de los métodos de obtención, así como de los métodos de identificación. El propósito del diseño del trabajo práctico que se presenta es facilitar el estudio del comportamiento de algunos gases con la finalidad de incidir en el aprendizaje de la química. En concreto, pretende ayudar al estudio de las reacciones químicas en las que se generan gases o las reacciones químicas que sirven para la identificación de gases. El trabajo práctico pretende facilitar al profesorado de química el trabajo con gases en el laboratorio, puesto que la propuesta de trabajo no requiere material de difícil acceso y simplifica enormemente el procedimiento de manipulación, con la consiguiente disminución de los riesgos.

Características y procedimiento

En el presente trabajo se presenta una alternativa fácil y económica para la obtención y la identificación de gases inorgánicos que pretende minimizar los peligros y la dificultad que implica la obtención de gases y su identificación. Se presenta el trabajo en microescala de generación de cinco gases inorgánicos: cloro, amoníaco, dióxido de azufre, dióxido de carbono y dióxido de nitrógeno.

El procedimiento que se propone en el experimento podría utilizarse para generar otros gases,

siempre que su reacción de obtención transcurra a temperatura ambiente y, preferentemente, entre un reactivo sólido y una solución.

En nuestra propuesta de experimento, utilizamos como cámara de producción de gases una caja de Petri de plástico, desechable, cuya tapa ha sido previamente horadada en el centro para poder introducir una pipeta de plástico (Beral). En el centro de la caja, se coloca el reactivo sólido, una sal inorgánica, y, a través del orificio de la tapa, se introduce con la pipeta el otro reactivo en forma de solución.

Esta propuesta permite la identificación de los gases, por medio tanto de propiedades físicas como químicas. Los cinco gases obtenidos con los reactivos utilizados son solubles en agua y las reacciones de identificación que se proponen aprovechan esta propiedad. Por esta razón, se utiliza un conjunto de soluciones acuosas como indicadores para identificar los gases generados. Se eligieron doce soluciones adecuadas para poder identificar los cinco gases que se generan en los experimentos. En el interior de la caja de Petri, se colocan, en la posición de las doce horas de un reloj, las soluciones que se utilizan para la identificación del gas generado.

Los indicadores utilizados son los siguientes:

- 1) Indicador universal.
- 2) Indicador de azul de bromotimol (vire 6- 7,8 de pH, de amarillo a azul).
- 3) Jugo de uva.
- 4) Solución de yoduro de potasio $0,5 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$.
- 5) Solución saturada de ácido sulfhídrico.
- 6) Solución de Fe (II) en medio ácido (recién preparada).
- 7) Solución saturada de hidróxido de bario.
- 8) Solución de cromato de potasio $0,5 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$.

- 9) Solución de sulfato de cobre (II) $0,5 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$.
- 10) Solución de sulfito de sodio $0,5 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$.
- 11) Solución comercial de yodo al 2 %.
- 12) Solución de permanganato de potasio $0,01 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ acidulada con sulfúrico.

Procedimiento

– Colocar en el centro de la caja una pequeña cantidad de la correspondiente sal inorgánica, uno de los reactivos de la reacción de generación del gas.

– Alrededor del reactivo sólido, en las orillas de la caja y siguiendo la numeración de un reloj, colocar, en cada posición, una gota de cada una de las soluciones (indicadores) que permitirán identificar el gas generado, tal y como se indica en el esquema.

– Introducir con la pipeta, a través del orificio de la tapa, unas gotas de la correspondiente solución del otro reactivo de la reacción de generación del gas.



Producción de gases

Se propone la generación de los cinco gases siguientes:

- 1) Dióxido de azufre.
- 2) Dióxido de nitrógeno (se obtiene el monóxido, que reacciona con el oxígeno atmosférico para obtener inmediatamente el dióxido).
- 3) Amoníaco.
- 4) Cloro.
- 5) Dióxido de carbono.

Tabla 1. Reactivos y reacciones para la producción de los gases

Reactivo sólido	Reactivo en disolución	Gas producido	Reacción química
Nitrito de sodio	HCl (3 mol·dm ⁻³)	Monóxido de nitrógeno	$\text{NaNO}_2 + \text{HCl} \rightarrow 2\text{NO} + 2\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O} + \text{NaNO}_3$ $2\text{NO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_2$
Sulfito de sodio	HCl (3 mol·dm ⁻³)	Dióxido de azufre	$\text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{HCl} \rightarrow \text{SO}_2 + \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$
Cloruro de amonio	NaOH (6 mol·dm ⁻³)	Amoníaco	$\text{NH}_4\text{Cl} + \text{NaOH} \rightarrow \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{NaCl}$
Carbonato de sodio	HCl (3 mol·dm ⁻³)	Dióxido de carbono	$\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{HCl} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{NaCl}$
Hipoclorito de calcio	HCl (3 mol·dm ⁻³)	Cloro	$\text{Ca}(\text{ClO})_2 + \text{HCl} \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{Cl}_2$

Los reactivos y las reacciones para la generación de los cinco gases se muestran en la tabla 1. La obtención de los gases se diseñó tomando en cuenta el hecho de obtenerlos a temperatura ambiente y preferentemente mediante reacción entre un reactivo sólido, que se coloca previamente en la caja, y otro reactivo en forma de disolución, que se añade después de colocar todos los reactivos indicadores y de haber cerrado el sistema, para permitir que el gas interactúe con las disoluciones identificadoras.

A continuación, se describen las reacciones de obtención de cada uno de los cinco gases:

– Monóxido de nitrógeno: se obtiene en el experimento mediante nitrito de sodio sólido y disolución de ácido clorhídrico (3 mol·dm⁻³). Con estos reactivos, se obtiene monóxido de nitrógeno, cloruro de sodio, agua y nitrito de sodio. El monóxido de nitrógeno reacciona inmediatamente con el oxígeno del aire y se forma dióxido de nitrógeno, un gas de coloración amarilla ocre característica.

– Dióxido de carbono: se obtiene a partir de un carbonato o de un hidrogenocarbonato de cualquier metal, al cual se adiciona disolución de ácido clorhídrico (3 mol·dm⁻³). Además, se obtiene cloruro de sodio en disolución acuosa.

– Amoníaco: se obtiene al poner en contacto cloruro de amonio sólido con un álcali como una solución de hidróxido de sodio (6 mol·dm⁻³). En la reacción, además de desprenderse gas amoníaco, se forma solución acuosa de cloruro de sodio.

– Dióxido de azufre (SO₂): se obtiene por la reacción de un sulfito con un ácido, obteniéndose, además, agua y la sal correspondiente al ácido y al catión involucrado. En nuestro caso, se utiliza sulfito de sodio y disolución de ácido clorhídrico (3 mol·dm⁻³). Se obtiene, además, una solución acuosa de cloruro de sodio.

– Cloro gas: se obtiene por la reacción entre el hipoclorito de calcio sólido, o bien el hipoclorito de sodio en disolución, y una solución de ácido clorhídrico (3 mol·dm⁻³). Además, se obtiene agua y el cloruro correspondiente en disolución acuosa (calcio o sodio).

Los doce indicadores propuestos permiten discriminar de qué gas se trata, puesto que algunos de ellos reaccionan específicamente con alguno de estos gases

Identificación de los gases

Los doce indicadores propuestos permiten discriminar de qué gas se trata, puesto que algunos de ellos reaccionan específicamente con alguno de estos gases.

Se sugiere a los estudiantes una secuencia a seguir que les permita ir de propiedades físicas a propiedades químicas diversas. La secuencia sugerida para la identificación consta de las siguientes cuatro etapas. Secuencia sugerida:

1) Observar el color del gas obtenido [dos de ellos, el cloro (Cl₂) y el dióxido de nitrógeno (NO₂), son coloreados; los otros son incoloros].

2) Identificar el gas que produce viraje de los indicadores al color de la zona básica (amoníaco). Comprobar que se trata de amoníaco por la coloración azul del complejo de tetraaminocobre (II) que aparece en la posición 9 (color azul característico).

3) Identificar el gas que únicamente produce reacciones ácido-base y no reacciones de óxido-reducción. Es el dióxido de carbono (CO₂).

4) Identificar el dióxido de azufre (SO₂) por reacciones de reducción (con permanganato) y de oxidación (con ácido sulfhídrico saturado).

Tabla 2. Resultado de las distintas reacciones de identificación de los cinco gases (Dec.:decoloración; S/c: sin cambio, Pp.:precipitado)

Reactivo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Figura
NO ₂	Rojo	Amarillo	S/c	I ₂	S/c	S/c	S/c (turbidez)	Verde	S/c	S/c	Inc.	Inc.	1
SO ₂	Rojo	Amarillo	Dec.	S/c	Coloide	S/c	Pp. blanco	Verde	S/c	S/c	Inc.	Inc.	2
NH ₃	Azul	Azul	S/c	S/c	S/c	S/c	S/c (turbidez)	Amarillo	Azul	S/c	S/c	S/c	3
CO ₂	Rojo	Verde	S/c	S/c	S/c	S/c	Pp. blanco	Amarillo	S/c	S/c	S/c	S/c	4
Cl ₂	Rojo	Amarillo	Dec.	I ₂	S/c	Fe (III)	S/c	Amarillo	S/c	SO ₄ ²⁻	Inc.	Marrón	5



Figura 1. El monóxido de nitrógeno (NO₂) reacciona claramente con los indicadores 1, 2, 4, 7 y 8.

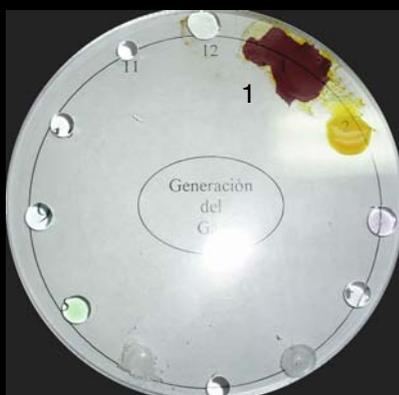


Figura 2. El dióxido de azufre (SO₂) reacciona con los indicadores 1, 2, 3, 5, 7 y 8.

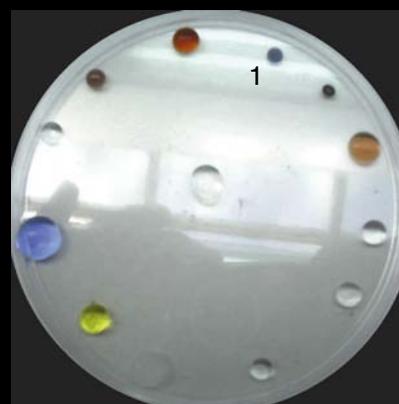


Figura 3. El amoníaco (NH₃) reacciona con los indicadores 1, 2, 7, 9 y 12.



Figura 4. El dióxido de carbono (CO₂) reacciona con los indicadores 1, 2, 7 y 8.



Figura 5. El cloro (Cl₂) reacciona con los indicadores 1, 2, 3, 4, 6, 11 y 12.

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos que representan los cambios observados se presentan a continuación:

1) Con el indicador universal, se observa un cambio al rojo en todos los casos excepto en el amoníaco, que vira al azul.

2) Con azul de bromotimol, se observa un cambio o viraje en el caso del amoníaco (azul) y en el del dióxido de carbono (verde), que es el menos ácido del resto de los ácidos generados.

3) El jugo de uva es decolorado por el cloro y el dióxido de azufre.

4) El yoduro de potasio, originalmente incoloro, se oxida formando yodo con la aparición de un color marrón oscuro al reaccionar con dióxido de nitrógeno y con cloro.

5) El ácido sulfhídrico únicamente reacciona con el dióxido

de azufre precipitando azufre coloidal, según la reacción siguiente: $2\text{H}_2\text{S} + \text{SO}_2 \rightarrow 3\text{S} + \text{H}_2\text{O}$.

6) El hierro (II) se oxida a hierro (III) en presencia de cloro. El hierro (III) se identifica por la formación de un complejo de color pardo rojizo oscuro al añadir unas gotas de solución de tiocianato de potasio.

7) El hidróxido de bario precipita con el dióxido de azufre (SO_2), con el dióxido de carbono (CO_2) y también, aunque el precipitado que se forma no es tan insoluble, en presencia de dióxido de nitrógeno y de amoníaco, en menor cantidad.

8) El cromato de potasio (solución de color amarillo) se reduce a cromo (III) (solución de color verde) en presencia de dióxido de nitrógeno (NO_2) y de dióxido de azufre (SO_2).

9) Con el sulfato de cobre, el amoníaco forma el compuesto de coordinación azul característico y precipita con el CO_2 .

10) El sulfito es oxidado a sulfato con el cloro y este sulfato puede ser detectado añadiendo disolución de cloruro de bario (precipitado blanco).

Es conveniente plantear al alumnado la actividad en forma de problema a resolver. El problema que se presenta a los alumnos es la diferenciación entre los cinco gases generados

11) La disolución de yodo se decolora, reduciéndose el yodo a yoduro en presencia de dióxido de azufre (SO_2), que es oxidado a sulfato. También se decolora en presencia de dióxido de nitrógeno y cloro, pero esto no ocurre con el dióxido de carbono y con el amoníaco, que sólo tienen propiedades ácido-base.

12) La solución de permanganato (color violeta) se decolora en presencia de dióxido de azufre (SO_2) y de dióxido de nitrógeno (NO_2); en presencia de cloro, aparece un color marrón oscuro por cambio del pH.

Los resultados obtenidos se resumen en la tabla siguiente:

Los resultados mostrados en la tabla 2 son los que se muestran en las figuras 1 a 5.

Aplicaciones y reflexión sobre su uso en el aula

Este trabajo experimental de generación de gases permite detectar fácilmente cinco gases diferentes de una forma rápida y segura, además de muy barata. Los profesores pueden mostrar las propiedades específicas de cada uno de estos gases y los estudiantes, en base a los cambios observados, deben interpretar las reacciones que han tenido lugar e identificar cada uno de los gases formados.

Es conveniente plantear al alumnado la actividad en forma de problema a resolver. El problema que se presenta a los alumnos es la diferenciación entre los cinco gases generados. Cada alumno o cada grupo de alumnos, según se decida llevar a cabo la actividad, produce e intenta identificar cada uno de los cinco gases. En grupo, la actividad se gestiona de manera que cada alumno genere e intente identificar un solo gas y que, mediante el intercambio de los resultados con los otros alumnos del grupo que han trabajado los demás gases, se establezca un diálogo de discusión de evidencias experimentales y de interpretación de las mismas para llegar a la identificación de los cinco gases.

Para facilitar la recogida de datos por parte del alumnado, puede ser conveniente suministrar alguna tabla o discutir conjuntamente la mejor manera de recoger y ordenar los datos experimentales. En función de los objetivos con que se realice la actividad, puede darse un mayor o menor grado de autonomía al alumnado a lo largo del desarrollo de la actividad y puede facilitarse un distinto grado de orientación, una mayor o menor información respecto a las reacciones de producción e identificación de gases, estrategias para la identificación, etc. Generalmente, es con-

Tabla 3. Propuesta de tabla para la sistematización de observaciones realizadas durante el experimento

Indicador	Observaciones iniciales	Características del gas	Cambios	Notas
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				

veniente la elaboración de algún tipo de presentación de resultados y conclusiones (informe, presentación, etc.).

Puede subministrarse a los alumnos una hoja de trabajo con una tabla (tabla 3) para recopilar sus observaciones.

La propuesta de trabajo se ha utilizado con dos grupos de estudiantes, los alumnos de las olimpiadas de química y los alumnos del tercer semestre de la licenciatura, y, en ambos casos, los resultados han sido satisfactorios, ya que permite el manejo seguro de gases e implica costos muy accesibles a cualquier institución.

Esta actividad práctica se ha realizado con los alumnos de la materia Química inorgánica de las licenciaturas de la Facultad de Química. Los alumnos que realizaron esta actividad en el aula obtuvieron resultados satisfactorios tanto en la producción como en la identificación de los gases; sus comentarios y su actitud mostraron una valoración positiva.

La actividad se utilizó también para las pruebas de las olimpiadas nacionales de química; la realizaron un total de ciento noventa y dos estudiantes. En base a los resultados obtenidos, se seleccionaron dieciséis estudiantes nacionales para ingresar en una segunda etapa de evaluación, en la cual se seleccionaron cuatro estudiantes para las olimpiadas a nivel internacional.

Recientemente, la actividad práctica se ha aplicado a seis grupos de estudiantes de las diferentes carreras que ofrece la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de México, con un total de cincuenta y siete alumnos de tercer semestre. En este caso, se obtuvieron mejores resultados, ya que estos alumnos tienen más conocimientos y disponen de más tiempo (3 h) y de investigación previa de las propiedades y carac-

La dificultad que se ha presentado en ambos tipos de estudiantes recae en la recopilación y la interpretación de los cambios observados

terísticas de los gases propuestos. El 88 % de los alumnos identificó acertadamente el gas asignado y únicamente un porcentaje pequeño erró al dar el resultado aun cuando experimentalmente obtuvieron los resultados correctos, los cuales no supieron sistematizar e interpretar, a veces, por no seguir los consejos y las orientaciones de la actividad.

La dificultad que se ha presentado en ambos tipos de estudiantes recae en la recopilación y la interpretación de los cambios observados.

Bibliografía

- CROUCH, R. D. (2002). «Microscale chemistry in a plastic dish: Preparation and chemical properties of chlorine gas». *J. Chem. Ed.*, 79(8): 992-993.
- GRUVBERG, C. (2005). «Experimentos en microescala». En: *Material de apoyo a curso taller*. México DF: Universidad Autónoma de México. Facultad de Química, p. 17.
- MATTSON, B.; ANDERSON, M.; MATTSON, S. (2005). *Microscale gas chemistry*. 3ª ed. Norwalk: Educational Innovations.
- MULLER, C. G.; HERNÁNDEZ-CHACÓN, J. C. (2009). *Examen práctico de química inorgánica: Olimpiada Nacional de Química 2009*. Campeche. [Documento privado.]
- OBENDRAUF, V. (2006). *Teaching chemistry with microscale: Handout for the microscale gas reaction kits 1*. 19th BCCE Purdue University. Viena. [Documento privado.]
- RUIZ MENDOZA, R. (2003). «Síntesis y análisis cualitativo de gases», p. 1-10. [Documento privado.]



Graciela Edith Muller-Carrera

es profesora de carrera titular C a tiempo completo definitivo desde 1967. Ha impartido cursos experimentales de química inorgánica y diversos cursos de química general y ha participado en la acreditación de las carreras y en el diseño de programas. Imparte cursos en la maestría de educación media superior y es tutora de alumnos de primer ingreso y de PRONABE. Ha participado en la formación de profesores de la Facultad de Química, ha dirigido tesis de licenciatura y de maestría y colabora en proyectos de corte educativo y de investigación. Se dedica al diseño de material didáctico de bajo costo y a microescala para fomentar el ahorro de reactivos. Es editora de cuatro libros de diferentes niveles educativos.

C. e.: muller@servidor.unam.mx



Adolfo Rivero-Muller

estudió Biología en la Universidad Simón Bolívar de México DF, donde suspendió Química Inorgánica. Hizo su tesis en la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de México, en el Laboratorio de Bioinorgánica. Obtuvo una beca y con ella completó su doctorado en Biología Molecular en la Universidad de Surrey (Gran Bretaña). Hizo un postdoctorado en señalamiento celular en el Centro de Biotecnología de Turku, Finlandia, hasta el año 2002, y desde entonces trabaja como investigador en el Instituto para la Biomedicina.

C. e.: adoriv@utu.fi