

La química que se esconde en las tabletas efervescentes

The chemistry concealed in effervescent tablets

Fernando I. de Prada Pérez de Azpeitia*

Grupo Especializado de Didáctica e Historia de la Física y Química (RSEF y RSEQ)

PALABRAS CLAVE:

Tabletas efervescentes
Antiácidos
Gravimetría
Estequiometría
Reactivo limitante

RESUMEN:

Las tabletas efervescentes son comprimidos que contienen reactivos ácidos y básicos que, al combinarse con agua, interaccionan rápidamente mediante una reacción de neutralización, liberando dióxido de carbono gaseoso. Proporcionan una forma eficaz de tomar medicamentos y suplementos debido a que se distribuyen de forma más rápida y uniforme que las pastillas convencionales, lo que favorece su absorción y acción. En este artículo se tratan aspectos como las características de las tabletas efervescentes, los procesos de elaboración y de actuación, y un método de análisis cuantitativo (gravimetría) para determinar su composición. Las tabletas efervescentes, además de un interesante recurso didáctico, son un buen ejemplo de aplicaciones de la química relacionadas con la salud, la higiene y el bienestar general.

KEYWORDS:

Effervescent tablets
Antacids
Gravimetry
Stoichiometry
Limiting reagent

ABSTRACT:

Effervescent tablets are lozenges containing acidic and basic reagents which, when combined with water, quickly interact via a neutralization reaction, releasing gaseous carbon dioxide. They offer an efficient method of taking medications or supplements because they are distributed more quickly and evenly than conventional pills, resulting in faster absorption and action. This article covers such aspects as the characteristics of effervescent tablets, the manufacturing and acting process, and a quantitative analysis method (gravimetry) to determine their composition. In addition to being an interesting teaching resource, effervescent tablets are a good example of chemistry applications related to health, hygiene and general well-being.

Introducción

“La química del laboratorio y la química de nuestro cuerpo obedecen a las mismas leyes”.

(Claude Bernard, fundador de la medicina experimental).

Las tabletas efervescentes son un ejemplo cotidiano de las aplicaciones de la química en sectores como la medicina, la salud y el bienestar. El término efervescencia procede del latín *fervere*, que significa hervir, debido a la semejanza con el efecto del burbujeo que se produce en la ebullición y al disolver la tableta en agua. Las primeras preparaciones efervescentes datadas se utilizaron hace más de dos siglos, en forma de polvo, como sales catárticas (purgantes).^[1] Ya en el siglo XX fueron popularizadas por la marca Alka-Seltzer® como una forma fácil de ingerir un medicamento que neutralizase la acidez del estómago y aliviase el dolor. En su composición inicial, incluían ácido acetil salicílico, bicarbonato de sodio (hidrogenocarbonato de sodio) y un ácido orgánico. Las tabletas efervescentes presentan la ventaja de acelerar la disolución del principio activo, facilitando su rápida absorción y mejorando su efecto en el organismo.

Actualmente, las tabletas efervescentes comerciales contienen sustancias químicas muy variadas: medicamentos (antiácidos, analgésicos), suplementos nutricionales y electrolíticos

(vitaminas, minerales), tensioactivos para la higiene de férulas y dentaduras postizas, detergentes para la limpieza del hogar y aceites esenciales para elaborar bombas relajantes para baño.

Desde el punto de vista didáctico las tabletas efervescentes han sido utilizadas con diferentes objetivos, p. ej., analizar la influencia de la temperatura sobre la velocidad de reacción y calcular la energía de activación,^[2] ilustrar una reacción química en la que se forman gases, comprobar la ley de conservación de la masa recogiendo el CO₂ en un globo acoplado a un matraz, etc.^[3] En este artículo se analiza el proceso de elaboración, la composición y el efecto de las tabletas efervescentes, concretamente las de acción antiácido, junto a diversas experiencias que pueden ser provechosas, tanto para el docente como para el discente.

¿Qué es una tableta efervescente?

En farmacología, pastilla, comprimido y tableta son términos utilizados para referirse a la forma sólida de un medicamento que se suministra por vía oral para suministrar el principio activo (sustancia química responsable de las propiedades farmacológicas). El componente principal se encuentra mezclado con los excipientes (sustancias inactivas que tienen como finalidad mejorar la liberación, absorción, estabilidad, consistencia, sabor,

etc. del principio activo). Las pastillas más grandes y cilíndricas son las tabletas efervescentes que, cuando se encuentran disueltas en agua, se caracterizan por la formación del gas dióxido de carbono como resultado de una reacción de neutralización entre hidrogenocarbonato, o carbonato, de sodio y un ácido orgánico (ácido cítrico o tartárico).

Inicialmente, los comprimidos efervescentes se elaboraban de forma manual, mezclando el ingrediente activo con los excipientes y moldeándolos para conseguir el formato deseado. La revolución industrial, con el empleo de nuevas máquinas y tecnologías, permitió la producción en masa. Actualmente, la técnica más utilizada en la industria farmacéutica y alimentaria para fabricar tabletas duras y consistentes es la granulación. Durante este proceso, las pequeñas partículas en forma de polvo de los diferentes sólidos (granos) se mezclan y fusionan para formar estructuras más grandes y uniformes (gránulos). Si la granulación es por vía húmeda, se añade un líquido aglutinante para favorecer la cohesión entre las partículas. Esta tecnología se puede resumir en las etapas que se ilustran en la figura 1.^[4]



Figura 1. Etapas del proceso de granulación por vía húmeda (figura extraída de la ref. [4]).

1º. Preparación. Los componentes en forma de polvo (fármacos y excipientes: ácidos, bases, lubricantes, antiespumantes...), se mezclan dentro de una cámara giratoria para formar una mezcla homogénea.

2º. Humectación. Mientras se agita la mezcla, se rocía con una pequeña cantidad de líquido aglutinante para que los granos se disuelvan parcialmente y comiencen a unirse (coalescencia). Si el líquido es agua, se añaden pequeñas cantidades (<1 %) con el fin de minimizar la reacción de pre-efervescencia. Por la misma razón, en todas las etapas de la elaboración se regula la humedad relativa del aire (< 25 %).

3º. Aglomeración. Debido a la polaridad de la molécula de agua, existen fuerzas de atracción intermoleculares entre moléculas de agua y en la interfase líquido-sólido. A causa de las fuerzas de adhesión y cohesión, se crean uniones temporales (*puentes húmedos*) entre las partículas, formando gránulos de mayor tamaño, un requisito previo a la formación de uniones permanentes (*puentes sólidos*) al reducir la humedad.^[5]

4º. Secado y moldeado. Los gránulos húmedos se introducen en un secadero de lecho fluido hasta reducir el contenido en agua por debajo del 0,5 %.^[6] Como resultado, se crea una estructura compacta, estable y resistente a la fractura. A continuación, la mezcla se comprime en moldes para reducir el área superficial y obtener la forma y el tamaño deseado.

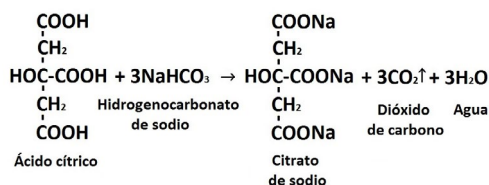
Una vez formados los comprimidos efervescentes se empaquetan asegurando su correcta conservación. Para este fin se utilizan tubos de aluminio con tapones que contienen gel de sílice como desecante, o blísters de papel de aluminio, un material impermeable al agua, luz y oxígeno.

Para garantizar la calidad de las tabletas efervescentes, se realizan controles semejantes a los de otro tipo de comprimidos farmacológicos. Entre los parámetros analizados se encuentran los siguientes: uniformidad (peso total, contenido de ingredientes, aspecto), efervescencia (tiempo de desintegración en agua), pH (acidez estable), friabilidad (resistencia a desmenuzarse), dureza y espesor, propiedades organolépticas (color, aroma, sabor...) y dióxido de carbono generado.^[7]

- Fabricación manual de tabletas efervescentes

La preparación de tabletas efervescentes puede realizarse manualmente como una sencilla práctica de laboratorio, apta para todos los niveles. El método está basado en la granulación húmeda, empleando reactivos y materiales cotidianos: ácido cítrico anhidro, hidrogenocarbonato de sodio, agua, vaso de precipitados, espátula y molde de silicona.^[8]

Si se desea preparar cantidades estequiométricas, hay que realizar previamente los cálculos para determinar las cantidades exactas de reacción entre el ácido cítrico y el hidrogenocarbonato, a partir de la ecuación ajustada:



La cual indica que la proporción molar entre el NaHCO_3 y el ácido cítrico es de 3:1, lo que significa que 252 g de hidrogenocarbonato reaccionarán con 192 g del ácido.

Una vez pesadas las proporciones adecuadas de los reactivos se añaden a un vaso donde se mezclan. A continuación, con un pulverizador, se rocían pequeñas gotas de agua sobre la superficie y se remueve bien la mezcla, proceso que hay que repetir varias veces hasta que formar un agregado que se pueda compactar y moldear con facilidad. La tensión superficial del agua, que rodea los granos y rellena los espacios vacíos, favorece la agregación. Es importante no añadir mucha agua para que no se produzca la pre-efervescencia. En este punto, las propiedades físicas de la mixtura se han modificado, ahora presenta plasticidad y puede ser moldeable. Para obtener la forma cilíndrica de tableta, se introduce la mezcla en un molde de silicona y se compacta, con ayuda de una espátula, dejándola reposar un par de horas (Fig. 2).



Figura 2. Tabletás efervescentes elaboradas de forma manual.

Las tabletas resultantes pueden ser aprovechadas con fines didácticos, como los ya citados en la introducción, o para elaborar una bebida carbonatada refrescante.^[9]

Con este procedimiento es posible preparar tabletas de diferente composición a los comprimidos distribuidos por las farmacias, de forma que cualquiera de los dos reactivos se pueda encontrar en exceso. De esta forma se facilita la preparación de distintas experiencias de análisis cuantitativo que tienen como objetivo deducir el reactivo limitante y su porcentaje, como la que se describe en otro apartado para una tableta Alka-Seltzer®.

Tabletas antiácido efervescentes

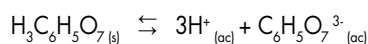
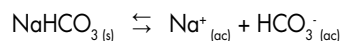
Tradicionalmente, el bicarbonato de sodio comercial ha sido utilizado como un remedio rápido y casero para combatir la acidez gástrica. Cuando el exceso de ácido clorhídrico (HCl) entra en contacto con los nervios de la capa interna del estómago, originan una señal desagradable (ardor o pirosis) en el sistema nervioso central. Según la Fundación Española del Aparato Digestivo, la acidez es un síntoma común en la población: un 30 % de los españoles sufre acidez de estómago una vez a la semana a causa de malos hábitos alimentarios, sobrepeso o estrés.^[10]

Actualmente, los fármacos para combatir la hiperacidez gástrica se encuentran entre los medicamentos más vendidos en el mundo. En el mercado se encuentran disponibles diferentes formulaciones que, según su mecanismo de actuación, se pueden clasificar en dos grupos:

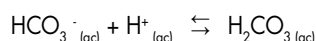
- Neutralizadores de la acidez: bicarbonato de sodio (Alka-Seltzer®), hidróxido de magnesio (Leche de magnesio®) e hidroxicarbonato de aluminio y magnesio (Almax®),
- Inhibidores de la bomba de protones (Omeoprazol®), que reducen la producción de ácido gástrico.

Las tabletas antiácido que contienen como principio activo hidrogenocarbonato de sodio (mejor fuente de CO₂ que el carbonato), incluyen generalmente ácido cítrico anhidro (muy soluble y de sabor agradable) como excipiente necesario para producir la efervescencia. Ambas sustancias no reaccionan entre sí cuando se encuentran en estado sólido, la cinética de la reacción es tan lenta que no se producen colisiones eficaces que rompan los enlaces iniciales y superen la energía de activación.

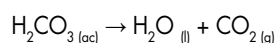
Para que la reacción se produzca de forma rápida es necesario la acción del agua, que disuelva y ionice a los reactivos, al igual que sucede en los seres vivos para que se produzcan los procesos metabólicos:



Un vez disueltos los aniones HCO₃⁻ reaccionan con los cationes oxonio H₃O⁺, simplificando H⁺) formando H₂CO₃.



El ácido carbónico es muy inestable y se descompone rápidamente formando agua y dióxido de carbono:

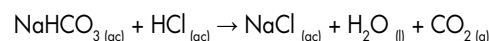


Las tabletas incluyen otros excipientes que no interfieren en la reacción, p. ej., aspartamo (E-951), manitol (E-421), acesulfamo potásico, amiflex (compuesto por aminoácidos, ácido glutámico y cloruro de sodio), esencias y aromatizantes (lima-limón, naranja y/o vainilla), etc.

Mecanismo de actuación en el estómago

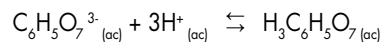
Las células que recubren el interior del estómago segregan sustancias que actúan protegiendo el tejido epitelial, como el hidrogenocarbonato de sodio y la mucina, que forman la capa de mucosa. También liberan otras secreciones más agresivas: ácido clorhídrico y pepsinógeno (enzima inactiva o zimógeno), que en medio ácido (pH entre 1-2) se transforma en pepsina, una enzima que hidroliza los enlaces peptídicos de las proteínas.^[11]

Cuando la bomba de protones de las células parietales gástricas segrega un exceso de ácido clorhídrico en el tracto gastrointestinal, el exceso de hidrogenocarbonato sódico que ha llegado al estómago, procedente de la tableta, lo neutraliza. Los iones HCO₃⁻ y Na⁺ se combinan con los iones H₃O⁺ y Cl⁻ generados por el ácido gástrico, formando cloruro de sodio, dióxido de carbono (gas que provoca eructación) y agua:



Este proceso disminuye la concentración de iones oxonio en el estómago, lo que rebaja la acidez y equilibra el pH a un valor próximo a 3,5 lo que proporciona un alivio de las molestias gástricas. Del estómago al intestino delgado, la acidez disminuye alcanzando valores de pH entre 6 y 7,4.^[12]

Por otro lado, el ion citrato (base conjugada del ácido cítrico) actúa como antiácido,^[13, 14] formando una solución amortiguadora (Buffer o tampón) con el ácido débil de procedencia, según el equilibrio:



Según el principio de Le Chatelier, el equilibrio se desplazará de forma que contrarreste el aumento de la concentración de iones oxonio causado por el ácido clorhídrico gástrico, lo que contribuye a reducir la acidez y aumentar el pH (Fig. 3).

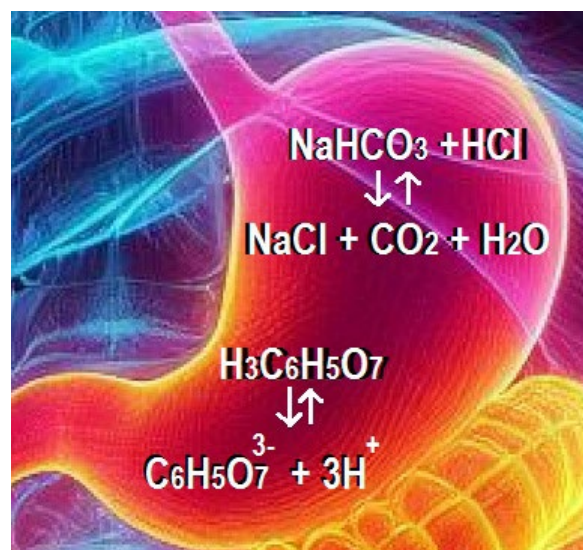


Figura 3. Procesos químicos implicados en la neutralización de la acidez estomacal.

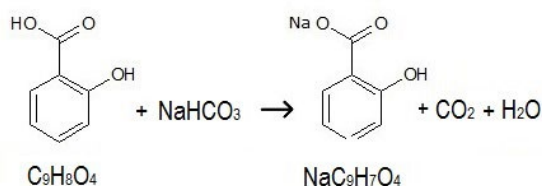
Análisis de una tableta Alka-Seltzer®

El análisis que se presenta es una alternativa a otros basados en el cálculo del porcentaje de hidrogenocarbonato en las tabletas antiácido efervescentes de Alka-Seltzer®.^[15] Como esta cantidad ya se indica en el prospecto del fármaco, el objetivo es determinar (mediante gravimetría) la cantidad de CO₂ desprendido, el reactivo limitante y, por estequiometría, la masa de ácido cítrico (Fig. 4).



Figura 4. Formato de los comprimidos efervescentes Alka-Seltzer®.

La tableta analizada no contiene ácido acetilsalicílico (C₉H₈O₄). En caso contrario, habría que tener en cuenta que el grupo carboxilo de la molécula aportaría más cationes H₃O⁺ para reaccionar con el hidrogenocarbonato de sodio y se formaría más ácido carbónico, aumentando la cantidad de CO₂ desprendido, según la ecuación:



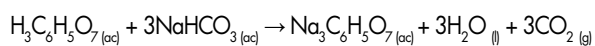
Objetivos

- Determinar la cantidad de CO₂ que desprende una tableta aplicando un método de análisis cuantitativo.
- Determinar experimentalmente el reactivo limitante.
- Calcular la cantidad y el porcentaje en masa de ácido cítrico mediante cálculos estequiométricos.
- Calcular la masa y el porcentaje de hidrogenocarbonato de sodio presente en la tableta.

¿Cuánto dióxido de carbono desprende una tableta?

Uno de los controles de calidad de las pastillas efervescentes es la medida del dióxido de carbono liberado. Para ello, se utilizan diferentes métodos (gravimetría, volumetría, gasometría, colorimetría, etc). La gravimetría es la técnica cuantitativa más antigua de la química analítica, basada en la variación que tiene lugar entre la masa de los reactivos y la de los productos durante una reacción. Este es el caso de la medida de la masa de un producto gaseoso a partir de la disminución en la masa de una tableta de antiácido (gravimetría de volatilización). Este método es el más sencillo y realizable en todos los niveles.

Durante la reacción de neutralización entre el ácido y la base se libera CO₂, gas que escapa del sistema, por lo que la reacción es irreversible y se produce hasta que uno de los reactivos se consume totalmente. Durante este proceso se absorbe energía (ΔH° = 809 kJ/mol), según la ecuación:



Procedimiento experimental

En una balanza, de sensibilidad 0,001 g, pesar un vaso de plástico con 45 mL de agua destilada a temperatura ambiente (≈ 25 °C). Por otro lado, pesar una pastilla de Alka-Seltzer®.

- Retirar el vaso de la balanza e introducir la pastilla para que se inicie la reacción.
- Con un agitador, remover la disolución suavemente durante unos minutos, sin derramar líquido, hasta que la reacción finalice y no se formen ni observen burbujas (acercar el oído para comprobarlo).
- Colocar el vaso en la balanza y anotar la masa final.

Como curiosidad, se observa que la tableta se hunde al introducirla en el agua, debido a su mayor densidad. Sin embargo, en el transcurso de la reacción llega el momento en que asciende hasta la superficie: su masa habrá disminuido lo suficiente para que las burbujas atrapadas en las oquedades de la tableta ejerzan una fuerza de empuje que venza a la gravitacional.

Resultados y conclusiones

Aplicando la ley de conservación de la materia, la disminución de la masa del sistema deberá ser igual a la masa que se forma del gas CO₂ y que se libera a la atmósfera. En una de las experiencias realizadas (Fig. 5), la masa inicial (suma de la masa del vaso con agua y de la tableta) resultó ser de 49,712 g y la masa final de 49,026 g, lo que indica una disminución en la masa de 0,686 g.

$$\Delta m = m_{\text{final}} - m_{\text{inicial}} = -0,686 \text{ g}$$



Figura 5. Variación de la masa al disolverse la tableta efervescente.

Una parte del CO₂ generado en la reacción se disuelve en el agua y no se libera a la atmósfera. Para calcular la cantidad de CO₂ disuelto en los 45 mL de agua, hay que tener en cuenta su solubilidad, 0,033 mol CO₂/L H₂O, a 25 °C.

$$n^{\circ} \text{ moles CO}_2 = 45 \text{ mL} \cdot \left(\frac{0,033 \text{ mol CO}_2}{1000 \text{ mL}} \right) \cdot \left(\frac{44 \text{ g CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2} \right) = 0,065 \text{ g CO}_2$$

La suma de ambas masas de CO₂, la liberada y la disuelta en agua, indica la masa total de gas que se ha generado:

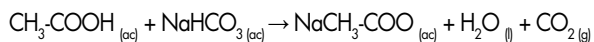
$$m_{\text{Total}} = m_{\text{CO}_2 \text{ disuelto}} + m_{\text{CO}_2 \text{ liberado}} = 0,065 \text{ g} + 0,686 \text{ g} = 0,751 \text{ g}$$

¿Cuál es el reactivo limitante?

Como no es conocida la masa de ácido cítrico que contiene cada tableta, a priori no se sabe si se encontrará en exceso, y

todo el hidrogenocarbonato de sodio reaccionará, o si será el reactivo limitante, y quedará una parte de la sal sin reaccionar. Para averiguarlo, añadimos más cantidad de ácido. Por ejemplo, 5 mL de vinagre comercial (disolución de ácido acético, o etanoico, $\text{CH}_3\text{-COOH}$).

- Si el ácido cítrico fuese el limitante, se desprendería más gas de dióxido de carbono, según la ecuación:



- Por el contrario, si el ácido cítrico fuese el reactivo en exceso, aunque se añada más ácido acético no se desprendería más CO_2 , el NaHCO_3 habría reaccionado totalmente y sería el reactivo limitante (Fig. 6).

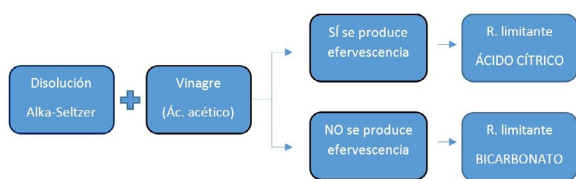


Figura 6. Esquema del procedimiento para identificar al reactivo limitante.

Si en vez de añadir vinagre, se añadiesen unos gramos de hidrogenocarbonato de sodio, la ausencia de burbujeo confirmaría que el ácido cítrico es el reactivo limitante.

-Conclusiones y cálculo del % de ácido cítrico

Al añadir vinagre a la disolución del antiácido, se observa la formación de nuevas burbujas de CO_2 , indicando que contenía NaHCO_3 sin reaccionar. El nuevo desprendimiento de gas es una evidencia de que en la tableta analizada el hidrogenocarbonato de sodio es el reactivo que se encuentra en exceso y el ácido cítrico el reactivo limitante.

Conocido el reactivo limitante se puede determinar mediante cálculos estequiométricos la masa de ácido cítrico:

$$0,751 \text{ g CO}_2 \cdot \left(\frac{1 \text{ mol CO}_2}{44 \text{ g CO}_2} \right) \cdot \left(\frac{1 \text{ mol C}_9\text{H}_8\text{O}_4}{3 \text{ mol CO}_2} \right) \cdot \left(\frac{192 \text{ g C}_9\text{H}_8\text{O}_4}{1 \text{ mol C}_9\text{H}_8\text{O}_4} \right) = 1,092 \text{ g C}_9\text{H}_8\text{O}_4$$

Y con la masa total de la tableta (3,292 g), el porcentaje de ácido cítrico:

$$\% \text{ C}_9\text{H}_8\text{O}_4 = \left(\frac{m_{\text{Ácido}}}{m_{\text{Tableta}}} \right) \cdot 100 = \left(\frac{1,092 \text{ g}}{3,292 \text{ g}} \right) \cdot 100 = 33,2 \%$$

Cabría preguntarse, ¿por qué razón no se encuentran los reactivos en cantidades estequiométricas? Los químicos farmacéuticos determinan las proporciones del medicamento de forma que el NaHCO_3 se encuentre en exceso, asegurándose que no se agote durante la neutralización en el vaso con agua y que haya suficiente al llegar al estómago. Así, el principio activo puede ser eficaz en la neutralización de los ácidos responsables de la acidez y ardor estomacal.

-Análisis de errores

Aunque no se conozca el dato exacto de la masa de ácido cítrico de la tableta, en otras tabletas del mismo efecto y fabricante se indica que contienen 1000 mg de ácido cítrico.^[16] Suponiendo que esta cantidad sea la misma que la contenida en la tableta analizada, es posible determinar el error relativo y la exactitud del resultado obtenido.

El principal error que afecta al resultado radica en la media del gas desprendido, que depende en buena medida de la sensibilidad y precisión de la balanza. Otros errores sistemáticos están relacionados con el procedimiento. Por ejemplo, la evaporación del agua, las pequeñas gotas que pueden salir salpicadas del recipiente durante la efervescencia y no esperar suficiente tiempo para que se desprenda todo el dióxido de carbono.

Determinación del porcentaje de bicarbonato de sodio

Como complemento al análisis realizado, se incluye la determinación experimental del porcentaje de hidrogenocarbonato de sodio. El procedimiento es semejante al anteriormente descrito, pero empleando distintas proporciones de agua y vinagre. En la primera mezcla se añaden 5 mL de vinagre a 40 mL de agua, en la siguiente 10 mL de vinagre a 30 mL de agua, y así sucesivamente, aumentando 5 mL de vinagre cada vez de forma que el volumen final de la disolución sea siempre de 45 mL. Los resultados obtenidos en una de las experiencias realizadas se representan en la siguiente gráfica (Fig. 7):

En la gráfica se observa que la masa de CO_2 desprendida

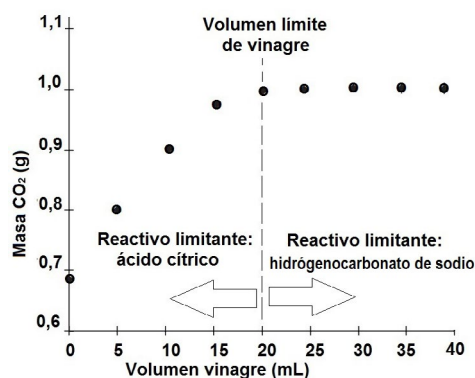


Figura 7. Gráfica de la masa de dióxido de carbono generado vs. volumen de vinagre añadido.

aumenta al hacerlo la cantidad de vinagre que contiene la muestra, hasta alcanzar un valor límite a partir del cual permanece constante. Por debajo de este volumen de vinagre, el ácido cítrico es el reactivo limitante. Por encima, el NaHCO_3 se convertirá en el reactivo limitante y ya no aumentará la cantidad de dióxido de carbono desprendido, permaneciendo constante por más vinagre que se añada. El CO_2 generado solo es proporcional a la cantidad de NaHCO_3 de la tableta. Como este tiene un valor fijo, una vez que ha reaccionado todo, la cantidad de gas muestra un valor constante. Como resultado, se confirma que el ácido cítrico es el reactivo limitante, ya que al añadir más cantidad de ácido etanoico, aumenta la masa de CO_2 generada, algo que no sucedería si se encontrase en exceso.

Conocida la masa de gas desprendido en cada experiencia, y por estequiometría, se determina la cantidad de NaHCO_3 que ha reaccionado en cada caso. Cuando adquiera un valor constante, indicará la cantidad de esta sal que contienen las tabletas. Con esta masa y la masa total de la tableta se obtiene el porcentaje de hidrogenocarbonato de sodio y, a partir del dato del prospecto, se determina el porcentaje de error.

Conclusiones

Los procesos relacionados con las tabletas efervescentes (elaboración, reacciones, efectos, análisis) son un sencillo e interesante recurso para la didáctica de la química, basado en

contenidos que aparecen en los currículos actuales de Física y Química del segundo ciclo de la ESO y del Bachillerato (formulación y nomenclatura, ecuaciones químicas, estequiometría, reacciones ácido-base, técnicas de laboratorio...), en diferente grado de profundidad. El hecho de que no intervengan principios activos complejos ni nocivos hace posible, de una forma fácil y segura, analizar las reacciones de neutralización y poner en práctica una técnica de análisis cuantitativo. Asimismo, son un buen ejemplo de la aplicación de la química en el sector farmacéutico, fundamental para el desarrollo de medicamentos que mejoren la salud y la calidad de vida de las personas. En resumen, este recurso favorece la adquisición de competencias claves, como la descripción de reacciones de interés y la valoración positiva de la química en la sociedad.

Bibliografía

- [1] G. Bertuzzi en *Handbook of Pharmaceutical. Granulation Technology* (Ed. D.M. Parikh), Taylor-Francis Group, **2005**, pp. 374-375.
- [2] G. Pinto. *Education in Chemistry* **2000**, 37, 71-81.
- [3] J. M. Vera, A. Cabrera, J. Pérez, A. Salazar. *Lat. Am. J. Phys. Educ.* **2010**, 4(1), 1009-1014.
- [4] Chumillas Technology "Entendiendo el proceso: Granulación", disponible en <https://www.chumillastechnology.com/blog/en-que-consiste-el-proceso-de-granulacion/>, (consultado 01/03/2025).
- [5] M. E. Aulton, K. M. Taylor. *Aulton's Pharmaceutics. The Design and Manufacture of Medicines*, Elsevier. **2021**, pp. 484-486.
- [6] S.G. Patel, M. Siddaiah. *J. Drug Delivery Ther.* **2018**, 8(6), 296-303, <https://doi.org/10.22270/jddt.v8i6.2021>.
- [7] K.G. Vanhere, D.V. Derle, S.B. Khatale, S.L. Nangude. *J. Drug Delivery Ther.* **2023**, 13(7), 141-150, <http://dx.doi.org/10.22270/jddt.v13i7.6120>.
- [8] M. E. Harris, B. Walker. *J. Chem. Educ.* **2003**, 80, 1416. <https://doi.org/10.1021/ed080p1416A>.
- [9] B. Rohrig. *J. Chem. Educ.* **2000**, 77, 1608. <https://doi.org/10.1021/ed077p1608A>.
- [10] "Fundación Española del Aparato Digestivo (FEAD)", disponible en <https://www.saludigestivo.es>, **2025** (consultado: 01/01/2025).
- [11] V. Garg, P. Narang, R. Taneja. *J. Int. Med. Res.* **2022**, 50(3), 1-22. <https://doi.org/10.1177/03000605221086457>.
- [12] J. Fallingborg. *Danish Medical Bulletin* **1999**, 46(3), 183-196.
- [13] N. Friedman. *J. Chem. Educ.* **1975**, 52(9), 605. <https://doi.org/10.1021/ed052p605>.
- [14] B. Z. Shkhashiri. *Chemical Demonstrations: A Handbook for Teachers of Chemistry*, vol. 3, **1989**, pp. 186-187.
- [15] Y. H. Chen, J. F. Yaung. *J. Chem. Educ.* **2002**, 79(7), 848-850.
- [16] "Alka-Seltzer® Heartburn Relief Extra Strength Effervescent Tablets", disponible en <https://www.alkaseltzer.com/products/extra-strength>, **2025** (consultado: 01/03/2025).



Fernando I. de Prada Pérez de Azpeitia

Grupo Especializado de Didáctica e Historia de la Física y la Química (RSEF y RSEQ)

Ce: fernando.pradaperez@educa.madrid.org
ORCID: 0000-0002-4897-2082

Profesor de Física y Química en la Comunidad de Madrid y miembro del GEDH (RSEQ/RSEF) y de la DEDF (RSEF). Participa de forma activa en eventos de divulgación científica: Feria Madrid es Ciencia, Ciencia en Acción, El Pati de la Ciència (Universidad de Alicante), ConCiencia (Círculo de Bellas Artes de Madrid), Jornadas de Divulgadores de Ciencia (DDD), etc. Entre sus colaboraciones se encuentran diversas instituciones y empresas: Aula Mentor (MEFPD), Centro de Innovación y Formación del Profesorado de la Comunidad de Madrid (CTIF), Grupo Editorial SM, Parque de Atracciones de Madrid, Real Sociedad Española de Química, Real Sociedad Española de Física y Museo Nacional del Prado.