

1º SEMESTRE 2026

Nº8 VOLUMEN 1

GALICIA QUÍMICA



ASOCIACIÓN DE
QUÍMICOS DE GALICIA



**Colexio Oficial de
Químicos de Galicia**

Colegio Oficial de Químicos de Galicia

GALICIA QUÍMICA



Colegio Oficial de
Químicos de Galicia



ASOCIACIÓN DE
QUÍMICOS DE GALICIA

Revista del Colegio Oficial de
Químicos de Galicia
1º Semestre 2026
Volumen 8, nº 1

ISSN 2659-3726

El contenido de los artículos es propiedad y responsabilidad de cada autor

www.colquiga.org/revista-galicia-quimica

Edita: COLQUIGA

Comité Editorial:

Manuel Rodríguez Méndez

Pastora M. Bello Bugallo

Maquetación y Diseño:

Fabiola Ramírez Gradilla

Índice

Editorial 3

Economía Circular

Edificación construida con botellas PET:

Una casa muy avanzada 6

Metodologías Docentes

Análisis de Alimentos: Enfoque CTS en la Licenciatura
en Ciencias Naturales y Educación Ambiental 20

Aprender y comprender los polímeros mediante la técnica
de electrospinning: aplicaciones de interés tecnológico 26

¿Con qué pinta la naturaleza a las flores? 31

Colorantes Naturales como Indicadores de pH 35

El hidrógeno como herramienta educativa:
aprendizaje práctico para los ingenieros
energéticos del futuro 41

Fotoquímica: cuando la naturaleza inspira las soluciones
que iluminan nuestro futuro..... 44

Práctica de laboratorio: cinética de la reacción
entre el tiosulfato de sodio y el ácido clorhídrico 52

Determinación de la composición mayoritaria (propano,
isobutano y n-butano) de un propelente hidrocarburo por
cromatografía de gases-ionización de flama (GC-FID). 57

Determinación de los calores de reacción de combustión
y de formación de la sacarosa, mediante una práctica
virtual de laboratorio de química. 63

Homenaje

Pelayo Rubido Muñiz - El impulsor de las
Olimpiadas de Química en España. 68

Un colegio profesional,



Manuel Rodríguez Méndez
*Decano - Presidente del Colegio y
Asociación de Químicos de Galicia.*

Los colegios profesionales



Asociación de
Químicos de Galicia

XLIII Olimpiada



Colexio Oficial de
Químicos de Galicia

Galega de Química

13 de Marzo

Sedes

Santiago Lugo
Vigo A Coruña Ourense

Pelayo Rubido

Pontevedra 1942

químico especializado en Orgánica por la UCM y diplomado por el CSIC en Plásticos y Caucho; desarrolló su carrera profesional como Director Técnico en una fábrica de adhesivos industriales vinculada a la automoción, fundó una asesoría medioambiental y un laboratorio de control ambiental (AUQUILAB S.L.), acreditado por ENAC.

Su papel fue clave en la creación y consolidación de las **Olimpiadas de Química en España**: tras participar en la Olimpiada gallega y convencido de la necesidad de darles proyección nacional, logró en 1986 ser nombrado Coordinador Nacional por la ANQUE.



COLABORAN



UNIVERSIDADE
DE VIGO



UNIVERSIDADE
DE SANTIAGO
DE COMPOSTELA



UNIVERSIDADE
DA CORUÑA



XUNTA
DE GALICIA

CONSELLERÍA DE EDUCACIÓN,
CIENCIA, UNIVERSIDADES E
FORMACIÓN PROFESIONAL



olimpiadagallega@colquiga.org



623 033 325

CURSOS DE FORMACIÓN DEL COLEGIO Y LA ASOCIACIÓN DE QUÍMICOS DE GALICIA

»»»» PORTAL DE FORMACIÓN COLQUIGA

¡¡TÚ FORMACIÓN ES MÁS
IMPORTANTE QUE NUNCA!!

MIRA NUESTRA OFERTA FORMATIVA Y
BENEFÍCIATE DE LOS DESCUENTOS QUE
TENEMOS PARA TI.

»»»» MODALIDAD PRESENCIAL U ONLINE

FORMACIÓN ONLINE

- Curso de atmósferas explosivas (ATEX) [leer más](#)
- Agentes biológicos en seguridad laboral [leer más](#)
- Higiene y manipulación de alimentos [leer más](#)
- Manipulación de equipos con gases fluorados [leer más](#)
- Covid-19 [leer más](#)
- Curso de manipulador de alimentos. [Leer más](#)
- Curso de preparación del examen de obtención y renovación del título de consejero de seguridad de transporte de mercancías peligrosas por carretera (normativa ADR) [leer más](#)
- Buenas prácticas en los laboratorios. [Leer más](#)



623 033 325



secretaria@colquiga.org

Edificación construida con botellas PET: Una casa muy avanzada

Joyce Alves Sampaio¹, Pedro Henrique Costa Lima², Rana Assíria Amorim³, José Edilson dos Santos Júnior⁴,

Vivianni Marques Leite dos Santos⁵, Juan José Sanmartín Rodríguez⁶

^{1, 2, 3, 4, 5} Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF) - Brasil.

¹j.joycesampaio@gmail.com, ²pe.henrique29o8@gmail.com, ³assiriarana@gmail.com,

⁴jose.edilson@univasf.edu.br., ⁵vivianni.santos@univasf.edu.br.

⁶ Colegio Of. de Químicos de Galicia - España. juan@juansanmartin.net

Resumen

Con el crecimiento poblacional en algunos centros urbanos, sumado al ritmo de consumo cada vez mayor, se provoca un aumento en la producción de residuos sólidos, cuya disposición adecuada es imprescindible para la gestión urbana. Entre los principales residuos sólidos, destaca el plástico, especialmente el PET, con una pequeña parte destinada a la reciclaje y una gran parte descartada de forma inadecuada. En este contexto, el presente artículo contiene un análisis de un edificio construido con botellas PET en la ciudad de Petrolina–PE. De acuerdo con los resultados, se señala la viabilidad de la utilización de botellas PET en procesos constructivos. Se estimaron ganancias financieras al compararse con el uso de mampostería de cerramiento con bloques cerámicos, con una reducción del 20% en los costos de la construcción al sustituir los bloques por botellas PET.

Palabras clave: Construcción civil. Residuo sólido. Gestión. Plástico.

Abstract

Population growth in some urban centers, combined with the ever-increasing rate of consumption, leads to an increase in the production of solid waste, the proper disposal of which is essential for urban management. Among the main solid waste, plastics attract attention, especially PET, with a small portion destined for recycling and a large portion discarded inappropriately. In this context, this article contains an analysis of building constructed using PET bottles in the city of Petrolina–PE. According to the results, the feasibility of using PET bottles in construction processes is highlighted. Financial gains were estimated when compared to the use of masonry sealing with ceramic blocks, with a 20% reduction in construction costs when replacing the blocks with PET bottles.

Keywords: Civil construction. Solid waste. Management. Plastic.

Introducción

El incremento de la sociedad de consumo, vinculado al aumento en la oferta de materiales y bienes, ha convertido al mundo en un enorme generador de residuos. Esta situación afecta gravemente a toda la población en términos de calidad de vida, pudiendo comprometer el bienestar de las generaciones futuras. La preocupación por el desarrollo sostenible y la responsabilidad social actúa en el sentido de promover una calidad de vida futura satisfactoria (CORTINA et al., 2013).

Según Mayer et al. (2013), esta problemática se debe a los hábitos de una sociedad moderna que



BUILDING BUILT WITH PET BOTTLES: A VERY ADVANCED HOUSE

opta por utilizar productos con vida útil corta, prácticos, versátiles y prácticamente desechables, generando así una gran acumulación de productos que resulta en una numerosa cantidad de materiales que requieren varios años para su degradación.

En este contexto, de acuerdo con Brasil (2022), en 2018 se generaron 79 millones de toneladas de residuos sólidos urbanos (RSU) en el país, con un aumento de aproximadamente 1% en relación al año anterior. De este total, el 92% (72,7 millones de toneladas) fueron recolectados, de manera que 6,3 millones de toneladas de residuos quedaron sin recolectar en las ciudades. Otro aspecto relevante sobre la recolección es la falta de compradores debidamente registrados para los residuos, lo que puede inviabilizar programas de recolección selectiva en escuelas y ciudades. Las restricciones al mercado de reciclables afectan incluso a los residuos convencionalmente considerados como reciclables: papel, plásticos, vidrios y metales (CINQUETTI, 2004). Además, es importante mencionar que no todo constituye basura o desecho, ya que los RSU contienen materiales reciclables como vidrios, papeles, latas, entre otros, los cuales, debido a su posibilidad de reutilización, según Cinquetti (2004), son considerados residuos aprovechables.

Específicamente sobre los plásticos, Santos Júnior et al. (2012) señalaron su conquista de espacio e importancia en la sociedad actual, destacando su ligereza, razonable resistencia mecánica y moldeabilidad a bajas temperaturas, además de precios competitivos. Sin embargo, según Landim et al. (2016), los residuos plásticos requieren más de 100 años para su degradación. Así, con el uso creciente de este material para la fabricación de envases, se produce un aumento en la cantidad de estos residuos en los lugares de disposición final.

En este contexto, el objetivo principal de este artículo es analizar una aplicación de botellas PET en una edificación de cinco pisos en la ciudad de Petrolina-PE, describiendo las técnicas constructivas empleadas y los beneficios obteni-

dos a partir de la sustitución de los bloques cerámicos por botellas PET.

1. Marco Teórico

Monteiro (2001) define residuo sólido como "todo material sólido o semisólido indeseable que necesita ser removido por haber sido considerado inútil por quien lo descarta". Por su parte, la NBR 10.004/2004 lo define como "residuos en estados sólido y semisólido que resultan de actividades de la comunidad, de origen industrial, doméstico, hospitalario, comercial, agrícola, de servicios y de barrido".

En cuanto a la legislación brasileña, la Ley 12.305/2010, Art. 3º, XVI, define que residuo sólido es:

[...] el material, sustancia, objeto o bien descartado resultante de actividades humanas en sociedad, cuya disposición final se procede, se propone proceder o se está obligado a proceder, en estados sólido o semisólido, así como gases contenidos en recipientes y líquidos cuyas particularidades tornen inviable su lanzamiento en la red pública de alcantarillado o en cuerpos de agua, o exijan para ello soluciones técnicas o económicamente inviables en vista de la mejor tecnología disponible (BRASIL, 2010).

Lavnitc et al. (2018) discutieron la problemática de los residuos sólidos en Brasil y la situación en la Región Sur, concluyendo que después de cinco años de la publicación de la Ley 12.305/2010 (BRASIL, 2010), con la Política Nacional de Residuos Sólidos para Brasil, el aumento fue de solo 2% en el volumen de residuos sólidos adecuadamente destinados, con énfasis en la región sur, con 10,5%. Por otro lado, señalaron que los índices de generación de residuos aumentan cada año, mientras que los indicadores de reciclaje, reutilización, logística inversa y disposición adecuada crecen a una velocidad mucho menor, enfatizando aún más el desafío para la obtención de datos debido a la existencia de servicios informales.

Específicamente sobre los residuos de construcción y demolición (RCD), se trata de una

problemática derivada del crecimiento urbano sumado a los grandes avances de la modernización y los patrones de consumo impuestos por la sociedad, generando el agravamiento del daño a la naturaleza provocado por la cantidad de detritos generados y su destino final, lo que puede causar implicaciones ambientales. Otra problemática evidente es la atracción de población en situación de pobreza hacia la actividad de recolección de basura, incentivada por la falta de perspectivas en otras actividades (CAVALCANTE; FRANCO, 2007).

Los residuos de construcción y demolición son generados en actividades de construcción, reforma o demolición, cuyos volúmenes de generación vienen creciendo exponencialmente ante el crecimiento urbano y, consecuentemente, el aumento de los procesos constructivos. Tales residuos están constituidos por materiales como ladrillos, bloques cerámicos, hormigón en general, madera y contrachapados, morteros, yesos y otros (CONAMA, 2002). Además, los RCD, según la resolución del CONAMA 307, se clasifican en: Clase A (RCD reciclables o reutilizables, como los agregados); Clase B (RCD reciclables para otros destinos como plásticos, papel/cartón, metales, vidrios, entre otros); Clase C (RCD sin tecnología disponible para reciclaje y aprovechamiento) y Clase D (RCD peligrosos como pinturas, solventes, aceites, entre otros).

De acuerdo con el panorama de residuos sólidos en Brasil más reciente (ABRELPE, 2022), los residuos de construcción y demolición (RCD), cuya base de datos contempla indicadores de la construcción civil como generación de empleos, consumo de cemento y Producto Interno Bruto (PIB), en 2021 se recolectaron más de 48 millones de toneladas de RCD por los municipios, representando un crecimiento del 2,9% en relación al período anterior, destacando que una parte significativa de tal cantidad proviene de RCD abandonados en vías y espacios públicos.

En el ámbito nacional, es visible que estos residuos son depositados de forma irregular en terrenos no cercados. En 2002, la aprobación de

la resolución 307 estableció criterios y procedimientos para la gestión de RCD en Brasil (CONAMA, 2002). Con esta resolución, se asignaron responsabilidades tanto al poder público como a la iniciativa privada. El poder público debe ofrecer una red de recolección y destino correcto para los pequeños generadores, responsables de reformas y autoconstrucciones e incapaces de implementar autogestión. Las empresas privadas de construcción, por su parte, siendo grandes generadoras de residuos, deben desarrollar proyectos específicos de gestión. Sin embargo, de acuerdo con el relevamiento de Pinto (2008), de los 5.565 municipios existentes en el país, solo 50 habían implementado planes de gestión. Entre las dificultades citadas para la implementación del plan de gestión de RCD, Marques Neto (2009) destacó la falta de recursos financieros y la inexistencia de cuerpo técnico calificado en los cuadros profesionales capaces de diagnosticar fuentes generadoras e implementar acciones de fiscalización.

1.1.PET: Composición, Producción, Recolección Selectiva y Reciclaje

El polímero de tereftalato de etileno (PET) presente en la basura urbana es un polímero termoplástico de la familia de los poliésteres. Aunque es muy utilizado en las botellas plásticas, este material inició su trayectoria en la industria textil (ABIPET, 2024).

La primera muestra de la resina fue desarrollada por los británicos Whinfield y Dickson en 1946, según Romão et al. (2009). Después de la Segunda Guerra Mundial, el desabastecimiento también afectó a la industria textil de la época, aún basada en fibras como algodón, lino y lana, entre otras. Así, las investigaciones que llevaron a la producción a gran escala del polímero comenzaron poco después de la Segunda Guerra Mundial en Estados Unidos y Europa, y se basaban en las aplicaciones textiles. La idea era crear alternativas viables para las fibras hasta entonces utilizadas, cuyos campos estaban destruidos por la guerra. El polímero resultó ser un excelente sustituto del algodón, función que

cumple muy bien hasta hoy, incluso a partir de las botellas recicladas (ABIPET, 2024).

Este polímero, en los años cincuenta, fue utilizado en la industria textil por DuPont. En los años sesenta, el PET también comenzó a utilizarse como materia prima para el embalaje en el envasado de alimentos. En 1962, su resistencia mecánica fue comprobada y comenzó a utilizarse en la industria de neumáticos. En los años setenta surgieron los primeros envases de PET mediante el proceso de inyección y soplado, introduciendo el PET en la aplicación de botellas e innovando en el mercado de envases, especialmente en el segmento de bebidas (REZENDE et al., 2014).

Los mismos autores también registraron, en su estudio exploratorio, que el PET llegó a Brasil en 1988. Solo a partir de 1993 comenzó a tener una fuerte presencia en el mercado de embalajes, notablemente para los refrescos. Actualmente, el PET está presente en una gran variedad de productos, como envases de refrescos, productos farmacéuticos, de limpieza, entre otros. Además, según Ferreira (2017), los envases PET son 100% reciclables y el proceso puede ser mecánico, energético o químico, siendo el mecánico el más utilizado, ya que se trata de un proceso de menor costo.

Sobre las características generales de los domicilios y habitantes de Brasil, según IBGE (2020), a pesar de los avances en la recolección directa de basura entre 2018 y 2019, en este último año aún había 5,4 millones de domicilios cuyo destino de la basura era la quema en la propiedad. Las mayores incidencias estaban en las regiones Norte (17,6%) y Nordeste (15,1%), que reunían 3,8 millones de domicilios en esta condición. En el informe de 2023 (IBGE, 2023), entre 2016 y 2022 hubo una expansión del 3,3% de la proporción de unidades domiciliarias atendidas por la recolección directa de basura, con énfasis en los avances en la región Nordeste nuevamente. A pesar de los avances, aún el 7,8% de la basura domiciliar es quemada en las propiedades o tiene otro destino no especificado. El depósito de basura en zanjales u otros destinos

inadecuados son acciones que pueden exponer a la población a enfermedades, con posible contaminación del aire, agua y suelo. Tales acciones están prohibidas, ya que la quema de basura doméstica constituye un delito de contaminación según el artículo 54 de la Ley 9.605/1998 (BRASIL, 1998).

Específicamente sobre el PET, destaca su resistencia y bajo peso, lo que lo hace bastante atractivo para la fabricación de botellas y envases para refrescos, jugos, aceites comestibles y medicamentos (HOFFMANN, 1991). Sin embargo, las botellas producidas con este polímero pueden permanecer en la naturaleza después de ser descartadas por los consumidores durante mucho tiempo, requiriendo, como se mencionó en la introducción, más de un siglo para su degradación. Además, es notoria la presencia de tales envases en las estanterías de los supermercados, como aquellos de refrescos y otras bebidas, snacks, bolsas plásticas, dulces, entre otros. Estos se encuentran en grandes cantidades en los vertederos sanitarios, a cielo abierto en áreas libres, en las calles, carreteras y autopistas, así como en los manantiales.

De acuerdo con ABIPET (2022), diversos productos pueden ser producidos a partir de la materia prima de envases PET reciclados y están presentes en las industrias textiles, de cuerdas y escobas, tubos y conexiones, chapas, resinas insaturadas, resinas alquídicas, cintas para envases, bolsas, plásticos de ingeniería e industrias de frascos y envases. Además, según ABIPET (2022), el volumen de PET reciclado disminuyó de 2012 a 2016, retomando su crecimiento, de modo que en 2021 el 56,4% de los envases descartados por los consumidores fueron reciclados, lo que equivale a 359 mil toneladas, con énfasis en el aprovechamiento en preformas o botellas (29%) y en textiles (24%). No hay indicación de porcentaje de aplicación en la construcción civil, por lo que puede estar presente solo en el 2% que se indicó como "otros".

En cuanto al aprovechamiento de los envases PET, Rodrigues et al. (2018), por ejemplo, analizaron la aplicación de fibras de botellas PET en composiciones de concreto, de modo que evaluaron su desempeño mecánico sin adición de fibras poliméricas en comparación con el compuesto mediante ensayos de resistencia a la compresión axial y a la tracción por compresión a los 28 días. Los resultados mostraron que esta adición no garantiza ganancia de resistencia a la compresión; por el contrario, minimiza el comportamiento frágil del concreto convencional, así como aumenta, aunque poco significativamente, la capacidad de deformación, garantizando su viabilidad de aplicación.

2. Metodología

Esta investigación tiene una naturaleza básica estratégica, en la cual se aglutinan estudios que tienen como objetivo completar una laguna en el conocimiento. Además, se refiere a aquellos en los que hay una adquisición de nuevos conocimientos dirigidos hacia amplias áreas con vistas a la solución de problemas prácticos reconocidos (GIL, 2010), tal como el análisis del descarte inadecuado de botellas PET y de su reutilización en la construcción civil.

En cuanto a los objetivos, esta investigación es exploratoria y descriptiva (GIL, 2010), ya que la modalidad exploratoria tiene como objetivo proporcionar mayor familiaridad con el problema, cuya finalidad es hacerlo más evidente, explorando todos los aspectos referentes al hecho estudiado. Por su parte, la modalidad descriptiva se refiere a la descripción de las características de una determinada población, sirviendo para identificar posibles relaciones entre variables. En este sentido, se analizaron las técnicas constructivas utilizadas para la construcción del edificio y los resultados de los estudios de resistencia y aislamientos térmico y acústico. Además, las descripciones sirvieron como base comparativa entre el método

abordado y el método utilizado tradicionalmente. Para el análisis se utilizó observación in situ y análisis documental. La naturaleza exploratoria se evidencia en el levantamiento a partir de bases científicas, Google Académico y CAPES, noticias periodísticas, así como la descripción de las características constructivas identificadas mediante la observación sistemática. Se agrega además que se realizaron cotizaciones de materiales en dos tiendas de materiales de construcción y una cooperativa de Petrolina, solo para fines de estimación preliminar.

Para el levantamiento se utilizaron las siguientes combinaciones de palabras clave: sustitución bloques botella PET; albañilería PET; construcción PET; pared PET; cerramiento PET; botella PET; así como sus traducciones al inglés, solo en el campo "Resumen".

Para el cálculo de los costos de la albañilería de cerramiento se desarrolló la composición de costos unitarios a través de la tabla SINAPI - Sistema Nacional de Investigación de Costos e Índices de la Construcción Civil (SINAPI, 2023), considerando las cantidades de bloques cerámicos y de las botellas PET para las albañilerías convencional y de PET, respectivamente, junto con los precios de mercado de la época (para los bloques y botellas).

Finalmente, al contener resultados sobre una edificación en particular, se trata de un estudio de caso que, según Gil (2010), constituye un estudio profundo sobre objetos que pueden ser un individuo, una organización, un grupo o un fenómeno y que puede ser aplicado en las más diversas áreas del conocimiento, con análisis cuantitativo y cualitativo, de tal modo que incluye levantamiento de la cantidad de botellas utilizadas en una determinada edificación y discusión sobre los datos recolectados. Así, al constituir un estudio de caso, los resultados aquí descritos no pueden ser generalizados para cualquier edificación.

3. Resultados y discusión

La edificación en cuestión está constituida por un área de 1500 m², 16 m de altura y cinco pisos. La planta baja cuenta con dos locales comerciales y garaje para los departamentos; dos pisos superiores contienen cuatro departamentos residenciales cada uno, de los cuales, por piso, dos departamentos poseen tres habitaciones, dos salas, dos baños, una cocina y un área de servicio; uno cuenta con dos habitaciones, una sala, un baño, una cocina y un área de servicio; y el otro posee una habitación, una sala, un baño, una cocina y un área de servicio. Los dos últimos pisos están compuestos por áreas reservadas para el gimnasio y espacios para el ocio. Tales informaciones fueron constatadas in situ y también fueron publicadas mediante los medios en G1 (2014).

La construcción del edificio se realizó en 2014 y, de acuerdo con G1 (2014), inicialmente se realizaría mediante métodos convencionales, como fue el caso de la construcción de la planta baja, siendo que los demás pisos fueron proyectados de acuerdo con directrices u orientaciones relacionadas con construcciones sostenibles, específicamente con el uso de botellas PET. Es importante mencionar que, de acuerdo con observaciones in situ, el cálculo estructural de la edificación se realizó inicialmente considerando una construcción convencional que soportaría solo cuatro pisos y que con la implementación del proyecto sustituyendo bloques cerámicos por botellas PET, hubo una ganancia de un piso más debido al menor peso del material a ser soportado por la cimentación.

La albañilería de cerramiento con botellas PET se ejecutó de la siguiente manera: las botellas fueron sujetadas y apiladas con la ayuda de sus tapas y de alambres, según la Figura 1. Las paredes de botellas PET se levantaron con la utilización de moldes preformados y rellenas con hormigón, hecho de una mezcla de arena, cemento y polvo de grava. Las botellas también se utilizaron en las losas y pisos del edificio

(Figura 2), siguiendo el mismo proceso. Se destaca que este proceso de moldeado puede dificultar la ejecución de paredes de tamaños diferentes, siendo necesario obtener una variedad de moldes. Sin embargo, aún de acuerdo con G1 (2014), es posible realizar una obra como esta en pocos días, dado que una pared toma en promedio cuatro horas para ser moldeada. Así, no hay previsión de aumento en el tiempo de ejecución de una obra debido al uso de PET en lugar de bloques cerámicos.



Foto 1: Unión de las botellas – Fuente: G1 (2014).

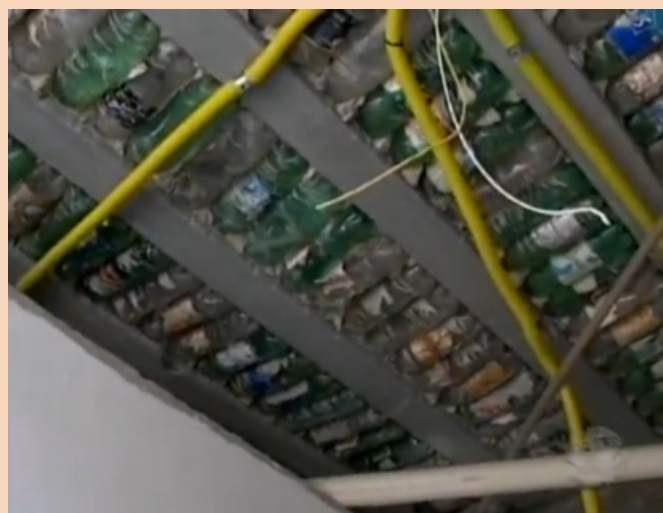


Foto 2: Botellas PET dispuestas en la losa del edificio – Fuente: G1 (2014).

También según G1 (2014), la edificación en cuestión utilizó alrededor de 200 mil botellas que varían entre volúmenes de uno y dos litros. Para las paredes externas, entre departamentos, balcones y terrazas, se utilizaron botellas de dos litros. Mientras que en las paredes divisorias

internas de los departamentos se utilizaron botellas de un litro. Es importante destacar que existe un patrón en la utilización de las botellas para la construcción de las paredes (Figura 3), de modo que en una misma pared no se utilicen botellas de diferentes tamaños, siendo observado que la variación en los tamaños de las botellas PET podría provocar cambios en el espesor de las paredes.

Otro problema para el uso de botellas PET en albañilería de cerramiento puede estar en la falta de mano de obra especializada, pudiendo también causar necesidad de ajustes en la construcción, como paredes fuera de plomada, nivel y escuadra. Este último problema puede ser minimizado o solucionado mediante el uso de estructuras para alinear las botellas, lo que se realizó durante el proceso constructivo de la edificación objeto de este estudio (Figura 3).



Foto 3: Botellas PET alineadas para formar pared –
Fuente: G1 (2014).

Considerando las dimensiones de las botellas PET, tanto la de un litro como la de dos litros, y constatado el bajo índice de pérdidas de este material, se levantó una cantidad aproximada de 24 botellas de dos litros por metro cuadrado o 32 botellas de un litro por metro cuadrado. En la práctica, esto significa que para construir una pared de cinco metros de largo por cuatro metros de alto se gastan aproximadamente 480 botellas PET de dos litros o 640 botellas PET de un litro.

Para análisis comparativo, basado en el SINAPI (2023), como se describió en la metodología, para la utilización de bloques convencionales cerámicos de ocho agujeros con dimensiones $9 \times 19 \times 19$ cm, el rendimiento queda alrededor de 27 bloques por metro cuadrado construido. Así, utilizando el mismo ejemplo anteriormente citado (construcción de una pared de cinco metros de largo por cuatro metros de alto), sería necesario adquirir alrededor de 550 bloques cerámicos para levantar la misma pared.

Después de relevar los costos de material de construcción en Petrolina-PE, se constató que el bloque cerámico de ocho agujeros necesario para construir una albañilería convencional puede encontrarse al precio medio de R\$ 0,75 la unidad. Por el contrario, en la misma fecha, el precio unitario actual de la botella PET encontrado en la región está alrededor de R\$ 0,25. En este contexto, se comenta que debido a que no es un medio común de material de construcción, las botellas PET se han vuelto un poco más difíciles de encontrar y también hay bastante variación en los precios.

En el caso de la ejecución de paredes en albañilería de cerramiento se utilizan bloques cerámicos $9 \times 19 \times 19$ cm, rejuntados con una argamasa de cemento, cal y arena media, en una dosificación 1:2:8, y revocada con argamasa en la misma dosificación; además, en la ejecución de la pared puede utilizarse una malla de acero en dicha pared (SINAPI, 2023). Para albañilería ejecutada con botellas PET, la argamasa de asentamiento difiere de la utilizada con bloques cerámicos por la utilización de polvo de piedra mezclado con arena gruesa para dar mayor resistencia.

Considerando la ejecución en albañilería de cerramiento con bloques cerámicos perforados horizontalmente de $9 \times 19 \times 19$ cm (espesor 9 cm) y argamasa de asentamiento con preparación manual AF_12/2021 (SINAPI, 2023), se obtiene un precio de R\$ 79,55 por metro cuadrado, utilizando una composición de costos unitarios (Tabla 1).

| Ítem | Descripción del Servicio | | | | Cantidad | Precio Unit. | Precio Total | Unidad |
|-------------------------------|--|--|----------------|--------|--------------------|--------------------|--------------|----------------|
| 1 | Mampostería de cerramiento de bloques cerámicos perforados en posición horizontal de 9x19x19 cm (espesor 9 cm) y mortero de asiento con preparación manual. AF_12/2023 | | | | 1 | 79,55 | 79,55 | m ² |
| FUENTE | CÓDIGO | DESCRIPCIÓN DE LOS SERVICIOS | UNID. | COEF. | PRECIO (R\$) UNIT. | PRECIO (R\$) CANT. | TOTAL (R\$) | |
| SINAPI (SERVICIO) | 87322 | Mortero trazo 1:2,8 (en volumen de cemento, cal y arena media húmeda) para bloques cerámicos (clasificación estructural de cerramiento de mampostería), preparación manual con betoneira hasta 400 l | m ³ | 0,091 | 67,49 | 0,091 | 6,14 | |
| SINAPI (SERVICIO) | 88377 | Ayudante de albañilería (sin encargos complementarios) | h | 0,46 | 9,73 | 0,46 | 4,48 | |
| SINAPI (SERVICIO) | 88381 | Albañil capacitado nivel B con capacidad de mezclar 20 m ² /día (sin encargos complementarios) | h | 1,54 | 15 | 1,54 | 23,1 | |
| SINAPI (SERVICIO) | 88381 | Albañil capacitado nivel D con capacidad de mezclar 20 m ² /día (con encargos complementarios) | h | 3,5 | 10,43 | 3,5 | 36,51 | |
| SINAPI (INSUMO) | 370 | Arena media – puesta al lado del proveedor (retirada en el lugar, sin transporte) | m ³ | 0,11 | 116 | 0,11 | 12,76 | |
| SINAPI (INSUMO) | 11016 | Cal hidratada CH-III para morteros | kg | 7,174 | 1,73 | 7,174 | 12,41 | |
| SINAPI (INSUMO) | 14171 | Cemento Portland Compuesto CP II-E-32 | kg | 18,235 | 0,61 | 18,235 | 11,13 | |
| SINAPI (INSUMO) | 72167 | Bloque cerámico perforado en posición horizontal para cerramiento, dimensión nominal 9 x 19 x 19 cm, sin acabado | un | 20 | 0,69 | 20 | 13,8 | |
| SINAPI (INSUMO) | 74515 | Alambre de atado galvanizado n° 18, bobina de 1 kg | kg | 0,015 | 8,45 | 0,015 | 0,13 | |
| SINAPI (INSUMO) | 37395 | Clavo de acero común, liso, hasta 27 mm (acero trefilado) | cien | 0,03 | 4,66 | 0,03 | 0,14 | |
| TOTAL DE LOS SERVICIOS | | | | | | | 79,55 | |

Tabla 1 – Composición del total de servicios utilizando mampostería de bloques cerámicos
Fuente: Elaboración propia a partir del SINAPI (2023)

Siguiendo la misma metodología, sustituyendo la cantidad de bloques cerámicos por la cantidad de botellas PET de 2L y el respectivo precio de las referidas botellas en el mercado, se obtiene un valor unitario de R\$ 64,32 por metro cuadrado (Tabla 2).

Economía Circular

| Ítem | Descripción del Servicio | | | Cantidad | Precio Unitario (R\$) | Precio Total (R\$) | Unidad |
|-------------------|--|---|----------------|----------|-----------------------|--------------------|----------------|
| 2 | Muro de cerramiento con botellas PET 2L (espesor 9 cm) y mortero de asiento con preparación manual. AF 12/2023 | | | 1 | 64,32 | 64,32 | m ² |
| FUENTE | CÓDIGO | DESCRIPCIÓN DE LOS SERVICIOS | UNID. | COEF. | PRECIO UNIT. (R\$) | PRECIO CANT. (R\$) | TOTAL (R\$) |
| SINAPI (SERVICIO) | 87322 | Mortero trazo 1:2,8 (en volumen de cemento, cal y arena media húmeda) para bloques cerámicos, preparación mecánica con betoneira de 400 L | m ³ | 0,091 | 67,49 | 0,091 | 6,14 |
| SINAPI (SERVICIO) | 88377 | Ayudante de obra sin encargos complementarios | h | 0,5 | 8,01 | 0,5 | 4,01 |
| SINAPI (SERVICIO) | 88380 | Operador de betoneira estacionaria/mezc. con encargos complementarios | h | 0,2 | 20,04 | 0,2 | 4,01 |
| SINAPI (SERVICIO) | 88381 | Albañil capacitado nivel D, capacidad 20 m ² /día (con encargos complementarios) | h | 1,04 | 10,43 | 1,04 | 10,85 |
| SINAPI (INSUMO) | 370 | Arena media – puesta al lado del proveedor (retirada en el lugar, sin transporte) | m ³ | 0,11 | 116 | 0,11 | 12,76 |
| SINAPI (INSUMO) | 11016 | Cal hidratada CH-III para morteros | kg | 7,174 | 1,73 | 7,174 | 12,41 |
| SINAPI (INSUMO) | 14171 | Cemento Portland Compuesto CP II-E-32 | kg | 18,235 | 0,61 | 18,235 | 11,13 |
| SINAPI (INSUMO) | 74517 | Alambre de atado galvanizado n.º 18, bobina de 1 kg | kg | 0,015 | 8,45 | 0,015 | 0,13 |
| SINAPI (INSUMO) | 245617 | Botella PET de 2L, limpia, sin etiqueta, para muro de cerramiento, FD o HD | un | 20 | 0,15 | 20 | 3 |
| SINAPI (INSUMO) | 37395 | Clavo de acero común, liso, hasta 27 mm (acero trefilado) | cien | 0,03 | 4,66 | 0,03 | 0,14 |
| | | TOTAL DE LOS SERVICIOS | | | | | 64,32 |

Tabla 2 – Composición del total de servicios utilizando botellas PET Fuente: Elaboración propia a partir del SINAPI (2023)

Así, se puede concluir que una pared construida con la utilización de botellas PET en lugar de bloques cerámicos puede reducir los costos en un 20% en esta etapa. Es importante recomendar estudios futuros con actualización de precios y considerando posibles nuevos métodos constructivos.

Al visitar el edificio, como se describió en la metodología, es posible notar que el acabado interno de los departamentos es muy similar al de una construcción convencional, siendo observadas paredes lisas y revestimientos cerámicos en pisos y en las paredes de los baños, cocinas y áreas de servicio. Además, hay registros de que durante la ejecución de la obra hubo mayor dificultad de demolición en la pared ejecutada con botella PET cuando se comparaba con una pared con bloque cerámico convencional. Este aspecto está de acuerdo con los resultados obtenidos en investigaciones y pruebas realizadas en paredes de botellas PET en comparación con paredes convencionales; se constató que los bloques de albañilería ejecutados con botellas PET soportaron mayor carga que las albañilerías ejecutadas con bloques cerámicos comunes, según la Tabla 3 (VIEGAS, 2012), aunque las técnicas constructivas no sean las mismas.

| Pared | Carga de primera fisura (kN) | Carga última (kN) |
|----------------|------------------------------|-------------------|
| PET 1 | 75 | 145 |
| Convencional 1 | 98 | 140 |
| PET 2 | 60 | 145 |
| Convencional 2 | 78 | 135 |
| PET 3 | 85 | 150 |
| Convencional 3 | 55 | 145 |

Tabla 3 – Resultados del ensayo de compresión en las albañilerías
Fuente: Adaptada de Viegas (2012)

Es relevante registrar que las botellas del edificio se utilizaron solo como albañilería de cerramiento, pero que aun así ofrecen una estructura bastante segura. Según Viegas (2012), la carga soportada por una pared con botella PET puede ser equivalente a una pared de cerramiento con bloques convencionales. Además, se verificó, mediante la observación sistemática, que la pared de botella PET es capaz de soportar cargas axiales como, por ejemplo, la fuerza de un cuerpo apoyado en la misma o incluso servir de apoyo para utensilios de decoración bastante pesados, así como los equipos de gimnasia según registro realizado en la edificación (Figura 4).



Foto 4 - Equipamiento de gimnasia en el suelo e hidrante fijo en la pared

Fuente: Elaboración propia (2023)

Según Viegas (2012), en un análisis comparativo utilizando lámparas fluorescentes e incandescentes como fuente de calor, realizado entre prototipos de paredes de albañilería convencional y de botella PET, los resultados mostraron que la albañilería con PET se muestra tan eficiente como una pared de albañilería común en términos de temperatura, es decir, presenta el mismo desempeño térmico y, en algunos casos, desempeño superior. Aún según la autora, también se realizó un análisis comparativo entre prototipos de paredes de

albañilería convencional y de botella PET, pero esta vez se analizó la acústica de cada uno dentro de una cámara acústica reverberante con una fuente sonora y un decibelímetro. Con los resultados fue posible constatar que, a pesar de la similitud de los datos, la pared de albañilería con botella PET posee mejor desempeño acústico que la pared de albañilería convencional.

Es importante destacar que, a partir de observaciones in situ, la edificación alberga habitantes y un gimnasio abierto al público, sin que se haya escuchado relato de problemas relacionados con su seguridad ni acústica.

Se agrega que, a partir del estudio exploratorio, no se identificaron otros estudios que contengan estudio de caso sobre edificación con la técnica constructiva relatada en este estudio. El mayor número de resultados relacionados con la aplicación de materiales PET en la construcción civil se identificó en la base Google Académico. A partir de la base SciELO, el mayor número de publicaciones en revistas se obtuvo utilizando la combinación de palabras clave "Botella PET" en el campo resumen (28 artículos), seguido del número de publicaciones que contienen "construcción PET" (20), siendo que solo dos están relacionados con el uso en la construcción civil. El primero relacionado con el análisis de la viabilidad del uso de PET y polipropileno (PP) como sustitutos parciales de la arena en el concreto (CORREA et al., 2021) y el otro vinculado al desarrollo de modelo conceptual de teja ecológica obtenida a partir de residuos de PET y de yeso de la construcción (TESKE et al., 2015).



Foto 5 y 6 – En las fotografías se aprecia el acabado final de paredes y techos. Fuente: Elaboración propia (2025)



Foto 5 y 6 – En las fotografías se aprecia el acabado final de paredes y techos.

Fuente: Elaboración propia (2025)

Finalmente, sobre las residencias de esta edificación en análisis, y con el objetivo de motivar investigaciones futuras, se propone una parodia basada en el poema de Vinicius de Moraes (MORAES, 1980), destacando la importancia de este tipo de construcción al nombrarla como una casa muy avanzada, una vez que representa progreso, avance y sostenibilidad.

- Era una casa muy avanzada
- Tenía proyecto y arquitecto
- Era motivo de admiración
- Además de mucha inspiración

4. Consideraciones Finales

De acuerdo con los resultados, se señala que es viable la utilización de botellas PET en procesos constructivos, sin el temor de que tales materiales reciclados no sean apropiados ante las necesidades requeridas para edificaciones residenciales con más de un piso.

Desde el punto de vista financiero, se verificaron ganancias, ya que la estimación indica que el costo para levantar una pared utilizando botellas PET es menor cuando se compara con aquella de albañilería convencional, con reducción del 20% de los costos en esta etapa.

Desde el punto de vista estructural, hubo mayor dificultad de demolición de la pared construida con botellas PET, además de evidencias de usos sin problemas relacionados, tal como el uso de utensilios de decoración o cuerpos apoyados, o incluso soportar equipos de gimnasia en funcionamiento con pesos humanos adicionales.

Tal resultado sirve de motivación para estudios futuros profundizados en cuanto a la viabilidad financiera. Desde ya, se señalan tales aplicaciones en la construcción civil como alternativa sostenible, una vez que atiende a los pilares financiero, ambiental y social. En cuanto a este último, por el hecho de la posibilidad de solucionar problemas de derecho a la vivienda, pudiendo viabilizar proyectos de viviendas populares.

Además, consiste en evidencia de una década de durabilidad evidenciada en una edificación construida con botellas PET, así como contribuye a la desmitificación de la idea de que sería inviable construir de esta forma.

Referencias

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PET. ABIPET. 12º CENSO da Reciclagem de PET. Brasil, 2022. Disponível em: https://abipet.org.br/wp-content/uploads/2022/12/Infografico_12_Censo_da_R_ eciclagem_no_Brasil-Novembro_2022.pdf. Acesso em: 20 jan. 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PET. ABIPET. História da Embalagem PET. Brasil, 2024. Disponível em: <https://abipet.org.br/historia-da-embalagem-pet/> Acesso em: 30 jan. 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: Resíduos Sólidos- Classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- Lei Federal Nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências BRASIL. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm . Acesso em: 24 maio, 2023.
- Lei Nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos BRASIL. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 26 maio, 2023.
- Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Qualidade Ambiental. Plano Nacional de Resíduos Sólidos – Brasília, DF. 209 p. 2022 BRASIL. Disponível em: <https://portal-api.sinir.gov.br/wp-content/uploads/2022/07/Planares-B.pdf> Acesso em: 28 jan, 2024.
- CAVALCANTE, Sylvia; FRANCO, Márcio Flavio Amorim. Profissão perigo: percepção de risco à saúde entre os catadores do Lixão do Jangurusu. Revista Mal Estar e Subjetividade, v. 7, n. 1, p. 211-231, 2007.
- CINQUETTI, Heloisa Sislá. Lixo, resíduos sólidos e reciclagem: uma análise comparativa de recursos didáticos. Educar. Editora UFPR, Curitiba, n. 23, p. 307-333, 2004.
- CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Nº 307 de 05 jul. 2002.
- CORREA, Priscila Marques; GUIMARÃES, Diego; SANTANA, Ruth Marlene Campomanes; GRAEFF, Ângela Gaio. Potential use of PET and PP as partial replacement of sand in structural concrete. Revista Matéria, v.26, n.3, 2021.
- CORTINA, Nívea Bitencourt S.; DECONTO, Ariélen; BURTET, Cristiane Maria; LUZ, D. A. N.; BUENO, F. F.; ROSA, L. Reciclar para sustentar: Trilha educativa com catadores de materiais recicláveis. Universidade Comunitária da Região de Chapecó, 2013. Disponível em: https://san.uri.br/sites/anais/erebio2013/poster/13394_52_NIVEA_BITENCOURT_.pdf Acesso em: 15 jan. 2024.
- FERREIRA, Elisete. As indústrias de reciclagem de PET em Santa Catarina. 291 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, 2017.
- GIL, Antônio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- HOFFMANN, Jussara. Avaliação: mito e desafio. Uma perspectiva construtivista. Porto Alegre, Educação e Realidade, 1991.
- G1, Prédio de 5 pavimentos é construído com garrafa PET em Petrolina, PE. Nov. 2014. Disponível em: Acesso em: 27 Maio 2023.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. 2020. Características Gerais dos Domicílios e dos moradores. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2101707> Acesso em: 20 de jan. 2024.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. 2023. Características Gerais dos Domicílios e dos moradores. Disponível em:

https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/media/com_media/ibge/arquivos/1cd893a10b3cabf31fc31e994531632f.pdf Acesso em: 20 de jan. 2024. LANDIM, Ana Paula Miguel; BERNARDO, Cristiany Oliveira; MARTINS, Inayara Beatriz Araujo; FRANCISCO, Michele Rodrigues; SANTOS, Monique Barreto; MELO, Nathália Ramos. Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil. *Polímeros*, 26(número especial), p. 82-92, 2016. LAVNITCKI, Laís; BAUM, Camila Angelica; BECEGATO, Valter Antonio. Política Nacional dos Resíduos Sólidos: Abordagem da Problemática no Brasil e a Situação na Região Sul. *Revista Ambiente & Educação*, v. 23, n. 3, 2018. Disponível em: <https://periodicos.furg.br/ambeduc/article/view/7783/5616> Acesso em: 3 Jan 2024. MARQUES NETO, José da Costa. Estudo da gestão municipal dos resíduos de construção e demolição na Bacia Hidrográfica do Turvo Grande. 629 p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2009. MAYER, Kellen Cristina Martins; LOPES, Erica Santana Viana da Silva; BRITO, Fabiane Cristina Valadares; ARAUJO, , Jose Anchieta. Incentivo à redução, reutilização e reciclagem com foco nas garrafas pet na cidade de Redenção-PA. *Revista de Educação, Ciência e Cultura, Canoas*, v. 18, n. 2, p.149-154, 2013. Disponível em: <https://revistas.unilasalle.edu.br/index.php/Educacao/article/view/1334/1026> Acesso em: 20 de out. 2023. MONTEIRO, José Henrique Penido; FIGUEIREDO, Carlos Eugênio Moutinho; MAGALHÃES, Antônio Fernando; MELO, Marco Antônio França; BRITO, João Carlos Xavier; ALMEIDA, Tarquínio Prisco Fernandes; MANSUR, Gilson Leite. Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: IBAM/SEDU, 200 p., 2001. Disponível em: <http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/et000017.pdf> Acesso em: 20 de out. 2023. PINTO, Tarcísio de Paula. Gerenciamento de resíduos da construção no Brasil. In: RCD08, Universidade de São Paulo, São Paulo. Apresentação (CD- ROM). São Paulo, 2008. REZENDE, Michelle Pereira; MELO JÚNIOR, Tadeu Artur; CARLONI, Alessandro Ramos. Proposta de implantação de pequena empresa têxtil com uso de produto reciclado de PET em Franca-SP. *Revista Eletrônica Diálogos Acadêmicos*. v. 06, nº 1, p. 38-59, 2014. RODRIGUES, Nara Caroline da Silva; CARVALHO, Magnny Maisy de Barros; BALBINO, Anna Victoria Morais; VASCONCELOS, Adriano Luiz

Roma. Fibra de PET na produção de concretos. *Tecnol. Metal. Miner*, São Paulo, v. 15, n 15, p. 207-211, 2018. ROMÃO, Wanderson; SPINACÉ, Márcia A. S.; DE PAOLI, Marco-A. Poli(Tereftalato de Etileno), PET: Uma Revisão sobre os Processos de Síntese, Mecanismos de Degradação e sua Reciclagem. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 19, nº 2, 2009. SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil. Caixa Econômica Federal. Referências para Custos Horários e Encargos: Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil / Caixa Econômica Federal. – 6ª Ed. – Brasília: CAIXA, 2023. 143 p. 21 cm. TESKE, S.; GONÇALVES, P. F. A.; NAGALLI, A. Desenvolvimento de modelo conceitual de telha ecológica a partir de resíduos de PET e gesso da construção. *Cerâmica* 61, p. 190-198, 2015. VIEGAS, Leila Soares. Blocos para execução de alvenaria de vedação empregando garrafas PET: avaliação mecânica e termo acústica. (Dissertação de Mestrado). 2012. João Pessoa-PB: UFPB. Programa de pós-graduação em engenharia urbana e ambiental.



ASOCIACIÓN DE QUÍMICOS DE GALICIA

VII CONGRESO INTERNACIONAL DE DIDÁCTICA DE LA QUÍMICA



Congreso online



MAYO, del 21 al 23 de 2026



El objetivo de estos Congresos es crear un marco que sirva para la mejora de la enseñanza de la química, donde los profesionales docentes puedan conocer, compartir e intercambiar experiencias que le permitan mejorar en la práctica docente.

TEMAS

- PONENCIAS PLENARIAS
- ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA
- FORMACIÓN TEÓRICA QUÍMICA
- NUEVAS TECNOLOGÍAS
- PRÁCTICAS DE QUÍMICA

“En las próximas semanas se facilitarán más detalles sobre el Congreso.”

FECHAS IMPORTANTES

26 de Enero

Apertura
Inscripciones

30 de Abril

Límite de
envío de
Resúmenes

8 de Mayo

Cierre
Inscripciones

21 Mayo

Primera
Jornada

22 Mayo

Segunda
Jornada

23 Mayo

Tercera
Jornada



Asociación de Químicos de Galicia

Rúa Lisboa, 10 - Edificio Área Central - 1ª Planta Local 31-E
15707. Santiago de Compostela (Coruña) Galicia - España

Contacto

secretaria@colquiga.org  +34 623 033 325
www.colquiga.org

Más información www.colquiga.org/7-congreso-didactica-da-quimica



Congreso Internacional
de Didáctica de la Química

Análisis de Alimentos: Enfoque CTS en la Licenciatura en Ciencias Naturales y Educación Ambiental

Nina María Sánchez Ramírez*
Universidad Surcolombiana, Carrera 1 No. 26-85, Neiva, Colombia
nina.sanchez@usco.edu.co

Resumen

Este documento describe la investigación realizada durante los años 2021 a 2024 en el curso de Bioquímica con los estudiantes de quinto semestre del programa de Licenciatura en Ciencias Naturales y Educación Ambiental en la Universidad Surcolombiana. La propuesta se fundamenta en el enfoque pedagógico Ciencia-Tecnología-Sociedad (CTS) y en cuestiones sociocientíficas (CSC) a través del análisis cualitativo y cuantitativo de alimentos. Es importante mencionar que algunos de los estudiantes participantes provienen de áreas rurales, que tienen un buen conocimiento ancestral. Esto enriquece la selección de la muestra para la investigación y hace posible establecer conexiones significativas entre el llamado conocimiento tradicional, el conocimiento científico en implicaciones en la sociedad a partir de la alimentación.

Las prácticas de laboratorio incorporan pruebas químicas con uso de estructura, uso de controles positivo y negativo, y separación de compuestos utilizando cromatografía en capa fina o en papel circular. Cada estudiante elabora informes donde explica reacciones a nivel estructural con sus justificaciones teóricas y socializa resultados durante conferencias internas con un enfoque en CSC.

El progreso mediante el seguimiento de los aprendizajes, usando formularios de autoevaluación con Google Forms y la entrega de informes mediante la plataforma Classroom, lo que evidencia progreso importante en habilidades investigativas, análisis y dominio conceptual. El porcentaje de estudiantes con alta valoración en competencias relevantes mostró

incremento sostenido durante el período evaluado. Esto permite concluir que hubo impacto didáctico.

Se llega a esa conclusión porque el modelo CTS aplicado en los trabajos prácticos de laboratorio potencia la formación crítica situacional de los futuros docentes, fortaleciendo un abordaje integrador del conocimiento científico conectado con las realidades sociales. La experiencia refleja que el aprendizaje activo, la indagación experimental y la reflexión sociocientífica favorecen una educación científica relevante y transformadora.

Introducción

El aprendizaje de la química ha evolucionado desde modelos didácticos basados en la mera entrega de contenidos hacia otros más integradores y reflexivos que propician el entendimiento del saber científico, así como la relación de este con su contexto social. Uno de los enfoques más relevantes es el Ciencia-Tecnología-Sociedad (CTS) por su intento de integrar la ciencia a los problemas ético, ecológico, tecnológico y social (Acevedo-Díaz, García-Carmona & Vázquez-Alonso 2011; Aikenhead 2000).

El enfoque CTS contesta que la ciencia no puede ser abordada de manera disociada porque exige una construcción cultural y social densa en términos al mundo real problemático donde está inserta. Este tipo de cuestiones sociocientíficas (CSC) se convierten en recursos pedagógicos para desarrollar el pensamiento crítico, el razonamiento argumentativo y la toma de decisiones en los alumnos (Sadler 2004; Jiménez-Aleixandre & Puig 2015). Las CSC presentan problemas abiertos, controversiales y

socialmente relevantes fundados en evidencias científicas, lo cual resulta en pensar acerca de alimentos, consumo de productos ultraprocesados, malnutrición o sobre ciertos hábitos lesionales al medioambiente desde contextos reales.

En este marco, examinar muestras de alimentos en el laboratorio de Química de la Universidad Surcolombiana sirve para implementar el enfoque CTS. La identificación y caracterización de aminoácidos y proteínas, carbohidratos considerando sus reacciones químicas junto con su representación e interpretación, el uso de técnicas cromatográficas e incluso discutir los efectos del procesamiento en los alimentos implican un pensamiento refinado. Permiten a los docentes en formación adquirir competencias más allá de las habilidades experimentales básicas, contextualizando la ciencia en diversos entornos educativos significativos (Osborne, 2007; Vicente 2022).

Este artículo surge de un proceso de sistematización e indagación realizado con estudiantes del programa de Licenciatura en Ciencias Naturales y Educación Ambiental entre 2021 y 2024. Su objetivo ha sido estudiar el resultado de integrar el enfoque CTS en las prácticas de laboratorio relacionadas con los alimentos centradas en el análisis de la nutrición evaluando su efecto en el desarrollo de habilidades de investigación, comprensión de conceptos de bioquímica, así como las capacidades de los estudiantes para asociar conceptos considerando la ciencia y la sociedad. También se destaca la necesidad de entrelazar dimensiones socioecológicas mientras se prepara a los educadores que necesitan ser capaces de transformar la enseñanza experta de las aulas de ciencia.

Metodología

La información fue recolectada mediante formularios de Google aplicados entre 2021 y 2024 a estudiantes del curso de Bioquímica de quinto semestre de la Licenciatura en Ciencias

Naturales y Educación Ambiental. La experiencia se desarrolló en cuatro etapas, como se presenta en la Imagen 1.

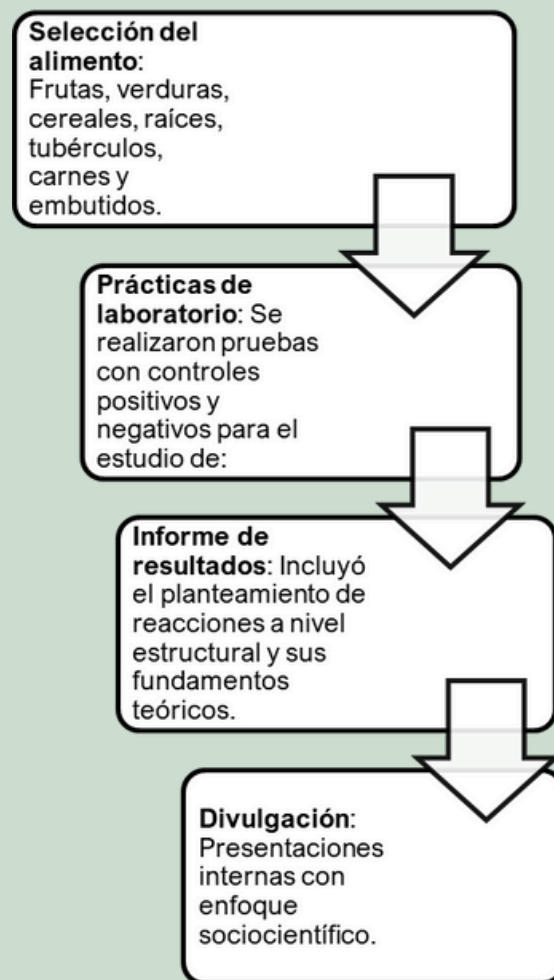


Imagen 1 Etapas del desarrollo de la experiencia investigativa

Nota: Elaboración propia de la autora

Etapas 1: Selección del alimento y revisión documental

Cada periodo académico tuvo una duración de 16 semanas. En la primera semana, los estudiantes seleccionaron una muestra alimentaria de su interés, que podía incluir frutas, verduras, cereales, raíces, tubérculos, carnes o embutidos. Posteriormente, realizaron una revisión documental centrada en la composición química del alimento, con énfasis en aminoácidos, proteínas, carbohidratos, lípidos, compuestos fitoquímicos, iones y metales. Además, identificaron posibles grupos funcionales relevantes para las pruebas cualitativas que se realizarían posteriormente en el laboratorio.



Imagen 2 Revisión bibliográfica de la Passiflora
Nota: Tomada de la presentación realizada por las estudiantes Cuetumbo, Pulido y Santofimio. Curso de Bioquímica 2025-1

Etapas 2: Preparación de la muestra

Durante la segunda semana, se llevó a cabo la preparación de las muestras alimentarias, mediante procesos como el secado y la molienda. El objetivo fue garantizar condiciones homogéneas que facilitarían un análisis más riguroso en las siguientes sesiones de laboratorio.



Imagen 3 Diagrama de la preparación de la muestra
Nota: Tomada de la presentación realizada por las estudiantes Cuetumbo, Pulido y Santofimio. Curso de Bioquímica

Etapas 3: Prácticas de laboratorio y visita académica

Entre las semanas 4 y 13 se desarrollan las prácticas de laboratorio, acompañadas, en la mayoría de los casos, por una salida académica a la Universidad de Antioquia – sede de Investigación SIU, en el grupo de Sustancias Bioactivas de la Facultad de Farmacia y Ciencias Alimentarias. Esta experiencia permite ampliar la perspectiva del análisis de alimentos con tecnología especializada.

Las prácticas incluyen:

- Medición de pH y análisis de medios amortiguadores.
- Estudio de las propiedades químicas de aminoácidos y proteínas.
- Reconocimiento y cuantificación de carbohidratos.
- Separación de compuestos por cromatografía de papel bidimensional y en capa fina.
- Observación de actividad catalítica.
- Cuantificación de proteínas y aminoácidos por espectrofotometría UV-VIS, utilizando el equipo Espectrofotómetro para Microplacas UV-Visible EPOCH

Cada semana, los estudiantes presentaron informes con formato de artículo científico, lo que fortaleció sus habilidades de escritura académica y argumentación técnica.



Cromatografía circular sobre papel para identificación de aminoácidos

| Muestra | Reacción de Biuret. | Obtención y caracterización de un filtrado libre de proteínas (FLP), en la Reacciones A | Obtención y caracterización de un filtrado libre de proteínas (FLP), en la Reacciones B |
|---------------------|---------------------|---|---|
| Semilla de aguacate | Negativo (-) | Negativo (-) | Negativo (-) |
| Cáscara de aguacate | Negativo (-) | Negativo (-) | Negativo (-) |

Prueba cualitativa de aminoácidos

| Muestras | Reacción de la Ninhidrina | Reacción de Adamkiewicz | Reacción Xantoproteica | Reacción de los Tiogrupos |
|-------------------|---|---|---|---|
| Semilla Aguacate. |  Negativo - |  Negativo - |  Positivo + |  Positivo + |
| Cáscara Aguacate. |  Positivo - |  Negativo - |  Positivo + |  Positivo + |

Pruebas para identificación de aminoácidos

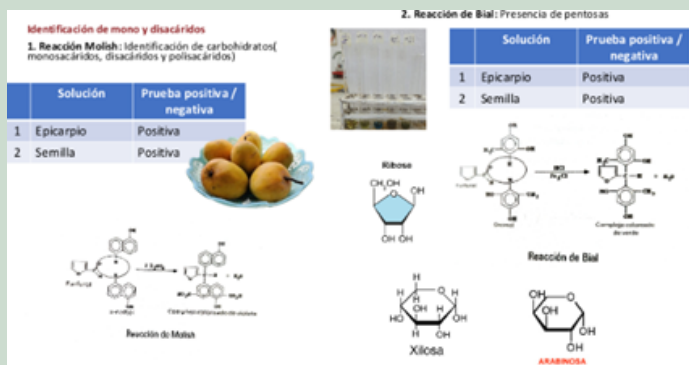
Identificación de mono y disacáridos

1. Reacción Molish: Identificación de carbohidratos (monosacáridos, disacáridos y polisacáridos)

| Solución | Prueba positiva/negativa |
|--------------|--------------------------|
| 1. Epicarpio | Positiva |
| 2. Semilla | Positiva |

2. Reacción de Bial: Presencia de pentosas

| Solución | Prueba positiva/negativa |
|--------------|--------------------------|
| 1. Epicarpio | Positiva |
| 2. Semilla | Positiva |



Pruebas para identificación de carbohidratos

Imagen 4 Evidencias de algunas prácticas de laboratorio

Nota: Fotografías tomadas por las estudiantes Cuetumbo, Pulido y Santofimio. Curso de Bioquímica

Etapa 4: Divulgación de resultados

En las semanas 14 y 15, se realizó la socialización de los resultados desde el enfoque CTS/CSC. Esta etapa permitió reflexionar sobre las implicaciones sociales de los hallazgos, tanto en el ámbito disciplinar como en la enseñanza de las ciencias, particularmente en contextos rurales y urbanos donde muchas instituciones educativas carecen de laboratorios adecuados.

Adicionalmente, se ha implementado herramientas digitales para el seguimiento del proceso formativo, como formularios de Google y la plataforma Classroom. Estas herramientas permiten sistematizar los resultados obtenidos en la autoevaluación, la entrega de informes y el monitoreo constante del aprendizaje, evidenciando avances en habilidades investigativas, pensamiento crítico y apropiación conceptual.



Imagen 5 Seguimiento al proceso formativo mediante herramientas digitales

Nota: Herramientas implementadas por la autora para el monitoreo del aprendizaje y la entrega semanal de producto

Resultados

Los resultados se sintetizan en la siguiente tabla, la cual evidencia el aumento progresivo en las habilidades investigativas y en el análisis crítico de los estudiantes durante los cuatro años evaluados:

| Año | Total estudiantes | % Alta valoración en habilidades investigativas | % Alta valoración en análisis crítico |
|------|-------------------|---|---------------------------------------|
| 2021 | 28 | 46% | 32% |
| 2022 | 31 | 61% | 48% |
| 2023 | 35 | 73% | 66% |
| 2024 | 33 | 81% | 74% |

Tabla 1 Resultados obtenidos durante el 2021 al 2024

Nota: Tomado de los resultados de formularios de Google

Estos resultados evidencian un progreso sostenido en la apropiación del enfoque CTS, en la comprensión de conceptos bioquímicos y en la capacidad de los estudiantes para relacionar resultados experimentales con problemas sociales reales.

Los resultados expuestos en la tabla reflejan una evolución positiva y sostenida en el desarrollo de habilidades investigativas y de análisis crítico en

los estudiantes entre 2021 y 2024. Este progreso es especialmente significativo si se considera que los indicadores de alta valoración casi se duplican en ambas categorías durante el periodo analizado.

En el año 2021, menos de la mitad de los estudiantes (46%) alcanzaban niveles altos en habilidades investigativas, y apenas un 32% demostraban análisis crítico sólido. No obstante, para el año 2024, estos porcentajes aumentan considerablemente a 81% y 74%, respectivamente, lo cual indica que más de tres cuartas partes del estudiantado logró desarrollar competencias clave para la comprensión y aplicación del enfoque Ciencia-Tecnología-Sociedad (CTS).

La progresión favorable de los resultados puede atribuirse, a la implementación continua y sistemática de estrategias de aprendizaje centradas en la indagación y la experimentación a partir de los alimentos propios de la región del Departamento del Huila. Además, la articulación de los conceptos bioquímicos del microdiseño con situaciones reales.

Cuando se analizan los datos sugieren que no solo se están adquiriendo herramientas metodológicas para los conceptos de la Bioquímica, sino que los estudiantes están desarrollando una comprensión más profunda sobre las implicaciones sociales, éticas y ambientales de los fenómenos estudiados. Esto es pertinente con los objetivos del enfoque CTS, que busca formar ciudadanos capaces de tomar decisiones fundamentadas y de participar activamente en su contexto.

Los resultados presentados se alinean con hallazgos de autores como Acevedo (2011) y Rodríguez & Sardà, A. (2000), quienes destacan que el trabajo por proyectos investigativos anclados en problemáticas reales potencia la autonomía intelectual del estudiante y mejora su competencia argumentativa.

Es necesario reconocer que para futuras investigaciones incorporar entrevistas, grupos focales o portafolios reflexivos que permitan triangulación de datos y una visión más integral del proceso formativo.

Conclusiones

- La incorporación del enfoque CTS en los estudiantes de quinto semestre de la licenciatura en Ciencias naturales y Educación Ambiental desde el análisis de alimentos permite una comprensión más profunda y contextualizada de los conceptos bioquímicos, articulados con problemáticas sociales.
- Esta estrategia didáctica fortalece la formación argumentativa de los futuros docentes, promoviendo el desarrollo de habilidades investigativas y una conciencia activa sobre el papel social de la ciencia en las escuelas del Departamento del Huila y Colombia.
- Los datos recolectados entre 2021 y 2024 evidencian un avance en la apropiación del conocimiento científico y el análisis por parte de los estudiantes.
- La combinación de metodologías activas, trabajo colaborativo y socialización de resultados favorece el aprendizaje significativo y responde a los desafíos actuales de la educación científica promoviendo la escritura y participación de eventos de divulgación.

Agradecimientos

Estudiantes de los cursos de Bioquímica de la Licenciatura en Ciencias Naturales y Educación Ambiental de la Universidad Surcolombiana.

Referencias

- [Acevedo Díaz, J. A.-C. (2016). Algo antiguo, algo nuevo, algo prestado. Tendencias sobre la naturaleza de la ciencia en la educación científica. doi:10498/18010
- Aikenhead, G. S. (2000). Renegotiating the culture of school science. *Improving science education: The contribution of research*, 245-264. Obtenido de <https://education.usask.ca/documents/profiles/aikenhead/renegotiating.htm>
- Osborne, J. (2007). Science Education for the Twenty First Century. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 3(3), 173-184. doi:<https://doi.org/10.12973/ejmste/75396>
- Sadler, T. D. (2004). Informal reasoning regarding socioscientific issues: A critical review of research. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 41(5), 513-536. doi:<https://doi.org/10.1002/tea.20009>
- Sadler, T. D. (2004). Informal reasoning regarding socioscientific issues: A critical review of research. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 41(5), 513-536. doi:<https://doi.org/10.1002/tea.20009>
- Sardà, A. (2000). Enseñar a Argumentar científicamente: un reto de las clases de Ciencias. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 18(3), 405-422. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=95013>
- Vázquez Bernal, B. &. (2016). Modelización de un constructo teórico sobre la percepción del alumnado en procesos de indagación en ciencias. doi:10.1387/RevPsicodidact.13000
- Vicente, J. J.-T. (2022). Ideas de futuros profesores de secundaria sobre la naturaleza de la ciencia para la elaboración de criterios formativos en este ámbito. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad* Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92476009006>

Aprender y comprender los polímeros mediante la técnica de electrospinning: aplicaciones de interés tecnológico

Pedro J. Rivero^{1*}, Sergio Ibáñez¹, Rafael J. Rodríguez¹, E. Villabona², Xabier Sandúa², Fernando Veiga²
¹Departamento de Ingeniería, Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica, Campus Arrosadía s/n, Universidad Pública de Navarra, Pamplona, España ²Departamento de Ingeniería, Expresión Gráfica en la Ingeniería, Campus Arrosadía s/n, Universidad Pública de Navarra, Pamplona, España pedrojose.rivero@unavarra.es

Resumen

La ciencia y tecnología de los polímeros representa un factor clave en el ámbito de los materiales a nivel químico que está estrechamente asociado a sus propiedades intrínsecas tales como ligereza, resistencia química, elasticidad, fácil procesamiento y grado de reciclabilidad. Desde el punto de vista de ingeniería de superficies, el electrospinning es una técnica de fabricación avanzada que permite la obtención de nanofibras poliméricas con un alto grado de homogeneidad en función de un estricto y preciso control de los parámetros de la solución polimérica de partida (ej. viscosidad, concentración, peso molecular, disolvente) y de los parámetros operacionales (ej. caudal, voltaje, distancia punta-colector, tipo de colector, temperatura, humedad relativa). Entre las principales ventajas de esta técnica destacan su alto grado de versatilidad ya que se puede aplicar a polímeros de distinta naturaleza (de origen natural y/o sintético), una elevada relación superficie/volumen, producción de fibras de distinta morfología (ej. core/shell, huecas, porosas, alineadas) con un diámetro específico (desde nm hasta μm) y posibilidad de funcionalización compatible con otras técnicas alternativas. A nivel de laboratorio, es un proceso sencillo y económico en donde se trabaja a temperatura ambiente lo cual reduce los costes energéticos. Por último, la descripción de esta técnica desde un punto de vista metodológico y práctico se presenta en la asignatura de Tecnología de Materiales del Grado de Ingeniería de Tecnologías Industriales para aplicaciones de superficies (mojabilidad, corrosión, antibacterianos) y en la asignatura de Materiales Biofuncionales del Grado de ingenie-

ría Biomédica para aplicaciones de nanomedicina desde el punto de vista de regeneración de tejidos y liberación controlada de fármacos.

Introducción

La Ciencia de los Materiales es una disciplina que se dedica al estudio profundo de la naturaleza, estructura química, propiedades, procesamiento y aplicaciones de los diferentes tipos de materiales en sus formas específicas, principalmente en estado de materia condensada, como se encuentran la mayoría de los sólidos y, en algunos casos, líquidos complejos. Esta disciplina de la ciencia busca comprender de forma efectiva cómo las distintas composiciones y estructuras atómicas, moleculares y supramoleculares influyen en el comportamiento final macroscópico de los materiales, así como en su rendimiento en aplicaciones de distinta índole desde el punto de vista tecnológico, científico e ingenieril. El enfoque de la Ciencia de Materiales es eminentemente interdisciplinar, ya que integra de manera sinérgica conocimientos provenientes de diversas ramas científicas, tales como la física, la química, las matemáticas, la ingeniería y la ciencia computacional. Estas disciplinas proporcionan las herramientas necesarias para modelar, caracterizar y diseñar materiales con propiedades específicas. Además, en ciertos campos especializados, la Ciencia de Materiales incorpora conocimientos de otras áreas como la biología, lo cual es especialmente relevante en el desarrollo y estudio de biomateriales: materiales diseñados para interactuar con sistemas biológicos con fines médicos, como prótesis, implantes, andamios para ingeniería de tejidos, entre otros [1].

Gracias a su carácter altamente transversal, esta

disciplina de la ciencia es clave en el desarrollo de tecnologías emergentes como es la nanotecnología. En este sentido, la investigación en Ciencia de Materiales no sólo permite entender el comportamiento fundamental de los materiales existentes, sino también diseñar y fabricar nuevos materiales con funcionalidades a medida, lo que la convierte en un pilar fundamental de la innovación científica y tecnológica del siglo XXI [2]. Una de las técnicas emergentes a nivel nanotecnológico en el ámbito de la ciencia y tecnología de materiales es el electrospinning debido a su alto grado de versatilidad ya que puede emplearse en ámbitos y sectores diferentes como la catálisis [3], energía [4], sensórica [5], industria textil [6] y/o biomedicina [7], entre otros. El fundamento de esta técnica se basa en la aplicación de un campo eléctrico intenso sobre una solución viscoelástica en donde al superar la tensión superficial del fluido, las fuerzas electrostáticas inducen la formación de un chorro fino desde la punta de una aguja o capilar (conocido como “cono de Taylor”), que se estira uniaxialmente mientras viaja hacia un colector. Durante esta trayectoria, el disolvente se evapora y se depositan fibras con diámetros en el rango nanométrico o submicrométrico, conformando una red porosa de alta relación superficie/volumen [8]. Debido a estas propiedades características, la técnica de electrospinning (también conocido como hilado por electrospinning) es un método versátil y en continuo crecimiento en el ámbito de la ingeniería de superficies, particularmente valorado por su capacidad para generar nanofibras con propiedades físico-químicas controladas [9]. Una de las principales ventajas de esta técnica es que se puede implementar a una amplia gama de polímeros tanto de naturaleza sintética (ej. poliácridonitrilo, poliéster o policaprolactona) como a macromoléculas de origen natural (ej. gelatina, quitina, colágeno o alginato), haciendo su campo de aplicación extensible en un amplio abanico de contextos industriales [10]. Además, el electrospinning es

una técnica visual y relativamente sencilla de implementar en el laboratorio, lo que ha facilitado su rápida adopción y expansión en laboratorios de investigación multidisciplinares. Su bajo coste instrumental, junto con la posibilidad de ajustar múltiples parámetros (tensión aplicada, viscosidad, distancia aguja-colector, tipo de polímero, ambiente), permite un alto grado de control sobre la morfología final de las fibras producidas, así como su diámetro y grado de orientación [11], [12].

Por último, la descripción de esta técnica se aborda de manera integral tanto desde un enfoque metodológico como práctico dentro del plan de estudios universitario. En concreto, en la asignatura de Tecnología de Materiales, que forma parte del Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales, se estudian los principios y procedimientos de la técnica para su aplicación en el tratamiento y mejora de superficies. En este contexto, se analizan propiedades clave en el ámbito de la ingeniería de superficies como son el grado de mojabilidad [13], la resistencia química a la corrosión [14] y el comportamiento antibacteriano [15], destacando la versatilidad de la técnica de electrospinning desde un punto de vista de funcionalización superficial y su aplicabilidad sobre diferentes materiales para usos a nivel industrial y/o tecnológico. Por último, de forma paralela, también se presenta esta técnica en la asignatura de Materiales Biofuncionales del Grado en Ingeniería Biomédica desde una perspectiva aplicada a la nanomedicina. En este caso, el enfoque se centra en su potencial para el desarrollo de soluciones avanzadas en la regeneración de tejidos [16], donde los nanomateriales producidos mediante esta técnica pueden actuar como andamios que facilitan la proliferación celular y la reparación de tejidos dañados. Además, se exploran sus aplicaciones en la liberación controlada de fármacos (drug delivery), como una técnica eficaz que permite administrar medicamentos de manera precisa y localizada, mejorando la eficacia terapéutica y minimizando efectos secundarios [17].

Desarrollo experimental

Desde un punto de vista práctico, hay que modular distintos parámetros tanto a nivel de solución polimérica como operacionales para poder obtener las fibras de forma satisfactoria. En la Figura 1, se aprecia el equipo casero de electrospinning compuesto por bomba de caudal, fuente de alto voltaje y colector plano que se ha empleado para la obtención de las fibras poliméricas de interés tecnológico. El polímero seleccionado es la policaprolactona (PCL) porque se trata de un polímero sintético de naturaleza semicristalina, en donde su estructura molecular presenta una combinación de regiones ordenadas (cristalinas) intercaladas con regiones amorfas (ver Figura 2). Esta característica le confiere una combinación única de resistencia mecánica y flexibilidad, haciendo que el material sea idóneo para aplicaciones que requieren estabilidad estructural a largo plazo. Desde el punto de vista químico, el polímero presenta una naturaleza hidrofóbica, lo que significa que tiene una baja afinidad por el agua [18]. Esta propiedad es especialmente relevante en contextos donde se busca evitar la absorción de humedad, como en recubrimientos protectores, sistemas de liberación controlada o dispositivos biomédicos implantables. La hidrofobicidad también puede jugar un papel importante en la adhesión selectiva celular o en la resistencia a la colonización bacteriana [19].

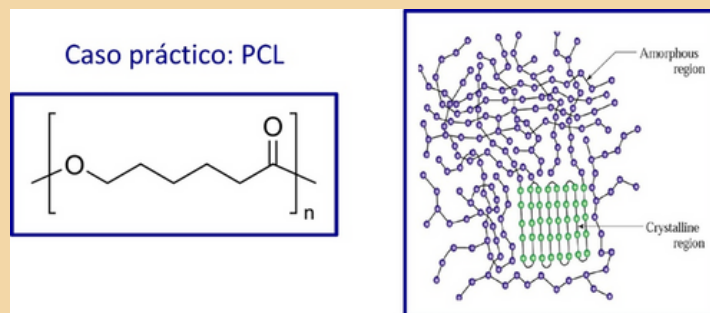


Figura 2. Estructura de la policaprolactona compuesta por regiones cristalinas y amorfas desde un punto de vista químico estructural.

Una de las ventajas clave de este material es su capacidad para ser procesado mediante técnicas como la electrospinning, lo que permite obtener una morfología de fibra ad-hoc. Es decir, se pueden diseñar fibras con diámetros, orientaciones y porosidades específicas, adaptadas a las necesidades de cada aplicación, ya sea en ingeniería de tejidos, sistemas de filtración o superficies funcionalizadas en función de una optimización de los parámetros de fabricación. Además, este polímero cuenta con la aprobación de la Food and Drug Administration (FDA), lo que avala su uso en aplicaciones médicas y farmacéuticas, tanto implantables como no implantables. De hecho, una de sus características más destacadas es su excelente biocompatibilidad, es decir, su capacidad de interactuar con sistemas biológicos sin provocar respuestas inmunológicas adversas. Esta propiedad es fundamental en campos como la medicina regenerativa, la fabricación de prótesis o los sistemas de liberación de fármacos [20]. De acuerdo a estas características, a nivel de laboratorio, se busca una optimización de los parámetros operacionales con el fin de validar el proceso final de fabricación de fibras de PCL que permite controlar con precisión la morfología, el diámetro y la uniformidad de las fibras obtenidas. Entre los parámetros más relevantes se encuentran:

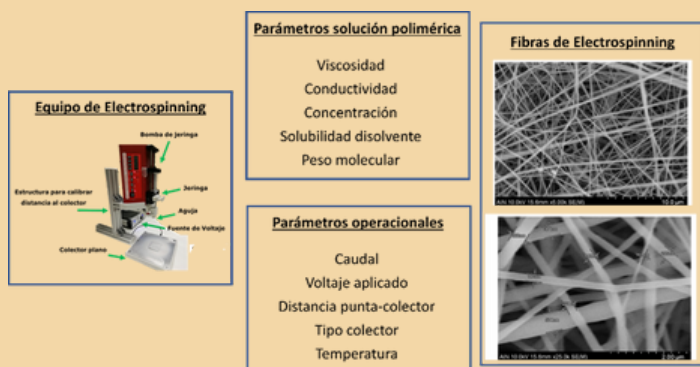


Figura 1. Componentes fundamentales de un equipo de electrospinning casero, destacando los parámetros clave del proceso de fabricación, así como el aspecto final de las fibras tras la optimización de los parámetros operacionales y de solución.

- **Voltaje aplicado:** El voltaje es el responsable de generar el campo eléctrico necesario para vencer la tensión superficial de la solución polimérica y formar el jet. Un voltaje insuficiente puede impedir la formación continua del hilo, mientras que uno excesivo puede provocar inestabilidad del chorro y formación de defectos como perlas o fibras irregulares.
- **Caudal de alimentación:** El caudal determina la cantidad de solución polimérica suministrada al capilar por unidad de tiempo. Un caudal demasiado alto puede resultar en fibras gruesas, con estructuras no deseadas o presencia de gotas, mientras que un caudal demasiado bajo puede interrumpir la continuidad del jet. La tasa óptima depende de la viscosidad de la solución y del régimen de evaporación del solvente.
- **Distancia punta-colector:** Esta distancia influye directamente en el tiempo de vuelo del jet y, por tanto, en la posibilidad de que el solvente se evapore completamente antes de que la fibra llegue al colector. Una distancia demasiado corta puede producir fibras húmedas o fusionadas, mientras que una excesiva puede dispersar las fibras y reducir la precisión del depósito.
- **Concentración de polímero en la solución:** La concentración afecta la viscosidad y la capacidad de formar cadenas poliméricas continuas. Si la concentración es demasiado baja, pueden formarse gotas o fibras discontinuas; en cambio, si es demasiado alta, la solución puede volverse demasiado viscosa para ser electrohilada. Es fundamental encontrar un equilibrio que permita la formación de un jet estable y continuo, con fibras uniformes y libres de defectos.

La interacción entre estos parámetros es compleja y, en muchos casos, requiere de un diseño experimental sistemático (ej. Design of Experiments, DOE) para encontrar las condiciones óptimas para una aplicación determinada [21]. Desde el punto de vista prácti-

co lo que se busca es la optimización del caudal y la tensión aplicada, manteniendo fijo la distancia y la concentración polimérica, con el objetivo de obtener las fibras poliméricas, una vez que se visibilice de forma satisfactoria el cono de Taylor característico (ver Figura 3). Por último, una vez obtenidas las fibras se hace una validación del tamaño de fibra con microscopio óptico y su grado de mojabilidad con un medidor de ángulo de contacto, corroborando el carácter hidrofóbico de las fibras de electrospinning.

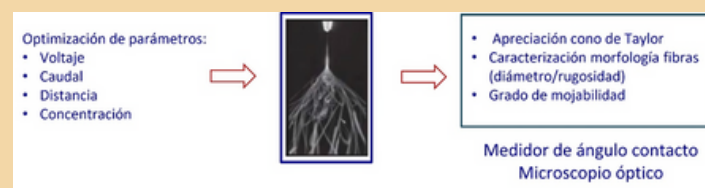


Figura 3. Optimización de los parámetros operacionales (voltaje, caudal, distancia punta-colector) y de solución polimérica (concentración final) para la obtención del cono de Taylor por la técnica de electrospinning.

Conclusiones

Las actividades realizadas han permitido a los estudiantes abordar el aprendizaje de los polímeros desde una perspectiva innovadora, profundizando en el conocimiento de sus distintos tipos, tanto en su naturaleza como en su estructura molecular. Además, se ha integrado el estudio de una técnica de fabricación avanzada como es el electrospinning, con amplias aplicaciones desde un punto de vista ingenieril y ámbito biomédico, especialmente en áreas como la regeneración de tejidos y la liberación controlada de fármacos. Este proceso destaca por su simplicidad y bajo coste, siendo ideal para su implementación en laboratorios académicos, ya que puede realizarse a temperatura ambiente sin requerimientos de equipamientos complejos. Asimismo, la técnica presenta una alta escalabilidad, lo que facilita su transferencia a otras disciplinas científicas, como el tratamiento de superficies para mejorar la resistencia a la corrosión, propiedades antibacterianas o la

fotocatálisis. Finalmente, la valoración por parte de los estudiantes ha sido muy positiva, destacando la utilidad práctica y el interés despertado, lo que sugiere un alto potencial para seguir incorporando esta metodología en futuras formaciones interdisciplinarias.

Bibliografía

- [1] W. D. Callister and D. G. Rethwisch, *Fundamentos de ciencia e ingeniería de materiales*, 2ª ed. México: McGraw-Hill, 2013.
- [2] C. N. R. Rao and A. K. Cheetham, "Science and technology of nanomaterials: Current status and future prospects," *Journal of Materials Chemistry*, vol. 11, no. 12, pp. 2887–2894, 2001.
- [3] Y. Dai, W. Liu, E. Formo, Y. Sun, and Y. Xia, "Ceramic nanofibers fabricated by electrospinning and their applications in catalysis, environmental science, and energy technology," *Polym. Adv. Technol.*, vol. 22, no. 3, pp. 326–338, 2011.
- [4] M. Zafar, S. Muhammad Imran, I. Iqbal, M. Azeem, S. Chaudhary, S. Ahmad, and W. Y. Kim, "Graphene-based polymer nanocomposites for energy applications: Recent advancements and future prospects," *Results Phys.*, vol. 60, art. no. 107655, 2024.
- [5] Z. Wang, S. Wu, J. Wang, A. Yu, and G. Wei, "Carbon nanofiber-based functional nanomaterials for sensor applications," *Nanomaterials*, vol. 9, no. 7, art. no. 1045, 2019.
- [6] P. J. Rivero, A. Urrutia, J. Goicoechea, and F. J. Arregui, "Nanomaterials for functional textiles and fibers," *Nanoscale Res. Lett.*, vol. 10, no. 1, art. no. 501, 2015.
- [7] T. Ghosh, T. Das, and R. Purwar, "Review of electrospun hydrogel nanofiber system: Synthesis, properties and applications," *Polym. Eng. Sci.*, vol. 61, no. 7, pp. 1887–1911, 2021.
- [8] D. Li and Y. Xia, "Electrospinning of nanofibers: Reinventing the wheel?" *Adv. Mater.*, vol. 16, no. 14, pp. 1151–1170, 2004.
- [9] A. Greiner and J. H. Wendorff, "Electrospinning: A fascinating method for the preparation of ultrathin fibers," *Angew. Chem. Int. Ed.*, vol. 46, no. 30, pp. 5670–5703, 2007.
- [10] J. Xue, T. Wu, Y. Dai, and Y. Xia, "Electrospinning and electrospun nanofibers: Methods, materials, and applications," *Chem. Rev.*, vol. 119, no. 8, pp. 5298–5415, 2019.
- [11] J. M. Deitzel, J. Kleinmeyer, D. Harris, y N. C. Beck Tan, "The effect of processing variables on the morphology of electrospun nanofibers and textiles," *Polymer*, vol. 42, no. 1, pp. 261–272, 2001.
- [12] D. H. Reneker y A. L. Yarin, "Electrospinning jets and polymer nanofibers," *Polymer*, vol. 49, no. 10, pp. 2387–2425, 2008.
- [13] P. J. Rivero, D. Yurrita, C. Berlanga, J. F. Palacio, y R. Rodríguez, "Functionalized electrospun fibers for the design of novel hydrophobic and anticorrosive surfaces," *Coatings*, vol. 8, no. 9, Art. no. 300, 2018.
- [14] P. J. Rivero, D. M. Redín, y R. J. Rodríguez, "Electrospinning: A powerful tool to improve the corrosion resistance of metallic surfaces using nanofibrous coatings," *Metals*, vol. 10, no. 3, Art. no. 350, 2020.
- [15] P. J. Rivero, A. Urrutia, J. Goicoechea, Y. Rodríguez, J. M. Corres, F. J. Arregui, y I. R. Matías, "An antibacterial submicron fiber mat with in situ synthesized silver nanoparticles," *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 126, no. 4, pp. 1228–1235, 2012.
- [16] Q. L. Loh y C. Choong, "Three-dimensional scaffolds for tissue engineering applications: Role of porosity and pore size," *Tissue Eng. Part B: Rev.*, vol. 19, no. 6, pp. 485–502, 2013.
- [17] T. J. Sill y H. A. von Recum, "Electrospinning: Applications in drug delivery and tissue engineering," *Biomaterials*, vol. 29, no. 13, pp. 1989–2006, 2008.
- [18] P. J. Rivero, J. P. Fuertes, A. Vicente, Á. Mata, J. F. Palacio, M. Monteserín, y R. Rodríguez, "Modeling experimental parameters for the fabrication of multifunctional surfaces composed of electrospun PCL/ZnO-NPs nanofibers," *Polymers*, vol. 13, no. 24, Art. no. 4312, 2021.
- [19] R. Shi, H. Geng, M. Gong, J. Ye, C. Wu, X. Hu, y L. Zhang, "Long-acting and broad-spectrum antimicrobial electrospun poly (ϵ -caprolactone)/gelatin micro/nanofibers for wound dressing," *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 509, pp. 275–284, 2018.
- [20] S. T. Yohe, V. L. M. Herrera, Y. L. Colson, y M. W. Grinstaff, "3D superhydrophobic electrospun meshes as reinforcement materials for sustained local drug delivery against colorectal cancer cells," *J. Control. Release*, vol. 162, no. 1, pp. 92–101, 2012.
- [21] P. J. Rivero, I. Rosagaray, J. P. Fuertes, J. F. Palacio, y R. J. Rodríguez, "Designing multifunctional protective PVC electrospun fibers with tunable properties," *Polymers*, vol. 12, no. 9, Art. no. 2086, 2020.

¿Con qué pinta la naturaleza a las flores?

Amira Jalil Fragoso-Medina¹, Margarita Cantú Reyes²

¹ Investigadora Jr. en el Departamento de Materia Condensada, del Instituto de Física de la Universidad Nacional Autónoma de México, México.

² Profesora de Carrera Asociada C de Tiempo Completo en la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.



Figura 1. Mosaico de flores.

Resumen

En el presente artículo se dan a conocer conceptos básicos de los enlaces químicos dobles, simples y conjugados para guiar en la comprensión de las moléculas complejas presentes en los pigmentos naturales de las flores. Se nombran los compuestos como los flavonoides que abarcan a las antocianinas y a los carotenoides. Cada grupo de moléculas da un color y tonalidad característica dependiendo del ambiente químico en el que se encuentre. Esta información es útil para dar una aplicación viable a los pigmentos, que va desde indicadores pH, hasta tinción de telas, alimentos y ropa. Además, de su aplicación en la docencia mediante experimentos demostrativos que ayuden al alumnado a entender mejor los conceptos químicos.

Palabras clave

Compuestos químicos; Antocianinas; Flavonas; Carotenos.

Abstract

This article presents basic concepts of single, double, and conjugated chemical bonds to aid in understanding the complex molecules found in the natural pigments of flowers. Compounds such as flavonoids, which include anthocyanins and carotenoids are named. Each group of molecules produces a characteristic color and tone depending on the chemical environment in which it is found. This information is useful for giving pigments viable applications, ranging from pH indicators to dyeing fabrics, food, and clothing. Additionally, it can be applied in teaching through demonstrative experiments that help students better grasp chemical concepts.

Key Words

Chemical compounds; Anthocyanins, Flavones, Carotenos.

Introducción

Afortunadamente existen flores de muchos colores, pero te has preguntado ¿cómo es posible?, bueno pues en este texto te explicamos cómo hay flores de distintos colores.

Te contamos que la humanidad ha descubierto que en la naturaleza existen unas unidades fundamentales llamadas átomos y que cuando se combinan se forman moléculas que al estar presentes en las flores les proporcionan un color característico.

Si con cada combinación diferente de átomos se “arma” un compuesto con propiedades características, entonces se pueden obtener muchos colores para las flores, por ejemplo: las antocianinas dan los colores rojo, morado y azul, los carotenoides dan colores que van del rojo al anaranjado y las xantofilas dan el color amarillo. El color de las flores puede ser más fuerte o tenue debido al ambiente en que se encuentra cada molécula, por ejemplo, la misma molécula en distintas flores puede dar colores diferentes.

Compuestos químicos

De acuerdo con la interpretación actual, la materia existente (todo lo que hay en la naturaleza) está formada por unidades básicas llamadas átomos y su combinación resulta en diferentes arreglos químicos o compuestos, sin embargo, el desconocimiento de ciertos detalles y significados vuelve esta respuesta compleja, y hace necesaria una explicación detallada, la cual se ofrece a continuación.

Un compuesto químico dentro de una flor está formado por átomos unidos con diferente fuerza en función del enlace químico que forme (simple o conjugado o también se les llamas simples o dobles). Al tener mínimo dos átomos, estos interactúan mediante un tipo de enlaces que los mantiene cercanos uno de otro.

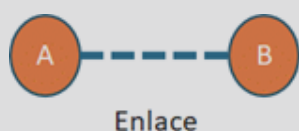


Figura 2. Representación del enlace químico sencillo o simple, en donde A y B simulan diferentes átomos.

Una vez que se ha comprendido la función del “enlace” (mantener unidas o cercanas a los átomos), es relevante que se conozca la existencia de diferentes tipos de enlaces, su diferencia radica en la fuerza con que “mantienen unidos a los átomos”



Figura 3. Representación de dos tipos de enlace químico (simple y doble), en donde A y B simulan diferentes átomos.

Aunque se intuye que un compuesto químico no está formado por la combinación únicamente de dos átomos y un enlace, es aquí donde se introduce el término de “conjugación”, que ocurre en compuestos donde los átomos están unidos mediante enlaces alternados (simples y dobles).

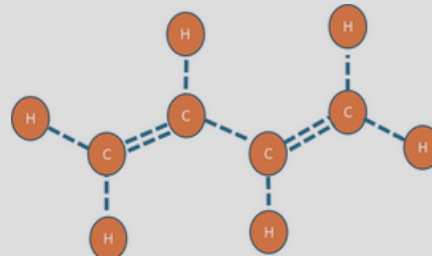


Figura 4. Representación del enlace conjugado, en donde C y H simulan diferentes átomos.

Además, un compuesto químico se forma por la presencia de dos o más átomos unidos entre sí por enlaces de diferentes tipos. Algunos ejemplos son: oxígeno gas (O_2 , compuesto esencial para la respiración), hidrógeno gas (H_2 , considerado un combustible limpio), agua (H_2O , componente más abundante de la superficie terrestre), metano (CH_4 , que se forma a partir de la descomposición de materia orgánica), butadieno (C_4H_6 , se utiliza para fabricar pegamentos y suelas de calzado), benceno (C_6H_6 , compuesto cancerígeno que se puede encontrar en el aire, en el agua, en el suelo y en algunos artículos de limpieza personal), etc., Figura 5.

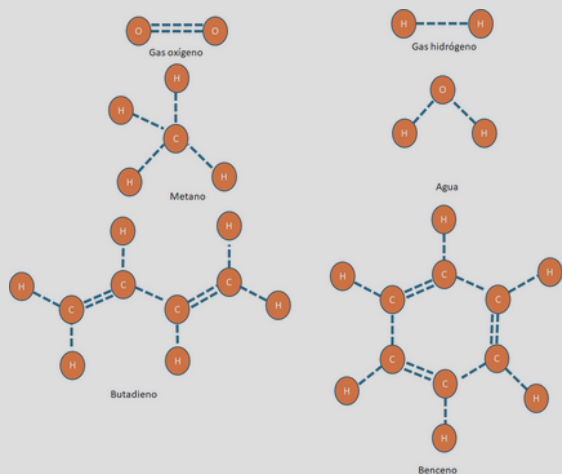


Figura 5. Representación de algunos compuestos químicos, en donde O, H y C simbolizan átomos de: oxígeno, hidrógeno y carbono, respectivamente.

La representación de las estructuras químicas con un mayor número de átomos (cadenas de diez y hasta veinte átomos de carbono) se volvería muy tardado si se tuvieran que colocar todos los átomos involucrados, por lo que se pueden simplificar omitiendo los átomos de hidrógeno, únicamente cuando no forma parte de otra funcionalidad que indica el tipo de compuestos que son (por ejemplo, la funcionalidad -OH indica la presencia de un grupo alcohol), Figura 6.

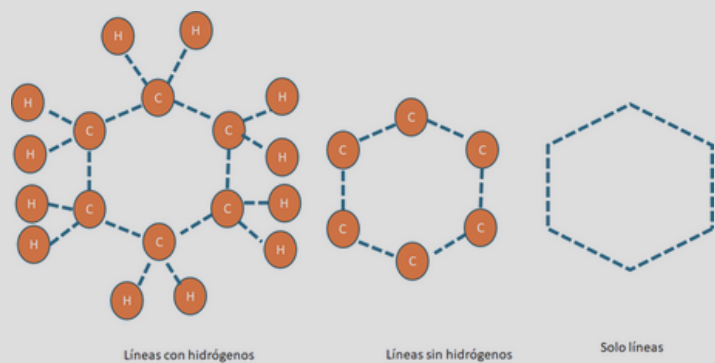


Figura 6. Representación de los compuestos químicos, en forma desarrollada y simplificada en líneas, donde H y C simbolizan átomos de: hidrógeno y carbono, respectivamente.

Finalmente, un compuesto químico puede clasificarse dependiendo de la orientación de sus átomos, la posición de sus enlaces, la carga que se le asigna (positiva o negativa), la capacidad que tiene de protonarse y desprotonarse, el ambiente en que se encuentra (ácido, básico o intermedio).

Los pigmentos de las flores tienen justo esas características, son moléculas que en su estructura química tienen conjugaciones y átomos como el oxígeno que se pueden protonar y átomos de hidrógeno que pueden tomar las bases del medio. Cada forma química da un color y tonalidad diferente. De hecho, estos pigmentos naturales también pueden utilizarse como indicadores químicos para conocer el pH de las sustancias.

La figura 7 muestra las antocianinas, compuestos químicos que dan las coloraciones de rojo, morado y azul dependiendo del ambiente químico en el que se encuentren y de eso dependerán también las tonalidades que adquieran las flores. Algunas flores moradas y violetas son, la lavanda, lila, iris, jacinto, glicina, azafrán, verbena, petunia, salvia, campanilla, violetas entre las más conocidas. Flores azules como, hortencia azul, orquídea azul, campanula, ipomoea y espuela de caballero.

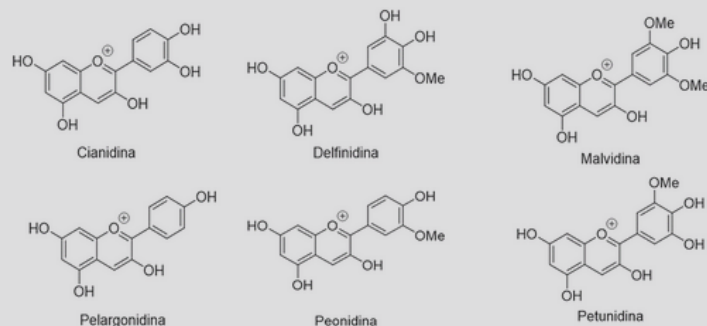


Figura 7. Antocianinas estructuralmente similares que se encuentran presentes en algunas flores.

Flores rojas como la nochebuena, rosas, tulipanes, dalias, hibiscos, amapolas, geranios, camelias, begonias, entre otras y flores amarillas y naranjas como el girasol, el tulipán amarillo, el narciso, la caléndula, lirio, gerbera, crisantemo, cempasúchil y la margarita, se encuentran un tipo de compuestos llamados carotenoides (Figura 8), que dan coloraciones de rojo a naranja a las flores. Estos compuestos también forman parte del mismo grupo de los flavonoides.

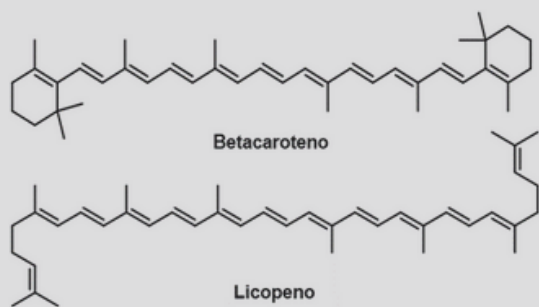


Figura 8. Algunos carotenoides presentes en las flores de color rojo y naranja.

En la figura 9 se encuentran dos estructuras de xantofilas, otro tipo de carotenoides, que dan coloraciones amarillas a las flores.

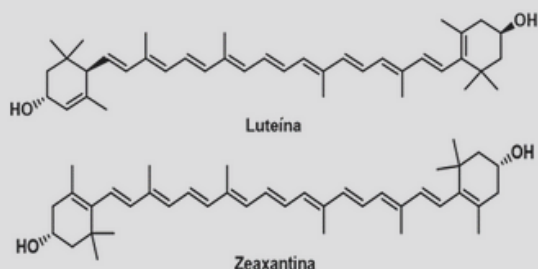


Figura 9. Xantofilas aisladas e identificadas que dan el color amarillo a las flores.

Los diferentes tipos de enlace se representan de la siguiente manera: línea sencilla entre dos puntos (enlace sencillo entre dos átomos de carbono), línea doble (enlace doble entre dos átomos de carbono), enlace tridimensional hacia enfrente del plano en forma de cuña o enlace hacia afuera del plano en forma de línea sesgada ((enlace entre el átomo de oxígeno y el de carbono).

Conclusiones

En el presente texto se introdujeron conceptos básicos de las estructuras químicas de las moléculas presentes en los pigmentos naturales para entender cómo se comportan y porque dan esos colores característicos en las flores.

Al conocer como están formados químicamente los pigmentos y que inconvenientes tienen, es más fácil dirigir sus aplicaciones. Algunos usos que se le pueden dar a los pigmentos son: indicadores químicos naturales para identificar el

pH de diferentes sustancias, tinción de telas naturales, tinción de cabello, tinción de alimentos, entre los más utilizados.

Este conocimiento puede aplicarse en la docencia para realizar experimentos demostrativos que ayuden a entender mejor los fundamentos de temas como: determinación de pH, aromaticidad, conjugación, moléculas orgánicas, el color y la luz, entre otros.

Agradecimiento

Las autoras agradecen Dr. David Atahualpa Contreras Cruz, por sus valiosos comentarios sobre este trabajo.

Crédito de las imágenes

Todas las figuras presentadas en este texto fueron hechas expresamente para esta publicación; las Figuras 1 y 7-9 fueron realizadas por Margarita Cantú Reyes, y las figuras 2-6 fueron realizadas por Amira Jalil Frago-Medina.

Referencias Bibliográficas

- Brera Ghulam Nabi, Kinza Mukhtar, Waqar Ahmed, Muhammad Faisal Manzoor, Muhammad Modassar Ali Nawaz Ranjha, Marek Kieliszek, Zuhair F. Bhat, Rana Muhammad Aadil, Natural pigments: Anthocyanins, carotenoids, chlorophylls, and betalains as colorants in food products. Food Bioscience 52 (2023) 102403. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102403>
- Los pigmentos más frecuentes de las flores no son los que producen colores más llamativos para los polinizadores. <https://www.upo.es/diario/ciencia/2021/11/los-pigmentos-mas-frecuentes-de-las-flores-no-son-los-que-producen-colores-mas-llamativos-para-los-polinizadores/#:~:text=Las%20clorofilas%20producen%20coloraciones%20verdes,de%20girasoles%20y%20narcisos%20amarillos> (página visitada en junio de 2025 y escrita en noviembre de 2021)

Colorantes Naturales como Indicadores de pH

María Eleana Vargas de Nieto ^{1*}, Lucía Suni Torres^{1*}, Jorge Chávez Fernández^{1*} Virginia Lizárraga Lazo ^{1*}.
^{1*}Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Calle Santa Catalina 117, Arequipa, Perú

Resumen

El objetivo de la investigación es introducir conceptos de ácido, base, pH e indicadores a estudiantes de secundaria y universitarios, utilizando extractos de sustancias naturales como col lombarda, remolacha o cúrcuma para crear indicadores de pH caseros. Este método educativo busca hacer el aprendizaje más didáctico y divertido al conectar la naturaleza con la química, permitiendo a los estudiantes observar, experimentar y elaborar sus propias conclusiones.

Palabras clave: colorantes naturales, antocianinas, pH.

1 Introducción

En química se debe complementar la teoría con prácticas de laboratorio para comprenderla en este caso utilizando indicadores naturales y sustancias comunes para medir el pH de forma sencilla y divertida, promoviendo el desarrollo de competencias y el método científico en los estudiantes. Esta estrategia pedagógica facilita la comprensión de conceptos teóricos al permitirles contrastar sus conocimientos previos con la realidad y observar el desarrollo de experimentos de forma activa. [6]

Los colorantes vegetales naturales se obtienen de diversas partes de plantas (hojas, raíces, flores, frutas) y se usan para dar color a alimentos, textiles y cosméticos. Entre los más comunes se encuentran las antocianinas (rojo, púrpura, azul), betalaínas (rojo, amarillo-naranja, carotenoides (amarillo, naranja, rojo) y clorofilas (verde). Los pigmentos naturales son una alternativa a los colorantes artificiales y a menudo aportan beneficios para la salud [2]. algunos colorantes naturales tienen la capacidad de cambiar de color dependiendo del pH del medio en el que se encuentren. [11]

El pH mide la acidez o alcalinidad de una sustancia, utilizando la escala logarítmica de 0 a 14. el valor de 7 es neutro, menor a 7 es ácido y mayor a 7 es básico. Este valor indica la concentración de iones hidronio (H_3O^+) en solución acuosa. [3]

El pH es crucial en procesos biológicos y químicos porque afecta la actividad de enzimas, la disponibilidad de nutrientes y la estabilidad de los productos. El ejemplo de la antocianina ilustra cómo el cambio de pH produce cambio de color, siendo roja o púrpura en medios ácidos (pH, debido a la forma protonada y cambiando a otros colores en medios neutros o alcalinos.

Antocianina + H^+ → Antocianina protonada (color rojo)

En medio básico (pH > 7), la antocianina se desprotona, perdiendo el ion hidrógeno (H^+), lo que hace que la estructura de la molécula cambie y adquiera color azul o verde.

Antocianina → Antocianina desprotonada (color azul o verde)

En medio neutro (pH 7) la antocianina puede estar en una forma intermedia, con una combinación de las formas protonadas y desprotonadas. El color puede ser una mezcla entre rojo y azul, dependiendo del equilibrio entre los protones y las formas desprotonadas. [4]

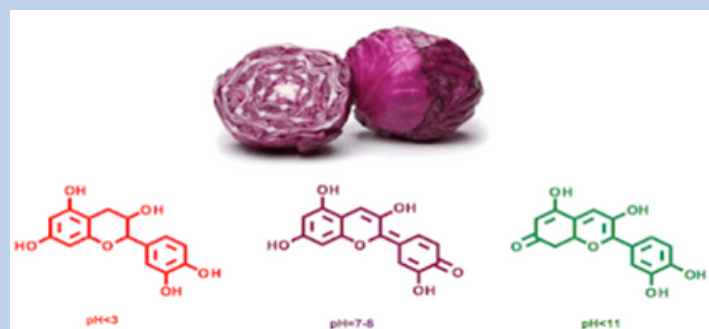


Figura 1. Cambios de en la estructura de la antocianina por variación de pH

Fuente: <https://descubrirquimica2.blogspot.com/2019/08/col-lombarda-indicador-natural-del-ph.html>

La investigación propone usar colorantes naturales de plantas locales como alternativa didáctica y ecológica para enseñar química, específicamente para medir el pH y realizar titulaciones ácido-base. Este enfoque se alinea con los principios de la química verde al ser una opción sustentable, accesible y educativa que minimiza el uso de reactivos tóxicos y peligrosos, fomenta el aprendizaje práctico y aprovecha los recursos de la región. [2]

El estudio sobre productos naturales nativos como indicadores de pH es una forma efectiva y práctica de introducir a estudiantes de secundaria y universitarios en conceptos científicos clave, mientras se fomenta la conciencia ambiental y se valoriza los recursos locales. Este estudio puede replicarse fácilmente en distintos centros educativos usando la flora abundante de cada región. [8] así tenemos:

Las papas nativas (*Solanum tuberosum*), del Perú son un tesoro genético de los andes, domesticado hace miles de años, por las comunidades indígenas y caracterizado por su gran diversidad de formas, colores y sabores únicos. Son altamente nutritivas, contiene antioxidantes, vitaminas y minerales. Su cultivo es ancestral, tradicional, sostenible y de gran valor cultural. [5]

El maíz morado (*Zea mays* L.) variedad originaria de Perú, rica en antocianinas, que le confieren su color y propiedades antioxidantes. Por ello, se utiliza como colorante natural en alimentos como la chicha morada y la mazamorra, además de ser valorado por sus beneficios para la salud cardiovascular, la prevención de la diabetes y el cáncer. En química, su coloración lo hace útil como indicador ácido-base. [9]

La cúrcuma (*Cúrcuma longa*) es una hierba cuyo rizoma, de color amarillo intenso, se usa como condimento, colorante y planta medicinal. Su compuesto activo principal es la curcumina, responsable de propiedades antiinflamatorias, antioxidantes, antimicrobianas y hepatoprotectoras. Por estas características, se considera útil para prevenir y tratar enfermedades crónicas como la artritis y la diabetes. [7]

La pitahaya, o fruta del dragón, del género *Hylocereus moncanthus* ssp es una fruta exótica con pulpa blanca o roja y sabor suave, rica en antioxidantes, vitamina C, fibra y compuestos fenólicos. Sus beneficios para la salud incluyen acción; digestiva, inmunológica y cardiovascular, por el alto contenido en fibra, ayuda al tránsito intestinal y sus antioxidantes fortalecen el sistema inmunológico. La variedad de pulpa roja es rica en betalaínas, pueden usarse como colorantes alimentarios. [10]

La páprika es un condimento en polvo obtenido del secado y molido de variedades específicas de pimientos rojos (*Capsicum annum*), es apreciada por su sabor, aroma y color, el cual se debe a los carotenoides capsantina y capsorubina. El Perú es un importante productor de páprika para la agroexportación, ya que el producto no es picante y tiene valor comercial como colorante natural, fuente de antioxidantes y condimento. Su pigmento también puede cambiar ligeramente de tonalidad según el pH, lo que permite el uso como indicador en contextos educativos. [13]

La flor de jamaica, de la planta *Hibiscus sabdariffa*, se usa por sus cálices rojos intensos para hacer infusiones, bebidas, mermeladas y gelatinas, actuando como colorante natural. Sus propiedades antioxidantes, antihipertensivas, diuréticas y hepatoprotectoras se deben a compuestos como las antocianinas y los flavonoides. Además, las antocianinas sirven como indicador de pH natural en experimentos, ya que el color cambia según la acidez. [1]

La berenjena es una fruta comestible de la familia de las solanáceas, al igual que el tomate, el pimiento y la patata. Es alimento bajo en calorías y rico en fibra, antioxidantes como el ácido clorogénico y vitaminas B₆ y C, así como potasio. [3]

2 Metodología

La metodología descrita consiste en la extracción de pigmentos naturales de productos vegetales (papa negra, cúrcuma, flor de Jamaica, maíz morado, pitahaya, paprika y berenjena) con agua

y etanol. los extractos se utilizan como indicadores de pH caseros para comparar el pH de diferentes soluciones ácido-base, contrastando sus cambios de color con los de indicadores comerciales como la fenolftaleína, el anaranjado de metilo y el papel tornasol.

2.1 Productos vegetales

Los extractos de colorantes naturales, son.

- Papa lomo negro: Solanum tuberosum
- Maíz morado: Zea mays L.
- Cúrcuma: Curcuma longa
- Pitahaya: Hylocereus moncanthus ssp
- Páprika: Capsicum annum L.
- Flor de Jamaica: Hibiscus sabdariffa.
- Berenjena: Solanum melongena.

Las soluciones a experimentar son: carbonato de sodio 5%, hidróxidos de sodio 5%, bicarbonato de sodio 5%, hidróxido de amonio 5%, ácido clorhídrico 5%. ácido acético 5% y agua destilada.

2.2 Materiales y equipos

- Matraces con tapa esmerilada
- Vasos de precipitado
- Pipetas pasteur
- Gradillas
- Tubos de ensayo
- Frascos para reactivos
- Balanza analítica

2.3 Procedimiento

- masar las muestras
- Reducción del tamaño de la muestra.
- Extracción con disolventes: agua y etanol.
- Tiempo de extracción: 24 horas
- Filtrar los extractos
- Realizar las pruebas con diferentes reactivos ácidos y bases.



Figura 2. Extracto etanólico de los productos vegetales: papa lomo negro, maíz morado, cúrcuma, pitahaya, flor de Jamaica y berenjena.

3 Resultados y discusión

Investigación de la papa lomo negro

En la figura (3) se observa los extractos en agua y en etanol y los cambios fisicoquímicos, con sustancias ácidas y básicas, las cuales presenta diferentes variaciones de color de acuerdo al pH experimentado, siendo más intenso el color, en el extracto etanólico, en el rango del rojo a verde.

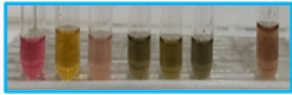

| PAPA LOMO NEGRO | | | | | | |
|--|-----------------------|------------------|----------------|---|-----------------|-----------------|
| Papa lomo negro en agua | | | | Papa lomo negro en etanol | | |
|  | | | |  | | |
| Extracto | HCl | NaOH | CH3COOH | NH4OH | Na2CO3 | NaHCO3 |
| Agua | Rojo grosella | Amarillo verdoso | Morado suave | Verde petróleo | Verde pacay | Verde pacay |
| Etanol | Rojo grosella intenso | Verde pacay | Morado intenso | Verde esmeralda | Verde esmeralda | Verde esmeralda |

Figura 3. Color del extracto de la papa lomo negro al variar el pH

Investigación del colorante del maíz morado

En la figura (4) se observa el comportamiento de los extractos del maíz morado en agua y en etanol frente, sustancias ácidas y básicas, las cuales presenta diferentes variaciones de color de acuerdo al pH presentando mayor intensidad de color en el extracto acuoso, que van desde rojo a azul intenso

| MAÍZ MORADO | |
|--|---|
| Maíz morado en agua | Maíz morado en etanol |
|  |  |

| Extracto | HCl | NaOH | CH ₃ COOH | NH ₄ OH | Na ₂ CO ₃ | NaHCO ₃ |
|----------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|---------------------------------|--------------------|
| Agua | Rojo brillante | Verde pacay | Rojo brillante | Morado rojizo | Morado azulado intenso | Morado rojizo |
| Etanol | Rojo brillante intenso | Verde petróleo intenso | Rojo brillante intenso | Morado azulado | Violeta azulado intenso | Morado azulado |

Figura 4. Color del extracto del maíz morado cambia al variar el pH

Investigación de la cúrcuma

En la figura (5) se observa el comportamiento de los extractos de cúrcuma en agua y etanol y sus diferentes variaciones de color, frente a sustancias ácidas y básicas, las cuales varían de color de acuerdo al pH; presentando mayor intensidad de color en el extracto alcohólico, en el rango del amarillo al rojo sangre.

| CÚRCUMA | | | | | | |
|-----------------|------------------|------------------|----------------------|--------------------|---------------------------------|--------------------|
| Cúrcuma en agua | | | Cúrcuma en etanol | | | |
| | | | | | | |
| Extracto | HCl | NaOH | CH ₃ COOH | NH ₄ OH | Na ₂ CO ₃ | NaHCO ₃ |
| Agua | Amarillo pálido | Amarillo naranja | Amarillo pálido | Rosado pálido | Rosado pálido | Rosado pálido |
| Etanol | Amarillo intenso | Pardo rojizo | Amarillo intenso | Rojo sangre | Rojo sangre | Rojo sangre |

Figura 5. Color del extracto de la cúrcuma cambia al variar el pH

Investigación de la pitahaya

En la figura (6) se observa el comportamiento de los extractos de pitahaya en agua y etanol y sus variaciones con sustancias ácidas y básicas, presentando mayor intensidad de color, el extracto alcohólico, entre el amarillo al morado intenso.

| PITAHAYA | | | | | | |
|------------------|--------------|------------------|----------------------|--------------------|---------------------------------|--------------------|
| Pitahaya en agua | | | Pitahaya en etanol | | | |
| | | | | | | |
| Extracto | HCl | NaOH | CH ₃ COOH | NH ₄ OH | Na ₂ CO ₃ | NaHCO ₃ |
| Agua | Lila claro | Amarillo pálido | Fucsia | Morado intenso | Morado | Morado |
| Etanol | Lila intenso | Amarillo intenso | Fucsia intenso | Verde petróleo | Morado intenso | Morado intenso |

Figura 6. Color del extracto de la pitahaya cambia al variar el pH

Investigación del páprika

En la figura (7) se observa el comportamiento de los extractos de páprika en agua y etanol y variaciones de pH ácido y básico, de acuerdo al pH presentando, mayor intensidad de color esta en el extracto acuoso, el rango es desde anaranjado amarillo a pardo rojizo.

| PÁPRIKA | | | | | | |
|-----------------|-------------------|--------------------|------------------------|--------------------|---------------------------------|--------------------|
| Páprika en agua | | | Páprika en etanol | | | |
| | | | | | | |
| Extracto | HCl | NaOH | CH ₃ COOH | NH ₄ OH | Na ₂ CO ₃ | NaHCO ₃ |
| Agua | Anaranjado rojizo | Anaranjado intenso | Anaranjado amarillento | Anaranjado intenso | Pardo rojizo | Pardo rojizo |
| Etanol | Amarillo | Amarillo | Amarillo | Amarillo | Amarillo | Amarillo |

Figura 7. Color del extracto del páprika cambia al variar el pH

Investigación de la flor de jamaica

En la figura (8) se observa el comportamiento de los extractos de flor de Jamaica en agua y etanol y variaciones de pH ácido y básico, presentando una mejor coloración color en el extracto acuoso, que van de rojo brillante al azul violáceo.

| FLOR DE JAMAICA | | | | | | |
|-------------------------|----------------|------------------------|---------------------------|----------------|--------------|---------------|
| Flor de jamaica en agua | | | Flor de Jamaica en etanol | | | |
| | | | | | | |
| Extracto | HCl | NaOH | CH3COOH | NH4OH | Na2CO3 | NaHCO3 |
| Agua | Rojo brillante | Verde oscuro | Rojo brillante | Rojo brillante | Morado | Morado rojizo |
| Etanol | Rojo brillante | Verde oscuro brillante | Rojo brillante suave | Rojo brillante | Morado claro | Azul violáceo |

Figura 8. Color del extracto de la flor de jamaica cambia al variar el pH

Investigación del extracto de la cáscara de la berenjena

En la figura (9) se observa los extractos en agua y en etanol que fueron sometidos a reacción frente a sustancias ácidas y básicas, las cuales presenta variaciones de color de acuerdo al pH como se muestra en la figura, donde presenta mayor intensidad de color, es en el extracto etanólico.

| BERENJENA | |
|-------------------|---------------------|
| | |
| Berenjena en agua | Berenjena en etanol |
| | |

| Extracto | HCl | NaOH | CH3COOH | NH4OH | Na2CO3 | NaHCO3 |
|----------|---------------------|-------------------|-------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| Agua | Rojo cereza suave | Amarillo pardo | Rojo cereza suave | Rojo cereza intenso | Verde petróleo suave | Verde petróleo suave |
| Etanol | Rojo cereza intenso | Verde pacay suave | Verde pacay suave | Verde pacay suave | Verde pacay suave | Verde pacay intenso |

Figura 9. Color del extracto de la berenjena cambia al variar el pH

Conclusiones

Se validaron los conceptos de ácido-base y pH con extractos de productos naturales de la región, los cuales actúan como indicadores de pH con cambios de color visibles en presencia de ácidos y bases. El etanol demostró ser el mejor disolvente para extraer colorantes que el agua, y los extractos de papa lomo negro, pitahaya roja, flor de Jamaica, cúrcuma y maíz morado resultaron respectivamente ser los más efectivos. Además, se concluye que estos materiales son ideales para la enseñanza, ya que son económicos, ecológicos y fáciles de obtener.

Bibliografía

- Alarcón-Aguilar, F., Zamilpa, A., Pérez-García, M. D., & Román-Ramos, R. (2018). Propiedades farmacológicas de Hibiscus sabdariffa y su aplicación en la medicina tradicional. Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas, 49(1), 34–44.
- Castañeda-Ovando, A., Pacheco-Hernández, M. de L., Páez-Hernández, M. E., Rodríguez, J. A., & Galán-Vidal, C. A. (2009). "Chemical studies of anthocyanins: A review. Food Chemistry", 113(4), 859–871.
- Castillo, O. V. (2020). Estudio de sustancias naturales como indicadores de pH Propuesta didáctica. Anales de Química de la RSEQ, (2), 88-98.
- Cavallini, D. & Bortolomeazzi, R. (2019). La química de las antocianinas: Estudio de la estabilidad y el cambio de color en función del pH. Journal of Food Chemistry, 213, 45-52. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.058>
- Centro Internacional de la Papa (CIP). (2020). Papas nativas del Perú: Diversidad y potencial. <https://cipotato.org/es/papas-nativas-del-peru-diversidad-y-potencial/>
- Corinaldesi S. Intriери M. Abdala F. Laureana Gonzalez L. Salvai A. Constenla D. y Ciolino A. "Colores y números: extractos vegetales como indicadores de pH". <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2024.3.874> 94.

7. Gupta, S. C., Patchva, S., & Aggarwal, B. B. (2013). Therapeutic roles of curcumin: Lessons learned from clinical trials. *The AAPS Journal*, 15(1), 195–218. <https://doi.org/10.1208/s12248-012-9432-8>
8. Nazwar, A. P. (2025). “Exploration of pH Measurement With Natural and Chemical Indicators”. *Journal of Natural Sciences and Learning*, 4(1), 41-46.
9. Pérez, J., & Valle, M. (2019). Propiedades funcionales y usos del maíz morado (*Zea mays* L.) en la salud humana. *Revista Peruana de Ciencias Agropecuarias*, 21(2), 45-52. <https://doi.org/10.33326/26176068.2019.2.45>
10. Rodríguez, L., Jiménez, A., & Hernández, M. (2018). Composición química y propiedades funcionales de la pitahaya (*Hylocereus* spp.): Una revisión. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 9(1), 55–66.
11. Rodríguez, R., & García, P. (2018). Colorantes naturales de origen vegetal: Propiedades y aplicaciones. Editorial Universitaria.
12. Urquiza, E., & Sánchez, N. D. J. (2019). “Extracto del maíz morado como indicador químico”. Extracto del maíz morado como indicador químico. *Revista Chakiñan de Ciencias Sociales y Humanidades*, (9), 92-104.
13. Vallejos-Torres, M. G., & Chávez-Gonzales, M. L. (2021). Compuestos bioactivos y potencial funcional de la paprika (*Capsicum annuum*): Aplicaciones alimentarias e industriales. *Revista Peruana de Agroindustria*, 5(2), 78–85.

El hidrógeno como herramienta educativa: aprendizaje práctico para los ingenieros energéticos del futuro

E. Iniesta-López*, A. Hernández-Fernández, A. Sánchez-Zurano, Y. Garrido, A. Pérez de los Ríos, J. Quesada-Medina and F.J. Hernández-Fernández

¹Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Química, Universidad de Murcia (UMU), Campus de Espinardo, E-30100, Murcia, España

* eduardo.inestal@um.es

Resumen

El hidrógeno está emergiendo como un elemento clave en la descarbonización de los sectores industriales, la transición energética y las soluciones de almacenamiento de energía. Sin embargo, su adopción generalizada depende de una mano de obra altamente cualificada, capaz de afrontar los retos tecnológicos, económicos y de sostenibilidad. La formación en ingeniería debe evolucionar para ofrecer al alumnado una exposición práctica a las tecnologías del hidrógeno, complementando la enseñanza teórica tradicional. Este estudio presenta un enfoque educativo práctico diseñado para potenciar la implicación del estudiante y su comprensión conceptual sobre la producción, almacenamiento y uso del hidrógeno en sistemas de pilas de combustible.

La experiencia educativa integra fuentes de energía renovables y conversión electroquímica mediante una serie estructurada de experimentos con equipos didácticos de Horizon Educational. El alumnado explora primero las propiedades del hidrógeno y su papel en la transición energética, poniendo énfasis en sus métodos de producción actuales, principalmente a partir de combustibles fósiles (hidrógeno gris y negro), y en la necesidad urgente de producir hidrógeno verde a partir de fuentes renovables. Se abordan aplicaciones clave, especialmente en procesos industriales de alto consumo (como el Haber-Bosch, industrias de alta temperatura, o transporte pesado), donde el hidrógeno desempeña un papel fundamental en las estrategias de descarbonización.

Introducción

El hidrógeno, entendido como molécula diatómica (H_2), formada por la combinación de dos átomos de hidrógeno, es una sustancia muy estable y difícil de transformar sin la ayuda de catalizadores. Su relevancia energética ha dado lugar a diversas clasificaciones según su origen y huella de carbono. Así, se distingue el hidrógeno fósil, producido a partir de combustibles como gas natural o carbón, y responsable de elevadas emisiones de CO_2 (gris, negro o marrón); el hidrógeno renovable o “verde”, generado mediante electrólisis con energías limpias; y el hidrógeno bajo en carbono, que incluye opciones como el “azul” (con captura y almacenamiento de carbono), el “turquesa” (procedente de pirólisis de metano) y el “amarillo” o “púrpura”, producido a partir de energía nuclear o de la red eléctrica (Griffiths et al., 2021). En 2022, el hidrógeno representaba menos del 2% del consumo energético de Europa, siendo casi en su totalidad de origen fósil. Ante este panorama, la Unión Europea ha situado al hidrógeno renovable como una pieza clave para avanzar hacia la descarbonización. En este contexto, la estrategia REPowerEU plantea producir e importar 10 millones de toneladas para 2030, con el objetivo de que en 2050 cubra un 10% de la demanda energética, especialmente en los sectores industrial y del transporte (REPowerEU, n.d.). No obstante, su adopción generalizada depende en gran medida de contar con una fuerza laboral altamente cualificada, capaz de afrontar los retos tecnológicos, económicos y de sostenibilidad que implica el desarrollo del hidrógeno. En este sentido, la formación en ingeniería debe evolucionar para ofrecer al estudiantado una pre-

paración más completa, que combine la enseñanza teórica tradicional con experiencias prácticas vinculadas a las tecnologías emergentes del hidrógeno. Solo así se garantizará una transición energética eficaz y sostenible, con profesionales preparados para liderar el cambio.

Una revisión bibliográfica reciente intentó responder qué conocimientos, habilidades y atributos son clave para el desarrollo de una fuerza laboral en ingeniería del hidrógeno. Sin embargo, la literatura disponible no ofreció respuestas completas ni evidencia suficiente sobre competencias técnicas o sociotécnicas necesarias para el sector. Esta carencia revela una oportunidad para futuras investigaciones que involucren a profesionales y empleadores en el diseño de programas educativos alineados con las necesidades reales del sector (McHenry et al., 2024). Esta necesidad ya ha sido reconocida en países como EE. UU., donde el proyecto Hydrogen Energy in Engineering Education (H2E3) busca formar ingenieros en tecnologías de hidrógeno y pilas de combustible. Liderado por el Schatz Energy Research Center, integra actividades prácticas con kits de laboratorio y colaboraciones con la industria. Los primeros resultados muestran una valoración muy positiva por parte del alumnado, destacando su carácter motivador y formativo (Cashman et al., 2010). También en España se ha reconocido la importancia de la formación en el ámbito del hidrógeno. En este sentido, el Campus de Excelencia Internacional Andalucía TECH ha desarrollado varias titulaciones conjuntas entre las Universidad de Sevilla (US) y Universidad de Málaga (UMA), destacando el grado en Ingeniería de la Energía. Esta titulación ofrece una formación especializada en generación, transformación y gestión energética, e incluye una asignatura optativa transversal titulada Sistemas basados en hidrógeno (4,5 ECTS), ubicada en el último cuatrimestre del cuarto curso. En ella se abordan tanto aspectos técnicos como económicos e industriales del uso del hidrógeno, desde su producción y almacenamiento hasta su aplicación en pilas de

almacenamiento hasta su aplicación en pilas de combustible, permitiendo al alumnado desarrollar competencias clave para el diseño, simulación y análisis de tecnologías relacionadas con el hidrógeno (Rodríguez et al., 2018).

Desarrollo

La propuesta formativa combina el uso de energías renovables con procesos de conversión electroquímica, a través de una secuencia organizada de experimentos prácticos utilizando equipamiento educativo desarrollado por Horizon Educational (Figura 1).



Figura 1. Descripción general del montaje experimental utilizado en el taller de hidrógeno, que incluye fuentes de energía renovables (panel solar, turbina eólica), un electrolizador PEM, una pila de combustible de hidrógeno y modelos moleculares para la visualización conceptual.

La parte experimental de esta metodología comienza con un proceso de electrólisis mediante un electrolizador PEM, alimentado por paneles solares o una turbina eólica. Esto permite al alumnado observar en tiempo real la generación de hidrógeno, que se almacena en un pequeño globo, visualizando así la conversión de energía renovable en energía química. Este sencillo pero potente experimento pone de relieve el potencial del hidrógeno como vector energético capaz de superar la intermitencia de las fuentes renovables.

A continuación, los estudiantes ven cómo el hidrógeno almacenado alimenta un coche de pila de combustible (H₂GP Sprint Car) (Figura 2).



Figura 2. Representación esquemática del coche impulsado por hidrógeno, que ilustra sus componentes clave: depósito de almacenamiento de hidrógeno, pila de combustible PEM y sistema de transmisión de potencia (Horizon Educational - Homepage, n.d.).

Seguidamente, el coche previamente cargado se desplaza de forma autónoma por una pista de prácticas de 20 metros (Figura 3).



Figura 3. Foto del coche empleado y pista empleada.

Esta actividad ofrece una representación tangible de la movilidad impulsada por hidrógeno, reforzando el vínculo entre la energía electroquímica y el transporte sostenible. La metodología práctica no solo incrementa la motivación, comprensión y retención a largo plazo del alumnado, sino que también estimula el pensamiento crítico en torno a la viabilidad técnica y económica de los sistemas energéticos basados en hidrógeno.

A su vez, esta experiencia práctica se combina con la explicación de aplicaciones clave del hidrógeno en procesos industriales de alto consumo (como el Haber-Bosch, industrias de alta temperatura, o transporte pesado), donde el hidrógeno desempeña un papel fundamental en las estrategias de descarbonización (Dincer & Acar, 2015).

Conclusiones

Estas experiencias alinean la formación con estrategias de intensificación de procesos, orientadas a mejorar la eficiencia, reducir costes y escalar la producción y uso del hidrógeno. La integración de demostraciones interactivas en la enseñanza de la ingeniería energética no solo cierra la brecha entre teoría y práctica, sino que también prepara a los futuros ingenieros para contribuir activamente al desarrollo de una economía del hidrógeno sostenible y en constante evolución.

Bibliografía

- Cashman, E., Engel, R., & Lehman, P. (2010). Work in progress - Hydrogen Energy in Engineering Education (H 2E3). Proceedings - Frontiers in Education Conference, FIE. <https://doi.org/10.1109/FIE.2010.5673544>
- Dincer, I., & Acar, C. (2015). Review and evaluation of hydrogen production methods for better sustainability. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(34), 11094–11111. <https://doi.org/10.1016/J.IJHYDENE.2014.12.035>
- Griffiths, S., Sovacool, B. K., Kim, J., Bazilian, M., & Uratani, J. M. (2021). Industrial decarbonization via hydrogen: A critical and systematic review of developments, socio-technical systems and policy options. *Energy Research & Social Science*, 80, 102208. <https://doi.org/10.1016/J.ERSS.2021.102208>
- Horizon Educational - Homepage. (n.d.). Retrieved June 18, 2025, from <https://www.horizoneducational.com/>
- McHenry, R., Krishnan, S., & Tuck, L. (2024). Knowledge, skills, and attributes needed for developing a hydrogen engineering workforce: A systematic review of literature on hydrogen engineering education. *International Journal of Hydrogen Energy*, 72, 380–387. <https://doi.org/10.1016/J.IJHYDENE.2024.05.380>
- REPowerEU. (n.d.). Retrieved June 18, 2025, from https://commission.europa.eu/topics/energy/repowereu_en
- Rodríguez, E. A., Rosa, F., Pino, F. J., & Guerra, J. (2018). Experiences in teaching Hydrogen Technologies in the framework of the International Campus of Excellence Andalucía TECH (120). Costa Del Sol, Spain. <http://www.andaluciatech.org/en/education/joint-degrees/energy-engineering>

Fotoquímica: cuando la naturaleza inspira las soluciones que iluminan nuestro futuro

Alberto Blázquez-Moraleja, Lorena Tamarit
 Instituto Mixto de Tecnología Química, Universitat Politècnica de València-Consejo Superior de Investigaciones Científicas,
 Avda. de los Naranjos s/n, Valencia E-46022, España.
 ablamor@itq.upv.es, lotama@itq.upv.es

Resumen

Desde la fotosíntesis hasta la fotólisis del ozono estratosférico, los procesos naturales guiados por la luz inspiran tecnologías innovadoras que ofrecen esperanza para construir un futuro más sostenible y con mayor calidad de vida. En este contexto nace la fotoquímica, una disciplina que explora cómo la luz puede desencadenar reacciones químicas en sistemas naturales y artificiales, con aplicaciones fundamentales en el tratamiento de aguas, la generación de energía y la medicina. Desde el punto de vista medioambiental, la fotocatalisis (especialmente heterogénea) emerge como una herramienta eficaz para eliminar contaminantes orgánicos persistentes e inactivar microorganismos en aguas. En el campo de la energía, la fotólisis del agua representa una vía prometedora para producir hidrógeno, considerado un vector energético limpio y sostenible. En biomedicina, la terapia fotodinámica demuestra el potencial terapéutico de la luz al permitir el tratamiento localizado de ciertos tipos de cáncer, reduciendo los efectos adversos en comparación con otras terapias convencionales. Los avances científicos de las últimas décadas, especialmente en el desarrollo de nuevos materiales fotoactivos, han permitido optimizar la eficiencia, la selectividad y aplicabilidad de estos procesos fotoquímicos, consolidando la fotoquímica como una aliada clave en la transición hacia un modelo de desarrollo más responsable con el medioambiente y la salud humana.

La luz que transforma la vida: una mirada a la fotoquímica en la naturaleza

La luz no solo ilumina nuestro entorno, también impulsa algunos de los procesos más fundamen-

tales para la vida en la Tierra. Desde que el planeta es planeta, la radiación solar ha sido mucho más que una fuente de energía térmica, ha sido el motor invisible de reacciones químicas esenciales que ocurren en organismos, en la atmósfera y en el medio ambiente (Figura 1).

Uno de los ejemplos más conocidos es la fotosíntesis, el proceso mediante el cual las plantas convierten la energía del sol en alimento, liberando oxígeno como subproducto. Sin este mecanismo, la vida tal como la conocemos no existiría. Otro caso fascinante es la visión en animales, basada en complejas reacciones fotoquímicas que ocurren en nuestros ojos cuando la luz incide sobre los pigmentos visuales.^{1,2} Incluso fenómenos ambientales globales, como el agotamiento de la capa de ozono, tienen una raíz profundamente fotoquímica. En la estratósfera, a más de 15 kilómetros sobre la superficie terrestre, se encuentra una capa rica en ozono que actúa como un escudo natural frente a la radiación ultravioleta (UV). Sin embargo, ciertos compuestos generados por la actividad humana, como los clorofluorocarbonos (CFC), halones y otros halocarbonos, pueden liberar radicales bajo la acción de la luz UV que aceleran la descomposición del ozono. Este proceso ha contribuido a la aparición de los conocidos agujeros en la capa de ozono, con implicaciones directas para la salud y los ecosistemas terrestres.³ Otro ejemplo es el uso de la luz para resolver problemas de salud. En los recién nacidos con ictericia, la exposición a luz azul-verdosa permite transformar la bilirrubina en derivados hidrosolubles, facilitando su eliminación y evitando daños neurológicos.^{3,4} Esta terapia no invasiva se basa directamente en principios de fotoquímica biológica.

La observación de procesos naturales impulsados por la luz ha contribuido significativamente a comprender y expandir el campo de la fotoquímica, la disciplina que estudia cómo la radiación lumínica puede inducir transformaciones químicas. Gracias a esta comprensión, hoy sabemos que la luz puede activar reacciones de forma controlada, sin necesidad de calor ni reactivos agresivos, lo que convierte a la fotoquímica en una herramienta clave para el desarrollo de soluciones más sostenibles.

De la inspiración a la acción: la fotoquímica en la ciencia del siglo XXI

A lo largo de la historia, la luz ha sido mucho más que una fuente de energía, ha sido una fuente de inspiración. Ha guiado a científicos y científicas que soñaban con transformar el modo en que interactuamos con la materia y con nuestro entorno. Mucho antes de que existieran paneles solares o terapias con láser, ya se intuía el potencial transformador de las reacciones inducidas por la luz. A principios del siglo XX, en un contexto industrial dominado por el carbón y otros combustibles fósiles, algunos visionarios comenzaron a imaginar un futuro diferente, un mundo en el que la luz solar no solo iluminara, sino que también impulsara procesos químicos útiles, limpios y eficientes. Uno de los primeros en verbalizar esa visión fue el Profesor Giacomo Ciamician, químico pionero de la Universidad de Bolonia (Italia).⁵ En una época en la que hablar de fotoquímica parecía ciencia ficción, él propuso un cambio de paradigma: utilizar directamente la energía del sol para transformar la materia, sin recurrir a fuentes contaminantes. Su pensamiento, adelantado a su tiempo, sentó las bases filosóficas de una ciencia que apenas comenzaba a despuntar.

Hoy, más de cien años después, la fotoquímica ha dejado de ser una especulación teórica para convertirse en una herramienta fundamental en la búsqueda de soluciones sostenibles. Ya no hablamos solo de transformar la luz en electricidad, sino de emplearla para descontaminar aguas, activar procesos terapéuticos o producir combustibles limpios sin emisiones. Gracias al desarrollo de materiales avanzados (fotocatalizadores) y métodos que emplean la luz para activar reacciones, la fotoquímica se ha consolidado en laboratorios de todo el mundo como una herramienta práctica y eficaz para enfrentar algunos de los mayores retos actuales.

La revolución que Ciamician imaginó no solo está en marcha, sino que abarca más áreas de las que él mismo imaginó. A continuación, exploraremos algunas de las aplicaciones más

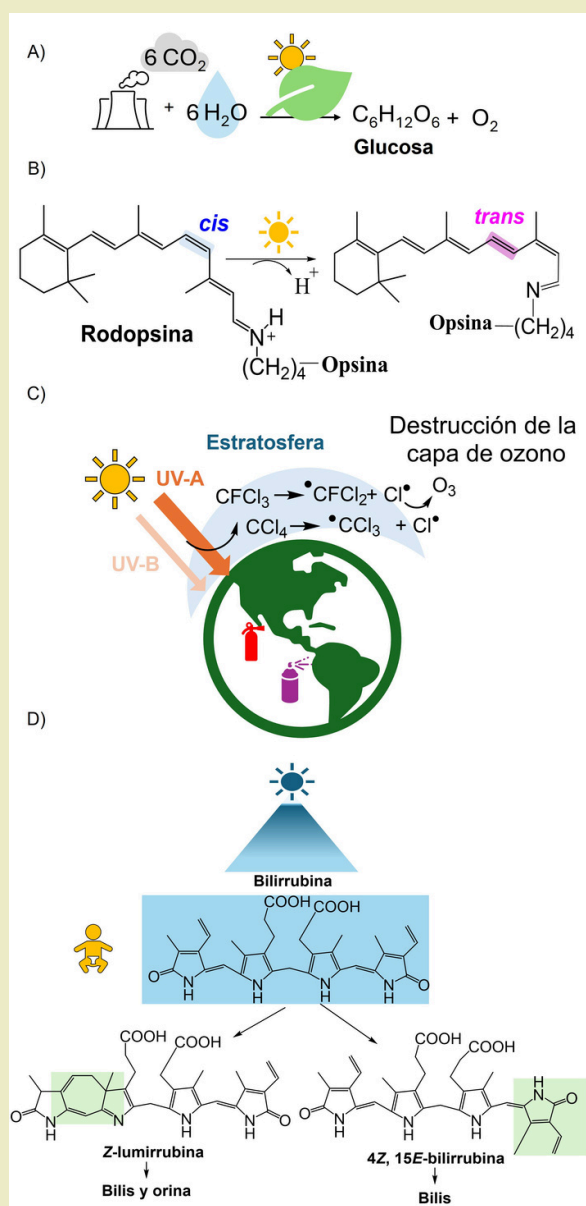


Figura 1. Procesos fotoquímicos representativos en sistemas naturales y biomédicos. A) fotosíntesis vegetal, B) visión animal, C) descomposición del ozono estratosférico y D) fototerapia neonatal para tratar la ictericia.

relevantes de la fotoquímica moderna en tres áreas clave: la descontaminación ambiental, la generación de energía renovable y el desarrollo de nuevas terapias médicas basadas en la luz.

El agua, un recurso vital en riesgo y la fotoquímica como solución emergente

El agua es un recurso esencial que enfrenta una creciente crisis debido a la combinación de escasez y contaminación. Actualmente, más del 30 % de la población mundial sufre problemas relacionados con la falta de agua potable segura, y se estima que esta cifra seguirá aumentando en las próximas décadas debido al crecimiento demográfico y al cambio climático.⁶ Además, la contaminación por sustancias como medicamentos, pesticidas, microplásticos y bacterias resistentes a antibióticos agrava la situación, dificultando la depuración efectiva con las tecnologías tradicionales. En España, por ejemplo, un 20,6% del territorio está bajo estrés hídrico, y recientes informes señalan que más del 14% del país enfrenta emergencias por escasez de agua.⁷

Frente a esta realidad, la Agenda 2030 de la ONU destaca el acceso a agua limpia, saneamiento e higiene como uno de sus 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 6), subrayando la necesidad de garantizar una gestión sostenible del recurso hídrico para proteger la salud humana y los ecosistemas. La legislación ambiental se ha vuelto más estricta, imponiendo límites cada vez más exigentes para la calidad del agua que llega a ríos, mares y sistemas de consumo humano.⁸

Sin embargo, muchas plantas depuradoras convencionales no están preparadas para eliminar estos contaminantes emergentes, lo que exige la innovación en tecnologías más eficientes y sostenibles. En este contexto, la fotoquímica se presenta como una solución prometedora a través de los llamados procesos de oxidación avanzada (Advanced Oxidation Processes, AOPs).

Los AOPs se definen como procesos que generan in situ radicales altamente reactivos

para degradar contaminantes orgánicos de manera eficaz. El radical hidroxilo ($\cdot\text{OH}$) es la especie reactiva más común, pero también intervienen otras especies reactivas de oxígeno (ROS) como el oxígeno singlete, el superóxido y radicales derivados de persulfato, carbonato o nitrato, las cuales influyen tanto en la velocidad y mecanismos de reacción como en los productos finales. La generación de estos radicales puede lograrse mediante diversos procesos, que se agrupan en cuatro grandes categorías: basadas en ozono, impulsadas por radiación (como la luz ultravioleta), catalíticas (como la fotocatalisis) y otros métodos físicos de alta energía.^{9,10} En particular, la fotocatalisis se ha consolidado como una de las estrategias más prometedoras dentro de los AOPs para eliminar contaminantes orgánicos e inactivar microorganismos mediante el uso de luz como fuente de activación. Los procesos basados en fotocatalisis se dividen en dos categorías: homogéneos y heterogéneos.

En los procesos homogéneos, la luz activa compuestos disueltos en el agua como el peróxido de hidrógeno (H_2O_2), cloro, ozono o persulfato, generando radicales altamente reactivos, como el radical hidroxilo ($\cdot\text{OH}$). Por ejemplo, en el proceso UV/ H_2O_2 , ampliamente utilizado en el tratamiento de agua potable y de reutilización, la luz ultravioleta rompe el peróxido, generando radicales hidroxilo ($\cdot\text{OH}$) que oxidan contaminantes orgánicos difíciles de eliminar. Otros procesos como UV/cloro o UV/persulfato generan especies adicionales como radicales cloro ($\cdot\text{Cl}$) o sulfato ($\cdot\text{SO}_4$), lo que permite adaptar el tratamiento a distintos tipos de contaminantes. Sin embargo, estos procesos pueden requerir alta cantidad de reactivos o generar subproductos no deseados, lo que ha impulsado la búsqueda de alternativas más sostenibles, especialmente aquellas que puedan aprovechar la energía solar.⁹

En este contexto, la fotocatalisis heterogénea adquiere un papel protagonista. Se basa en el uso de materiales semiconductores como el dióxido de titanio (TiO_2) o el óxido de zinc (ZnO), que al ser iluminados generan especies reactivas

capaces de degradar compuestos orgánicos persistentes (Figura 2). Para facilitar su uso y recuperación, estos materiales pueden inmovilizarse sobre soportes macroscópicos (por ejemplo, lana de vidrio, tejidos o materiales porosos).¹¹ Esta estrategia también se ha aplicado con fotocatalizadores orgánicos, como el rosa de bengala o la eosina Y, que al fijarse sobre una matriz sólida no solo permiten su recuperación y reutilización, sino que además mejoran su estabilidad química durante los procesos de descontaminación o desinfección.^{12,13} Aunque esta tecnología aún enfrenta ciertos retos, como la mejora de la eficiencia fotocatalítica o su integración en reactores prácticos a escala real, los avances recientes en el desarrollo de nuevos fotocatalizadores y en sistemas de iluminación más eficientes, como los LED UV, están allanando el camino hacia su implementación.

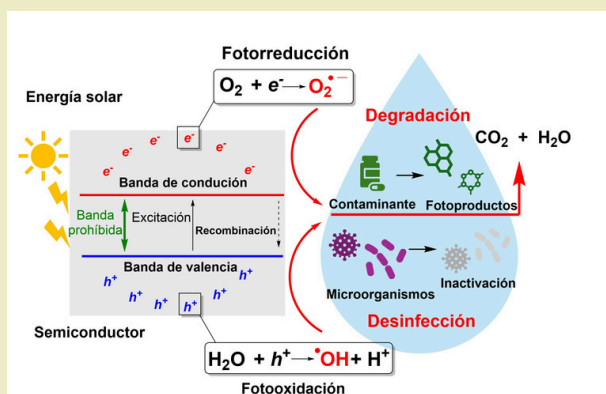


Figura 2. Mecanismo de fotocatalisis basada en semiconductores para degradación/desinfección de aguas.

La fotosíntesis artificial como estrategia para construir un sistema energético sostenible

En la actualidad, gran parte de la energía consumida proviene de la quema de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo o el gas, los cuales producen gases de efecto invernadero, responsables del cambio climático. La Agenda 2030 establece como su objetivo 7 “garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos”. Este compromiso reconoce la elevada demanda energética por parte de distintos sectores, tales

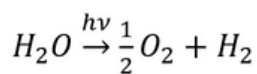
como la agricultura, la industria, el sector médico o educativo, así como la necesidad de crear un sistema energético más sostenible a largo plazo.⁸ En este sentido, las Naciones Unidas señalan al consumo de energías fósiles como la principal causa del cambio climático, siendo responsable del 60% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero. Así, se destaca la necesidad urgente de invertir en fuentes de energía limpia, ampliando y mejorando infraestructuras y tecnología para conseguir cubrir la creciente demanda energética global y poner freno al cambio climático. En especial, el Acuerdo de París de 2015 establece en el horizonte político del siglo XXI la descarbonización sistemática y profunda como principal vector de transformación del sector de la energía, marcando como objetivo limitar a 1,5 °C, con un máximo de 2 °C, el aumento global de la temperatura del planeta.¹⁴

Con la creciente industrialización global y sobreexplotación de fuentes de energía no renovables, la emisión de gases de efecto invernadero, principalmente de CO₂, continúa siendo un gran problema que conlleva como principal consecuencia el aumento global de la temperatura. Desde los inicios de la revolución industrial en 1850, la concentración atmosférica de CO₂ ha crecido cerca de un 50 %, alcanzando 419 ppm en 2021. La predicción para el año 2100 es de entre 541 ppm y 970 ppm en función del consumo de combustibles fósiles, lo que implicaría un aumento de la temperatura global de entre 2 y 5 °C sobre la temperatura global previa a la industrialización. Un aumento tan significativo de la temperatura global del planeta acarrearía consecuencias climatológicas catastróficas.¹⁵ Sin medidas ni tecnologías suficientemente efectivas para reducir y controlar las emisiones de CO₂, los efectos negativos del cambio climático continuarán aumentando, causando graves catástrofes naturales y pérdida de biodiversidad a nivel mundial. Ante el alarmante escenario actual, resulta necesario no solo reducir las emisiones de CO₂ a la atmósfera, sino también tratar de eliminarlo para alcanzar emisiones netas de CO₂ cero o incluso negati-

vas, impulsando distintas medidas económicas, medioambientales y tecnológicas. La transición energética de fuentes de energía fósiles hacia fuentes de energía renovables es crítica para alcanzar dicho objetivo.¹⁶

El uso de la luz solar representa una solución competente para la producción de energía renovable de un modo respetuoso con el medio ambiente, que no sólo produce bajas emisiones de CO₂, sino que además es una solución robusta y resiliente de cara al futuro. Para los científicos, la energía solar es una fuente de energía extremadamente atractiva puesto que a la superficie terrestre nos llegan 130000 TW/año, una cantidad muy superior a los 16 TW/año consumidos por el ser humano a nivel mundial.¹⁷ Inspirados por el proceso natural de la fotosíntesis, mediante el cual las plantas verdes convierten la energía solar en energía química en forma de carbohidratos e hidrógeno, los científicos han concentrado sus esfuerzos en desarrollar una tecnología de fotosíntesis artificial que consiga aprovechar la energía solar para convertirla en energía química de una manera eficiente y económica.

Se trata de la disociación o división de moléculas de agua en hidrógeno y oxígeno, una reacción clave para almacenar y transportar energía de forma limpia y sostenible gracias a la generación de hidrógeno (Ecuación 1).



Ecuación 1

Desde que Fujishima y Honda descubrieron la fotólisis del agua en electrodos de óxido de titanio (TiO₂) en 1972 (figura 3), la fotocatalisis ha recibido gran atención por sus prometedoras aplicaciones en la producción de energía renovable. Este descubrimiento marcó un hito al demostrar que la luz podía desencadenar reacciones químicas de gran utilidad en materiales comunes. A partir de ese momento, la fotocatalisis se vio fuertemente impulsada, lo que ha llevado a un rápido desarrollo de la investigación dentro de este campo en las últi-

mas décadas.¹⁷ Especialmente, la fotólisis del agua destaca frente a otras alternativas para disociar el agua, como son la termoquímica o la electrólisis, por aprovechar directamente la luz solar para la producción de hidrógeno, que es un recurso renovable de gran disponibilidad.¹⁸

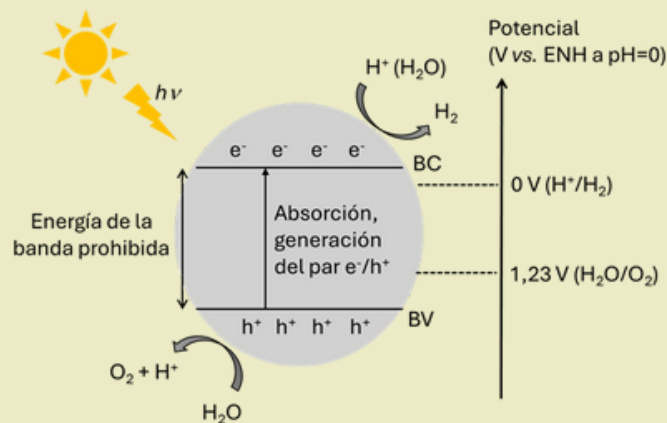


Figura 3. Representación esquemática de la fotólisis del agua para la producción de hidrógeno en presencia de un fotocatalizador de tipo semiconductor.

Al igual que ocurre con los procesos fotoquímicos para el tratamiento de aguas, el uso de materiales para llevar a cabo la fotocatalisis heterogénea presenta importantes ventajas frente a la catálisis homogénea, como son la mejora en la estabilidad, facilidad para la recuperación del fotocatalizador y la alta capacidad de reusos. En este sentido, el dióxido de titanio (TiO₂) es el material semiconductor utilizado por excelencia para la generación de hidrógeno debido a que, en principio, posee propiedades adecuadas para la fotólisis del agua en términos de economía, disponibilidad y potenciales de las bandas de valencia (BV) y de conducción (BC). Sin embargo, también es cierto que el TiO₂ presenta ciertas limitaciones relacionadas con la rápida recombinación del par e⁻/h⁺ fotogenerado o con su alta energía de la banda prohibida, por lo que suele modificarse en la superficie añadiendo defectos en su estructura o combinarse con otros metales o materiales

semiconductores para mejorar la eficiencia en la producción de H_2 con la luz solar como fuente de excitación.^{19,20} En resumen, la fotocatalisis representa una solución global real que aprovecha un recurso en abundancia, para afrontar uno de los grandes problemas que desafía a la sociedad actual: la alta demanda energética y la necesidad de un sistema energético sostenible.

Terapia fotodinámica: la luz contra el cáncer

Más allá de su papel en la descontaminación de aguas y generación de energía limpia, la fotoquímica también ha revolucionado el campo de la biomedicina gracias a aplicaciones tan innovadoras como la terapia fotodinámica (o PDT, de sus siglas en inglés). La PDT es un tipo de terapia basado en el uso de la luz como activante que se utiliza para el tratamiento de pacientes oncológicos y otras enfermedades microbianas o dermatológicas. En concreto, la PDT combina tres elementos clave: la luz, un fotosensibilizador y oxígeno. Juntos, estos tres elementos desencadenan una serie de reacciones que inducen la muerte celular de una manera localizada con menos efectos secundarios que otro tipo de tratamientos más agresivos como la cirugía o la quimioterapia.

El procedimiento clínico de la terapia fotodinámica comienza típicamente con el suministro de un fotosensibilizador (PS, del inglés *photosensitizer*) por vía tópica o intravenosa. A continuación, tras un determinado tiempo durante el cual el PS se acumula en los tumores gracias a las características propias de estos tejidos, como la vascularización o metabolismo, se procede a la irradiación de la zona tumoral con una longitud de onda determinada para producir la activación del PS. Tras esta activación, que debe tener lugar en presencia de oxígeno molecular, se producen especies reactivas de oxígeno (ROS), las cuales inducen la muerte celular localizada como consecuencia del daño directo generado a membranas, ADN o proteínas (Figura 4).²¹



Figura 4. Representación ilustrativa del procedimiento clínico de la terapia fotodinámica.

La PDT se clasifica en dos tipos en función del mecanismo por el que se generan las ROS: el mecanismo de tipo I, por el cual se generan radicales libres por transferencia de hidrógeno o electrónica entre el PS y el oxígeno (o agua), y el de tipo II, por el cual las ROS se generan por transferencia de energía desde el PS al oxígeno.²² Adicionalmente, se ha descubierto en estudios clínicos que la PDT puede llegar a inducir respuestas del sistema inmune antitumorales abriendo la puerta a combinaciones con inmunoterapia que potencien la eficacia del tratamiento.^{23,24}

Este tipo de terapia ya se utiliza actualmente en el tratamiento de algunos tipos de cáncer como el cáncer de piel o en tumores de pulmón o cabeza y cuello. Así, se demuestra el poder de la luz para tratar enfermedades tan preocupantes como el cáncer de una manera menos invasiva y con relativa selectividad gracias al uso de fuentes externas de luz, que permiten la activación precisa del PS en los tejidos diana. Sin embargo, a pesar de ser una estrategia altamente prometedora en el campo de la biomedicina, la terapia fotodinámica aún presenta ciertas limitaciones relacionadas con el diseño de fotosensibilizadores. Estas limitaciones están relacionadas con la biocompatibilidad, la necesidad de utilizar luz de longitud de onda dentro de la ventana terapéutica para excitar el PS, o la falta de oxígeno molecular en tumores que presentan condiciones de hipoxia.¹⁶

Algunos de los fotosensibilizadores más utilizados en PDT actualmente son porfirinas, clorinas o ftalocianinas, caracterizados por absorber luz en la región terapéutica (650-850 nm) donde la penetración en los tejidos es ma-

yor.²⁵ Sin embargo, en los últimos años se han desarrollado sistemas híbridos inteligentes basados en nanopartículas fotoactivas, complejos metálicos o quantum dots que son capaces de mejorar la acumulación selectiva en tumores, aumentar la eficiencia cuántica de generación de ROS o incluso permitir un control más preciso de la activación del PS utilizando moléculas sensibles a parámetros como el pH o la temperatura. Esta estrategia basada en la ingeniería de los materiales permite focalizar los esfuerzos para cubrir los puntos débiles que presentan los PS de primera generación mencionados previamente, consiguiendo resultados mucho más prometedores y esperanzadores en la búsqueda de tratamientos efectivos contra el cáncer. Como prueba de ello, existen diversos sistemas para el diagnóstico o tratamiento del cáncer que ya han sido aprobados, como es el caso de la verteporfina liposomal (Visudine®).²⁶

En definitiva, la terapia fotodinámica representa una clara demostración del poder de la fotoquímica en el ámbito terapéutico. En un contexto en el que el cáncer es la principal causa de muerte en España, por delante incluso de las enfermedades cardiovasculares,²⁷ la luz se convierte en una gran aliada para mejorar la salud y la calidad de vida de las personas que sufren esta enfermedad.

Conclusiones

La luz no solo hace visibles las cosas, sino que también las cambia. Entender cómo lo hace es el primer paso para aprender a usarla en beneficio de nuestro planeta y nuestra sociedad. En las últimas décadas, la fotoquímica, inspirada en los procesos naturales, se ha consolidado como una herramienta poderosa para afrontar retos clave como la crisis hídrica, la transición energética o el tratamiento de enfermedades como el cáncer. La investigación en este campo, y especialmente en la fotocatalisis, ha permitido el desarrollo de soluciones innovadoras y eficientes que iluminan el camino hacia un futuro más sostenible, consolidando el papel de la luz como motor de cambio en la química del siglo XXI.

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo financiero del Ministerio de Ciencia e Innovación de España a través de los proyectos PID2023-151872OB-I00 y CEX2021-001230-S (financiados por MCIN/AEI/10.13039/501100011033), así como al Vicerrectorado de Investigación de la Universitat Politècnica de València por la Ayuda a Primeros Proyectos de Investigación (PAID-06-24) y la cofinanciación del contrato postdoctoral de L.T.M. (PAID-10-24). También agradecemos a la Generalitat Valenciana y a la Unión Europea la cofinanciación del contrato postdoctoral de A.B.M. (CIAPOS/2023/201), en el marco del Programa Operativo del Fondo Social Europeo Plus 2021–2027 (FSE+).

Bibliografía

1. Das, U.; Das, A.; Das, R.; Das, A. K. Photochemistry of the Retinal Chromophore in the Process of Seeing (Vision). *ChemTexts* 2024, 10, 3.
2. Ridge, K. D.; Palczewski, K. Visual Rhodopsin Sees the Light: Structure and Mechanism of G Protein Signaling. *J. Biol. Chem.* 2007, 282, 9297–9301.
3. Dinda, B. Photochemistry in Nature and Applied Photochemistry; 2017; pp 315–331.
4. Ennever, J. F.; Knox, I.; Denne, S. C.; Speck, W. T. Phototherapy for Neonatal Jaundice: In Vivo Clearance of Bilirubin Photoproducts. *Pediatr. Res.* 1985, 19, 205–208.
5. Ciamician, G. The Photochemistry of the Future. *Science.* 1912, 36, 385–394.
6. UNICEF/WHO. Progress on Drinking Water, Sanitation and Hygiene: 2017 Update and SDG Baselines. 2017.
7. Informe Sobre La Gestión de La Sequía En 2023. Ministerio Para La Transición Ecológica y El Reto Demográfico y El Ministerio de de Agricultura, Pesca y Alimentación.
8. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es> Consultado el 21/06/2025.
9. Hübner, U.; Spahr, S.; Lutze, H.; Wieland, A.; Rüting, S.; Gernjak, W.; Wenk, J. Advanced Oxidation Processes for Water and Wastewater Treatment – Guidance for Systematic Future Research. *Heliyon* 2024, 10, e30402.

10. Blázquez-Moraleja, A.; Cabezuelo, O.; Martínez-Haya, R.; Schmidt, L. C.; Bosca, F.; Marin, M. L. Organic Photoredox Catalysts: Tuning the Operating Mechanisms in the Degradation of Pollutants. *Pure Appl. Chem.* 2023, 95, 899–912.
11. Cabezuelo, O.; Ponce-Gonzalez, L. N.; Marin, M. L.; Bosca, F. A Highly Efficient Supported TiO₂ Photocatalyst for Wastewater Remediation in Continuous Flow. *Appl. Mater. Today* 2023, 35, 101947.
12. Blázquez-Moraleja, A.; Bosio, A.; Gamba, S.; Bosca, F.; Marin, M. L. Covalent or Ionic Bonding of Eosin Y to Silica: New Visible-Light Photocatalysts for Redox Wastewater Remediation. *J. Environ. Chem. Eng.* 2023, 11, 111024.
13. Flores, J.; Blázquez-Moraleja, A.; Bonet-Aracil, M.; Moya, P.; Bosca, F.; Marin, M. L. What Is the Most Effective Percentage of Rose Bengal on Polyamide Fabrics for the Visible-Light Photoinactivation of Gram-Positive Bacteria? *J. Environ. Chem. Eng.* 2023, 11, 110639.
14. Naciones Unidas. Acuerdo de París de La Convención Marco de Las Naciones Unidas Sobre El Cambio Climático; Francia, 2015.
15. Holechek, J. L.; Geli, H. M. E.; Sawalhah, M. N.; Valdez, R. A Global Assessment: Can Renewable Energy Replace Fossil Fuels by 2050? *Sustainability* 2022, 14, 4792.
16. Chen, L.; Msigwa, G.; Yang, M.; Osman, A. I.; Fawzy, S.; Rooney, D. W.; Yap, P.-S. Strategies to Achieve a Carbon Neutral Society: A Review. *Environ. Chem. Lett.* 2022, 20, 2277–2310.
17. Chen, X.; Zhao, J.; Li, G.; Zhang, D.; Li, H. Recent Advances in Photocatalytic Renewable Energy Production. *Energy Materials* 2022.
18. Navarro, R. M.; del Valle, F.; Villoria de la Mano, J. A.; Álvarez-Galván, M. C.; Fierro, J. L. G. Photocatalytic Water Splitting Under Visible Light. In *Advances in Chemical Engineering*; 2009; 36, 111–143.
19. Tahir, M. B.; Iqbal, T.; Rafique, M.; Rafique, M. S.; Nawaz, T.; Sagir, M. Nanomaterials for Photocatalysis. In *Nanotechnology and Photocatalysis for Environmental Applications*; Elsevier, 2020; 65–76.
20. Yi-Junxu Editors, J. Heterogeneous Photocatalysis; Colmenares, J. C., Xu, Y.-J., Eds.; *Green Chemistry and Sustainable Technology*; Springer Berlin, Heidelberg, 2016.
21. Agostinis, P.; Berg, K.; Cengel, K. A.; Foster, T. H.; Girotti, A. W.; Gollnick, S. O.; Hahn, S. M.; Hamblin, M. R.; Juzeniene, A.; Kessel, D.; Korbelik, M.; Moan, J.; Mroz, P.; Nowis, D.; Piette, J.; Wilson, B. C.; Golab, J. Photodynamic Therapy of Cancer: An Update. *CA Cancer J Clin.* 2011, 61, 250–281.
22. Zhao, X.; Liu, J.; Fan, J.; Chao, H.; Peng, X. Recent Progress in Photosensitizers for Overcoming the Challenges of Photodynamic Therapy: From Molecular Design to Application. *Chem. Soc. Rev.* 2021, 50, 4185–4219.
23. Garg, A. D.; Agostinis, P. ER Stress, Autophagy and Immunogenic Cell Death in Photodynamic Therapy-Induced Anti-Cancer Immune Responses. *Photochem. Photobiol. Sci.* 2014, 13, 474–487.
24. Penetra, M.; Arnaut, L. G.; Gomes-da-Silva, L. C. Trial Watch: An Update of Clinical Advances in Photodynamic Therapy and Its Immunoadjuvant Properties for Cancer Treatment. *Oncoimmunology* 2023, 12, 2226535.
25. Arnaut, L. G.; Pereira, M. M. Overcoming the Challenges of Infrared Photosensitizers in Photodynamic Therapy: The Making of Redaporfin. *Chem. Commun.* 2023, 59, 9457–9468.
26. Sun, L.; Liu, H.; Ye, Y.; Lei, Y.; Islam, R.; Tan, S.; Tong, R.; Miao, Y.-B.; Cai, L. Smart Nanoparticles for Cancer Therapy. *Signal Transduct Target Ther.* 2023, 8, 418.
27. <https://www.ine.es/dyngs/Prensa/pEDCM2024.htm> Consultado el 23/06/2025.

Práctica de laboratorio: cinética de la reacción entre el tiosulfato de sodio y el ácido clorhídrico

Alonso, E.; González, E.; González, M. V.; Fernández, J. M.; Castro, J. M.
Departamento de Química. Área Química Analítica. Escola Politécnica de Enxeñaría de Ferrol (EPEF).
Universidade da Coruña (UDC). 15403 Ferrol (A Coruña)

Resumen

El presente trabajo describe la práctica de laboratorio “cinética de la reacción entre el tiosulfato de sodio y el ácido clorhídrico”, la cual forma parte del programa de la asignatura Química de primer curso de los grados impartidos en la Escola Politécnica de Enxeñaría de Ferrol.

En esta práctica se lleva a cabo el estudio de los factores (concentración de reactivos y temperatura) que influyen sobre la velocidad del proceso, determinándose, además, los valores de los órdenes parciales de reacción, el orden total y la constante específica de velocidad.

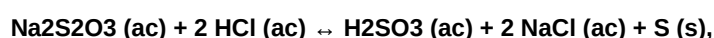
1 Introducción

Los planes de estudios de las titulaciones de Grado en Ingeniería Eléctrica y en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática de la Escola Politécnica de Enxeñaría de Ferrol (EPEF), (Universidade da Coruña), incluyen la Química como asignatura de formación básica, impartida en el primer cuatrimestre del curso primero de ambas titulaciones [1].

La unidad didáctica número 3 de la asignatura se compone del tema Cinética Química, en el que se introducen los aspectos de la velocidad de las reacciones químicas, los factores que la afectan, la catálisis y los mecanismos de reacción [2].

El tema incluye numerosos conceptos nuevos y algunos desarrollos matemáticos que hacen que su estudio pueda resultar árido y difícil para una parte del alumnado. Por eso se ha considerado conveniente impartir, dentro del programa de laboratorio, una práctica sobre cinética de las reacciones químicas, con la finalidad de que contribuya a la comprensión y consolidación de los conocimientos expuestos.

La velocidad de una reacción química se mide por la variación de la concentración de un reactivo o de un producto en la unidad de tiempo. El presente trabajo, cuyo avance fue presentado como comunicación a congreso [3], evalúa la influencia de los factores concentración de los reactivos y de la temperatura en la reacción:



para la cual la expresión de la ecuación de velocidad es:

$$V = k \cdot (\text{conc. Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)^m \cdot (\text{conc. HCl})^n$$

donde k es la constante específica de velocidad de reacción; m y n son los órdenes parciales de reacción con respecto a los reactivos $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ y HCl , respectivamente.

2 Desarrollo

2.1. Cuestiones previas a la realización de la práctica

El estudiante deberá resolver, previamente a la sesión de desarrollo experimental de la práctica en el laboratorio, las siguientes cuestiones, apoyándose en la bibliografía de la asignatura:

1. Defina los conceptos de ecuación de velocidad, constante específica de velocidad, orden parcial, orden total y molecularidad.
2. Ajuste la ecuación química para la siguiente reacción:



2.2. Objetivos

1. Estudiar la influencia ejercida por la concentración de los reactivos y la temperatura sobre la velocidad de la reacción química.
2. Obtener la expresión de la ecuación de velocidad en las condiciones de realización de la experiencia.

2.3. Material y reactivos necesarios

2.3.1. Material

- 4 Matraces Erlenmeyer de 100 mL
- 1 Bureta de 50 mL
- 1 Bureta de 25 mL
- 1 Probeta de 100 mL
- 1 Frasco lavador
- 1 Cronómetro

2.3.2. Reactivos

- Disolución de tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 0,500 M
- Disolución de ácido clorhídrico (HCl) 2,00 M

2.4. Procedimiento

2.4.1. Influencia de las concentraciones de tiosulfato de sodio y de ácido clorhídrico sobre la velocidad de la reacción.

Se llena con disolución de tiosulfato de sodio 0,500 M la bureta de 25 mL y con disolución de ácido clorhídrico 2,00 M la bureta de 50 mL. Se realizan cuatro experimentos, para lo cual, en cuatro matraces Erlenmeyer, se preparan disoluciones de acuerdo con lo indicado en la Tabla 1. Primero se añade el agua destilada, a continuación, la disolución de ácido clorhídrico y finalmente la disolución de tiosulfato de sodio:

| ERLENMEYER N° | H ₂ O, mL (probeta) | HCl, mL (bureta) | Na ₂ S ₂ O ₃ , mL (bureta) |
|---------------|--------------------------------|------------------|---|
| 1 | 0,0 | 46,0 | 5,0 |
| 2 | 35,0 | 6,0 | 10,0 |
| 3 | 10,0 | 36,0 | 5,0 |
| 4 | 30,0 | 6,0 | 15,0 |

Tabla 1. Volúmenes necesarios de agua y reactivos para preparar los experimentos

Una vez preparado cada experimento, se agita tres veces ligeramente con un movimiento rotatorio. En ese momento se considera que la reacción se inicia y se pone en marcha el cronómetro. Se coloca el matraz Erlenmeyer sobre un papel blanco en el que, previamente, se ha marcado una cruz. En el transcurso de la reacción, la disolución se vuelve turbia y llega un momento en que deja de verse la cruz (observando a través de la disolución). En este momento se considera que la reacción termina y se detiene el cronómetro [4].

Se repite el proceso dos veces para cada uno de los matraces Erlenmeyer y se completa la Tabla 2-1:

| Erlenmeyer | Conc. Na ₂ S ₂ O ₃ (M) | Conc. HCl (M) | t1 (s) | t2 (s) | t (s) (valor medio) | V = 100/t (velocidad relativa) |
|------------|---|---------------|--------|--------|---------------------|--------------------------------|
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| 4 | | | | | | |

Tabla 2-1. Valores de concentraciones, tiempos y velocidades relativas

2.4.1.1. Cálculo de las concentraciones (que deben realizar los alumnos) [5]:

2.4.1.1.1. Tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$):

1. Primero se halla el número de moles de tiosulfato de sodio en el volumen tomado de disolución 0,500 M.
2. A continuación, se halla la molaridad de la disolución de tiosulfato de sodio en el matraz Erlenmeyer con el dato hallado en a) y el volumen total de disolución que contiene el matraz Erlenmeyer (volumen de disolución de tiosulfato de sodio + volumen de disolución de ácido clorhídrico + volumen de agua destilada).

Matraz Erlenmeyer 1:

Número moles $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ = Volumen (V) · molaridad (M) = 5,0 mL · 10^{-3} L/1 mL · 0,500 mol/L =

$2,5 \cdot 10^{-3}$ moles; Volumen total disolución = (46,0 + 5,0 + 0,0) mL · 10^{-3} L/1 mL = $51 \cdot 10^{-3}$ L

$[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3] = 2,5 \cdot 10^{-3}$ moles/ $51 \cdot 10^{-3}$ L = 0,049 M

Matraz Erlenmeyer 2:

Número moles $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ = Volumen (V) · molaridad (M) = 10,0 mL · 10^{-3} L/1 mL · 0,500 mol/L =

$5,0 \cdot 10^{-3}$ moles; Volumen total disolución = (46,0 + 5,0 + 0,0) mL · 10^{-3} L/1 mL = $51 \cdot 10^{-3}$ L

$[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3] = 5,0 \cdot 10^{-3}$ moles/ $51 \cdot 10^{-3}$ L = 0,098 M

Matraz Erlenmeyer 3:

Número moles $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ = Volumen (V) · molaridad (M) = 5,0 mL · 10^{-3} L/1 mL · 0,500 mol/L =

$2,5 \cdot 10^{-3}$ moles; Volumen total disolución = (46,0 + 5,0 + 0,0) mL · 10^{-3} L/1 mL = $51 \cdot 10^{-3}$ L

$[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3] = 2,5 \cdot 10^{-3}$ moles/ $51 \cdot 10^{-3}$ L = 0,049 M

Matraz Erlenmeyer 4:

Número moles $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = \text{Volumen (V)} \cdot \text{molaridad (M)} = 15,0 \text{ mL} \cdot 10^{-3} \text{ L/1 mL} \cdot 0,500 \text{ mol/L} =$

$7,5 \cdot 10^{-3}$ moles; Volumen total disolución = $(46,0 + 5,0 + 0,0) \text{ mL} \cdot 10^{-3} \text{ L/1 mL} = 51 \cdot 10^{-3} \text{ L}$

$[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3] = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ moles}/51 \cdot 10^{-3} \text{ L} = 0,147 \text{ M}$

2.4.1.1.2. Ácido clorhídrico (HCl):

3. Primero se halla el número de moles de ácido clorhídrico en el volumen tomado de disolución 2,00 M.

4. A continuación, se halla la molaridad de la disolución de ácido clorhídrico en el matraz Erlenmeyer con el dato hallado en c) y el volumen total de disolución que contiene el matraz Erlenmeyer (volumen de disolución de tiosulfato de sodio + volumen de disolución de ácido clorhídrico + volumen de agua destilada).

Matraz Erlenmeyer 1:

Número moles HCl = Volumen (V) · molaridad (M) = $46,0 \text{ mL} \cdot 10^{-3} \text{ L/1 mL} \cdot 2,00 \text{ mol/L} =$

$92,0 \cdot 10^{-3}$ moles; Volumen total disolución = $(46,0 + 5,0 + 0,0) \text{ mL} \cdot 10^{-3} \text{ L/1 mL} = 51 \cdot 10^{-3} \text{ L}$

$[\text{HCl}] = 92,0 \cdot 10^{-3} \text{ moles}/51 \cdot 10^{-3} \text{ L} = 1,804 \text{ M}$

Matraz Erlenmeyer 2:

Número moles HCl = Volumen (V) · molaridad (M) = $6,0 \text{ mL} \cdot 10^{-3} \text{ L/1 mL} \cdot 2,00 \text{ mol/L} =$

$12,0 \cdot 10^{-3}$ moles; Volumen total disolución = $(46,0 + 5,0 + 0,0) \text{ mL} \cdot 10^{-3} \text{ L/1 mL} = 51 \cdot 10^{-3} \text{ L}$

$[\text{HCl}] = 12,0 \cdot 10^{-3} \text{ moles}/51 \cdot 10^{-3} \text{ L} = 0,235 \text{ M}$

Matraz Erlenmeyer 3:

Número moles HCl = Volumen (V) · molaridad (M) = $36,0 \text{ mL} \cdot 10^{-3} \text{ L/1 mL} \cdot 2,00 \text{ mol/L} =$

$72,0 \cdot 10^{-3}$ moles; Volumen total disolución = $(46,0 + 5,0 + 0,0) \text{ mL} \cdot 10^{-3} \text{ L/1 mL} = 51 \cdot 10^{-3} \text{ L}$

$[\text{HCl}] = 72,0 \cdot 10^{-3} \text{ moles}/51 \cdot 10^{-3} \text{ L} = 1,412 \text{ M}$

Matraz Erlenmeyer 4:

Número moles HCl = Volumen (V) · molaridad (M) = $6,0 \text{ mL} \cdot 10^{-3} \text{ L/1 mL} \cdot 2,00 \text{ mol/L} =$

$12,0 \cdot 10^{-3}$ moles; Volumen total disolución = $(46,0 + 5,0 + 0,0) \text{ mL} \cdot 10^{-3} \text{ L/1 mL} = 51 \cdot 10^{-3} \text{ L}$

$[\text{HCl}] = 12,0 \cdot 10^{-3} \text{ moles}/51 \cdot 10^{-3} \text{ L} = 0,235 \text{ M}$.

Los valores de las molaridades obtenidas para las disoluciones de tiosulfato de sodio y de ácido clorhídrico se llevan a la Tabla 2-1, que se denominará, a partir de ahora, Tabla 2-2:

| Erlenmeyer | Conc. $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (M) | Conc. HCl (M) | t1 (s) | t2 (s) | t (s) (valor medio) | V = 100/t (velocidad relativa) |
|------------|---|---------------|--------|--------|---------------------|--------------------------------|
| 1 | 0,049 | 1,804 | | | | |
| 2 | 0,098 | 0,235 | | | | |
| 3 | 0,049 | 1,412 | | | | |
| 4 | 0,147 | 0,235 | | | | |

Tabla 2-2. Valores de concentraciones (ya calculados), tiempos y velocidades relativas

2.5.3. Orientaciones para el cálculo de los parámetros m, n y k [6]:

Una vez rellena la Tabla 2-2 con los datos de los tiempos t_1 , t_2 , y t (valor medio), se obtienen los cuatro valores de las velocidades relativas (V_1 , V_2 , V_3 y V_4) y se completa la Tabla.

En la expresión de la ecuación de velocidad ($V = k \cdot (\text{conc. Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)^m \cdot (\text{conc. HCl})^n$), se sustituyen los datos correspondientes a los experimentos realizados en los 4 matraces Erlenmeyer, obteniendo las siguientes ecuaciones:

Ecuación 1: $V_1 = k \cdot (0,049)^m \cdot (1,804)^n$

Ecuación 2: $V_2 = k \cdot (0,098)^m \cdot (0,235)^n$

Ecuación 3: $V_3 = k \cdot (0,049)^m \cdot (1,412)^n$

Ecuación 4: $V_4 = k \cdot (0,147)^m \cdot (0,235)^n$

Si se divide la ecuación 1 entre la ecuación 3:

$$V_1/V_3 = (k \cdot (0,049)^m \cdot (1,804)^n) / (k \cdot (0,049)^m \cdot (1,412)^n) = 1,28 \cdot 1,28^n = 1,28^n$$

Aplicando logaritmos: $n = \log(V_1/V_3) / \log 1,28$

Al dividir la ecuación 4 entre la ecuación 2:

$$V_4/V_2 = (k \cdot (0,147)^m \cdot (0,235)^n) / (k \cdot (0,098)^m \cdot (0,235)^n) = 1,5 \cdot 1,5^m = 1,5^m$$

Aplicando logaritmos: $m = \log(V_4/V_2) / \log 1,50$

Una vez conocidos los valores de m (orden parcial de reacción con respecto al tiosulfato de sodio) y n (orden parcial de reacción con respecto al ácido clorhídrico), se determinaría la constante específica de velocidad de reacción k. Se despeja k en las cuatro ecuaciones y se halla la media. Con esa finalidad, despejamos k, por ejemplo, en la ecuación 1, resultando:

$$k = V_1 / ((0,049)^m \cdot (1,804)^n)$$

2.4.2. Influencia de la temperatura sobre la velocidad de reacción

Para llevar a cabo la segunda parte de la práctica se necesita, además del material indicado en el apartado 2.3.1., los siguientes componentes:

- 4 Tubos de ensayo
- 1 Pipeta de 10 mL
- 1 Gradilla para disponer los tubos de ensayo
- 1 Termómetro
- 1 Placa calefactora
- 1 Vaso de precipitados de 1000 mL para el baño de agua.

Se llena con disolución de tiosulfato de sodio 0,500 M la bureta de 25 mL y con disolución de ácido clorhídrico 2,00 M la bureta de 50 mL. Se numeran los matraces Erlenmeyer del 1 al 4. Se introducen en los matraces Erlenmeyer 10 mL de disolución de tiosulfato de sodio 0,500 M y 40 mL de agua destilada. Se añade a cuatro tubos de ensayo, mediante la pipeta, 6 mL de disolución de ácido clorhídrico 2,00 M.

Se coloca el matraz Erlenmeyer número 1 sobre un papel con una cruz pintada, se mide su temperatura y se vierte en él la disolución de ácido clorhídrico contenido en uno de los tubos de ensayo. Se agita y se pone en marcha el cronómetro. Desde la parte superior del Erlenmeyer se observa la cruz y, cuando la turbidez formada impida verla, se detiene el cronómetro, anotando el tiempo transcurrido [4].

Se repite la operación con los otros tres Erlenmeyer y tubos de ensayo, calentados previamente en un baño de agua a 30, 40 y 50 °C, anotando en una tabla los resultados obtenidos para el tiempo de reacción.

2.5. Cuestiones a resolver por el alumnado

Finalizado el procedimiento experimental y los cálculos, con la finalidad de verificar si el alumnado ha comprendido y asimilado los conocimientos expuestos, resolverá unas cuestiones relacionadas con el desarrollo de la práctica y con sus fundamentos teóricos:

- ¿Por qué se produce el enturbiamiento de las disoluciones a lo largo de la reacción?
- ¿Se puede obtener el orden de reacción, conociendo únicamente la ecuación neta ajustada para dicha reacción? Justifíquelo.

- Si una reacción es espontánea en determinadas condiciones, ¿significa esto que se producirá instantáneamente?

2.6. Informe final

En el informe, a presentar por el alumnado al finalizar la práctica, se recogerán los cálculos detallados que permitan obtener: a) las concentraciones de las disoluciones de tiosulfato de sodio y de ácido clorhídrico preparadas, b) los órdenes parciales de reacción (m y n) y c) la constante específica de velocidad de reacción.

Asimismo, se incluirán las Tablas 1, 2-1 y 2-2 debidamente cubiertas.

A partir de los resultados obtenidos, recogidos en la Tabla 2-2:

- Calcule los valores de los parámetros m, n y k
- Determine la expresión de la ecuación de velocidad para la reacción.

3 Conclusiones

En este trabajo se ha descrito el conjunto de los apartados que constituyen la práctica de laboratorio “cinética de la reacción entre el tiosulfato de sodio y el ácido clorhídrico”, es decir: introducción, cuestiones previas, objetivos, material y reactivos, procedimiento (incluyendo los cálculos numéricos de las concentraciones de disoluciones de los reactivos y las orientaciones para la determinación de los órdenes parciales y de la constante de velocidad), cuestiones a resolver, terminando con el informe final que presentará el alumnado.

De lo anteriormente expuesto se concluye que la práctica es adecuada para continuar formando parte del programa de Química de los grados impartidos en la Escola Politécnica de Enxeñaría de Ferrol, debido a su indudable contribución a la mejor comprensión y consolidación de los conocimientos expuestos en el tema de teoría correspondiente.

4 Bibliografía

- [1] Guía Docente de la asignatura Química de los Grados en Ingeniería Eléctrica y en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática. Escola Politécnica de Enxeñaría de Ferrol (EPEF), Universidade da Coruña (UDC). Curso 2023-24.
- [2] Programa de la asignatura Química de los Grados en Ingeniería Eléctrica y en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática. Escola Politécnica de Enxeñaría de Ferrol (EPEF), Universidade da Coruña (UDC). Curso 2023-24.
- [3] Fernández, J. M.; Alonso, E.; González, E.; González, M. V.; Castro, J. M. (2024). “Cinética de las reacciones químicas”. En M. Rodríguez y F. Ramírez (Eds.), XXVIII Encontro Galego-Portugués de Química (p. 353). Vigo: Colegio Oficial de Químicos de Galicia.
- [4] Pérez, J.; Seco, H. (2006). “Experimentos de Química. Aplicaciones a la vida cotidiana”. Calamonte (Badajoz): Editorial Filarias.
- [5] Chang, R.; Goldsby, K. (2017). “Química”. 12ª Edición. Madrid: McGraw-Hill Education.
- [6] Petrucci, R.; Herring, F.; Madura, J.; Bissonnette, C. (2011). “Química General. Principios y aplicaciones modernas”. 10ª Edición. Madrid. Prentice Hall-Pearson Educación, S. A.

Determinación de la composición mayoritaria (propano, isobutano y n-butano) de un propelente hidrocarburo por cromatografía de gases-ionización de flama (GC-FID).

Luis Alejandro Díaz-Flores¹, Erick Israel Cortés-Tejeda², María Amparo Martínez-Arroyo¹, Pedro Gregorio Dolores-Leal³, Héctor Marcelo González-Navarro³

¹Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

²Facultad de Química, UNAM. ³Propysol, S.A. de C.V. México.

Resumen

El objetivo de este trabajo fue modificar el método ASTM D2163-23^{ε1} como una mejora para el control de calidad en la determinación de los componentes mayoritarios (propano, isobutano y n-butano) de un propelente hidrocarburo comercial. Las condiciones instrumentales y operativas del método ASTM se modificaron para evitar el uso de dispositivos específicos y disminuir el tiempo de análisis. El método modificado se calibró con un estándar certificado y se aplicó en una muestra de propelente hidrocarburo comercial NIP-46. Los componentes mayoritarios de la muestra se determinaron con alta precisión y exactitud utilizando una calibración por normalización de área con factor de respuesta. Los resultados demostraron que es posible identificar y cuantificar los analitos en la muestra NIP-46, la cual se utiliza para los productos de cuidado personal en aerosol. La modificación al método ASTM D2163-23^{ε1} permitió desarrollar un método rápido y sencillo que integra los aspectos teórico-prácticos de la cromatografía de gases, el análisis cualitativo y cuantitativo, los parámetros de calidad y la aplicación industrial de los hidrocarburos ligeros en el gas licuado de petróleo (LP).

1 Introducción

1.1. Método ASTM D2163-23^{ε1}: Método de prueba estandarizado para la determinación de hidrocarburos en gases licuados de petróleo y mezclas de propano/propeno por cromatografía de gases [1].

El método analítico está diseñado para la determinación de hidrocarburos ligeros (C₁-C₅) en muestras de gases licuados de petróleo (LP) con una presión máxima de 290 psi (2000 kPa) y un contenido de impurezas menor al 10 % m/m. El intervalo de cuantificación de los hidrocarburos comprende de 0.01 - 100 % V/V. Este método no está recomendado para la determinación de hidrocarburos de más de 5 carbonos y que cuyo contenido en las muestras sea mayor al 10 % V/V.

1.1. Propelente hidrocarburo (PHC) [2-4].

El propelente hidrocarburo consiste en las sustancias puras o mezclas de propano, isobutano y n-butano (gases licuados de petróleo (LP)), los cuales permanecen líquidos al estar sujetos a presión. El propelente hidrocarburo se denomina gas de baja presión, ya que las mezclas comerciales presentan una presión < 150 psi. Los gases licuados de petróleo con pureza ≥ 95 % m/m se utilizan como materia prima para producir propelentes, refrigerantes o espumantes.

El principal criterio de calidad de un propelente es la presión de vapor, la cual está relacionada con la proporción de propano, isobutano y n-butano de la mezcla. Otros criterios de calidad incluyen la determinación de las impurezas del gas: los compuestos orgánicos de azufre (sulfuro de hidrógeno, sulfuro de carbonilo, mercaptanos, sulfuros y disulfuros), los compuestos orgánicos volátiles nocivos (BTEX, alcoholes, disolventes clorados y tertbutilhidroperóxido), el residuo no volátil, la humedad, la corrosividad y algunos metales pesados como mercurio y plomo.

Las mezclas de propelente hidrocarburo más utilizadas para los productos de cuidado personal en aerosol son las NIP-46 y NIP-50. El prefijo NIP indica las iniciales de los hidrocarburos: n-butano (N), isobutano (I) y propano (P); el número indica la presión de vapor en unidades de libras por pulgada cuadrada (psi). Por lo anterior, la determinación rápida de los componentes mayoritarios de los propelentes es una necesidad fundamental para el control de calidad en la industria del gas.

El objetivo de este trabajo fue implementar y modificar el método ASTM D2163-23^{ε1} para la determinación de los hidrocarburos ligeros en una mezcla de propelente. Dicha modificación, permitió desarrollar una metodología rápida, sencilla y eficaz para determinar el propano, el isobutano y el n-butano del propelente hidrocarburo comercial.

2 Desarrollo

2.1. Reactivos y materiales.

El estándar certificado NIP-46 fue una mezcla de propano (25 % m/m), isobutano (37.6 % m/m) y n-butano (37.4 % m/m) de Applied Gas, Inc. 25104-110906. Para el muestreo de gases se utilizaron cilindros de muestreo Swagelok 304L-HDF4-75 conectados a válvulas de corte rápido Hy-LOK BVF-4N 316 R5V: ¼ de pulgada con rosca NPT. La inyección de las muestras se realizó con jeringas de 25 µL VICI serie A-2. La muestra de propelente comercial se almacenó en cilindros portátiles TATSA de 8.5 Kg con punta Pol de latón de ¼ x 12 cm FOSET. Los trasvases de las muestras de gas se realizaron con mangueras para refrigerantes de 1.5 m Shenzhen Weihui Technology Co. R12/22/502 360-RYB.

2.2. Condiciones cromatográficas.

El análisis cromatográfico se realizó en un cromatógrafo de gases Agilent 7890 A con un detector de ionización de flama (FID). El gas acarreador fue hidrógeno a flujo constante (5 mL min⁻¹), el inyector se programó en modo Split a 200 °C. La separación se realizó en una columna

PLOT Al₂O₃ S (30 m x 0.53 mm d.i. x 15 µm de profundidad de fase). El programa de temperatura fue 40 °C, 32 °C min⁻¹ hasta 200 °C (1 min): tiempo total de análisis = 7 min. La temperatura del detector se programó a 200 °C y la proporción de H₂/N₂/aire fue: 1/1/10 % V/V respectivamente. El volumen de inyección de la fase líquida y la fase de vapor del propelente fue 1 y 10 µL respectivamente.

2.3. Calibración del método analítico, análisis de las muestras e interpretación del cromatograma.

La calibración del método se realizó con una mezcla estándar de propano, isobutano y n-butano, la cual se analizó en las condiciones cromatográficas descritas en el apartado anterior. El método de calibración lineal fue por normalización de área con factor de respuesta. Para ello, se calculó el factor de respuesta de cada componente mayoritario y el área cromatográfica de cada componente se normalizó.

La muestra NIP-46 se analizó (n = 3) en las mismas condiciones cromatográficas que la mezcla estándar. Los tiempos de retención de los analitos en las muestras se compararon con los tiempos de retención de la mezcla estándar.

2.4. Muestra de propelente hidrocarburo comercial NIP-46.

La muestra de propelente hidrocarburo comercial (1 L) se obtuvo de la empresa Propysol S.A. de C.V. (México). La toma de muestra se realizó con base en el protocolo de muestreo del método ASTM D2163-23^{ε1}.

3 Resultados

3.1. Modificación de las condiciones instrumentales y operativas del método ASTM D2163-23^{ε1}.

Las condiciones operativas e instrumentales se modificaron para llevar a cabo el análisis del propelente en 7 min, lo cual representa una disminución del 72 % del tiempo requerido en comparación con el método ASTM original. La

configuración del programa de temperatura permitió el análisis secuencial de las réplicas, sin la desventaja de una contaminación cruzada entre los análisis.

Por otra parte, se implementó un método de inyección manual para evitar el uso de un sistema de válvulas, lo cual representa una configuración especial en el instrumento y es un requerimiento del método ASTM.

1.1. Análisis del estándar certificado NIP-46.

Las Figuras 1 y 2 muestran los cromatogramas del análisis de la fase líquida y la fase vapor del estándar NIP-46.

Los resultados del análisis del estándar demostraron que método modificado es capaz de determinar los tres componentes mayoritarios del propelente (propano, isobutano y n-butano), evidenciando la posibilidad de su aplicación a diferentes tipos de propelentes y muestras de gas LP.

La Tabla 1 muestra el área cromatográfica de la fase líquida y la fase vapor del estándar certificado NIP-46.

| n | Áreas cromatográficas | | | | | |
|---|-----------------------|-----------|----------|------------|-----------|----------|
| | Fase líquida | | | Fase vapor | | |
| | Propano | Isobutano | n-butano | Propano | Isobutano | n-butano |
| 1 | 30293.8 | 46625.7 | 45561.4 | 11442.0 | 6870.96 | 4734.15 |

Tabla 1. Área cromatográfica de la fase líquida y la fase vapor del estándar certificado NIP-46.

Previo al análisis de la muestra comercial, se calcularon los factores de respuesta de cada analito. El factor de respuesta se calculó con el área cromatográfica del análisis de la fase líquida y la fase vapor del estándar: Ecuación (1).

A continuación, se muestra un ejemplo de cálculo del factor de respuesta a partir del área cromatográfica del propano en fase líquida.

Ecuación (1):

$$\text{Área cromatográfica} = \text{Factor de respuesta} \times \text{concentración}$$

Datos:

Área cromatográfica del propano_{estándar} en fase líquida = 30293.8

Concentración del propano_{estándar} = 25 ± 2 % m/m

$$Fr = \frac{30293.8}{25 \% \text{ m/m}} = \frac{1211.752}{\% \text{ m/m}}$$

La Tabla 2 muestra el factor de respuesta de cada componente en la fase líquida y en la fase vapor del estándar.

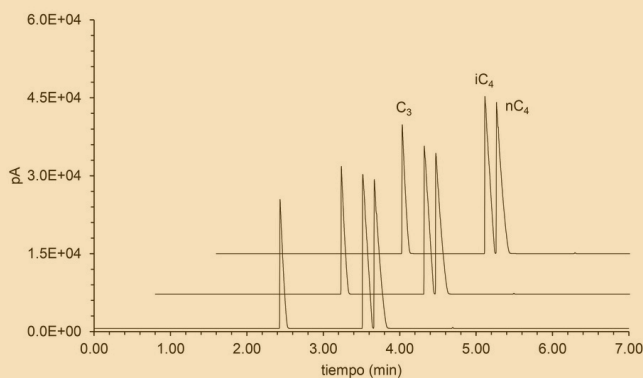


Figura 1. Cromatograma del análisis del estándar NIP-46: propano (C₃), isobutano (iC₄) y n-butano (nC₄) a 25, 37.6, 37.4 % m/m respectivamente. Inyección directa 1 µL de fase líquida.

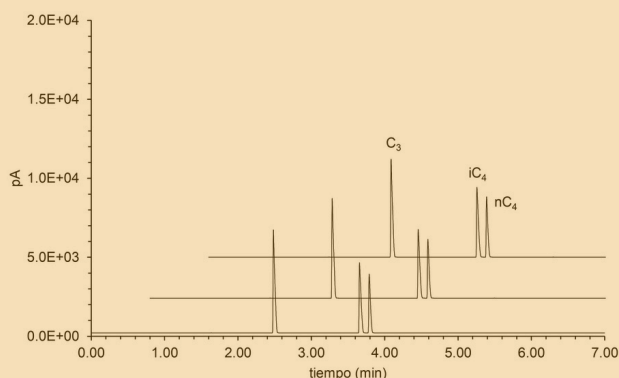


Figura 2. Cromatograma del análisis de la mezcla de gas estándar: propano (C₃), isobutano (iC₄) y n-butano (nC₄) a 25, 37.6, 37.4 % m/m respectivamente. Inyección directa 10 µL de fase vapor.

| n | Factores de respuesta (% m/m) ⁻¹ | | | | | |
|---|---|-----------|----------|------------|-----------|----------|
| | Fase líquida | | | Fase vapor | | |
| | Propano | Isobutano | n-butano | Propano | Isobutano | n-butano |
| 1 | 1211752 | 1240045 | 1218219 | 457.68 | 1827383 | 1265815 |

Tabla 2. Factor de respuesta de propano, isobutano y n-butano en la fase líquida y en la fase vapor del estándar.

3.3. Análisis del propelente hidrocarburo comercial NIP-46.

La Figura 3 muestra el análisis (n=3) del propelente comercial NIP-46. La Tabla 3 muestra las áreas cromatográficas del propelente comercial NIP-46.

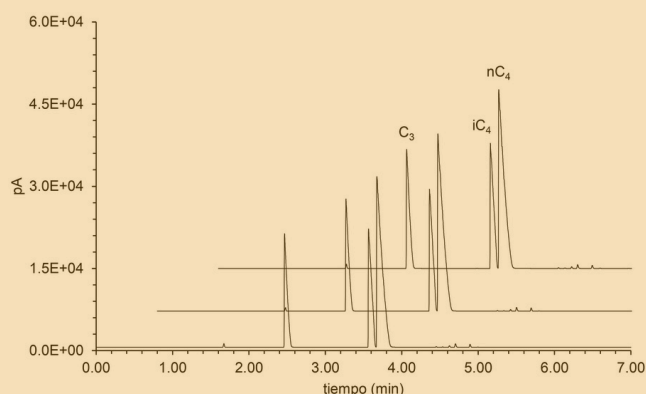


Figura 3. Cromatograma del análisis del propelente comercial NIP-46. Inyección directa 1 µL de fase líquida.

| n | Áreas cromatográficas de la muestra NIP-46 | | | | | |
|---|--|-----------|----------|------------|-----------|----------|
| | Fase líquida | | | Fase vapor | | |
| | Propano | Isobutano | n-butano | Propano | Isobutano | n-butano |
| 1 | 51642.3 | 62932.0 | 146777 | 11740.8 | 5582.36 | 9194.09 |
| 2 | 52101.4 | 65363.5 | 153369 | 12157.3 | 6049.96 | 10125.1 |
| 3 | 57240.7 | 67334.2 | 156201 | 11569.8 | 5512.71 | 9060.11 |

Tabla 3. Áreas cromatográficas del análisis de la muestra de propelente comercial NIP-46.

A partir de los factores de respuesta y el área cromatográfica de propano, isobutano y n-butano en la muestra comercial NIP-46, se calculó la concentración de cada componente: Ecuación 2. Posteriormente, la concentración de cada componente se normalizó con respecto a la concentración total de los tres componentes. A continuación, se muestra un ejemplo del cálculo de la concentración de propano a partir del área cromatográfica en la fase líquida de la muestra NIP-46.

Ecuación (2):

$$\frac{\text{Área cromatográfica}}{\text{Factor de respuesta}} = \text{Concentración}$$

Datos:

Área cromatográfica del propano en la mezcla NIP-46 = 51642.3

Factor de respuesta del propano = 1211.752

$$\frac{51642.3}{1211.752 \left(\% \frac{m}{m}\right)^{-1}} = 42.61 \% m/m$$

Las Tablas 4 y 5 muestran la concentración de propano, isobutano y n-butano calculada en la fase líquida y la fase vapor del propelente NIP-46 (n = 3).

| n | Concentración en la fase líquida | | | | | |
|----------|----------------------------------|-----------|----------|---------------------|-----------|----------|
| | Masa de componente (% m/m) | | | Normalización % m/m | | |
| | Propano | Isobutano | n-butano | Propano | Isobutano | n-butano |
| 1 | 42.6 | 50.7 | 120.5 | 19.9 | 23.7 | 56.3 |
| 2 | 43.0 | 52.7 | 125.9 | 19.4 | 23.8 | 56.8 |
| 3 | 47.2 | 54.3 | 128.2 | 20.6 | 23.6 | 55.8 |
| Promedio | 44.3 | 52.6 | 124.9 | 20.0 | 23.7 | 56.3 |
| DE | 2.57 | 1.78 | 3.97 | 0.58 | 0.08 | 0.51 |
| % CV | 5.8 | 3.4 | 3.2 | 2.9 | 0.3 | 0.9 |

Tabla 4. Concentración de propano, isobutano y n-butano en el propelente NIP-46: fase líquida.

| n | Concentración en la fase vapor | | | | | |
|-------------|--------------------------------|-----------|----------|---------------------|-----------|----------|
| | Masa de componente (% m/m) | | | Normalización % m/m | | |
| | Propano | Isobutano | n-butano | Propano | Isobutano | n-butano |
| 1 | 25.7 | 30.5 | 72.6 | 19.9 | 23.7 | 56.4 |
| 2 | 26.6 | 33.1 | 80.0 | 19.0 | 23.7 | 57.3 |
| 3 | 25.3 | 30.2 | 71.6 | 19.9 | 23.8 | 56.4 |
| DE Promedio | 25.8 | 31.3 | 74.7 | 19.6 | 23.7 | 56.7 |
| DE | 0.66 | 1.60 | 4.58 | 0.52 | 0.03 | 0.51 |
| % CV | 2.6 | 5.1 | 6.1 | 2.6 | 0.1 | 0.9 |

Tabla 5. Concentración de propano, isobutano y n-butano en el propelente NIP-46: fase vapor.

La muestra de propelente comercial NIP-46 tuvo una composición aproximada de propano, isobutano y n-butano de 20, 24 y 57 % respectivamente. Dicha determinación fue precisa y exacta (% CV < 6) en el análisis la fase líquida o la fase de vapor; este hecho muestra una característica deseable para la posterior validación del método analítico.

Además de la mejora para la evaluación de la calidad y composición de un propelente, esta metodología puede aplicarse en el análisis rutinario industrial, como un servicio de laboratorio especializado o como una práctica de laboratorio en docencia.

3.4. Ventajas metodológicas para la práctica en un laboratorio de docencia.

El análisis de la composición de un propelente hidrocarburo a partir de la modificación del método ASTM D2163-23 presenta algunas ventajas para su aplicación a nivel industrial o como una práctica del laboratorio de química.

3.4.1 Prescindencia de una válvula de 4 o 6 vías.

El método ASTM requiere de un cromatógrafo con arreglo de válvulas de 4 vías para la inyección de las fases líquida y vapor. La modificación al método no requiere el uso de valvulas para la inyección de las muestras. En este trabajo, se utilizaron jeringas con dispositivo de bloqueo para contener el volumen de la muestra en fase líquida o fase vapor.

3.4.2. Uso de hidrógeno como gas acarreador.

El uso de hidrógeno como gas acarreador es una alternativa de configuración que se recomienda en el método original, lo cual representa una disminución de los costos de los consumibles. El cambio de gas acarreador puede disminuir el costo de este insumo hasta un 90 % con respecto al Helio.

3.4.3. Disminución de la longitud de la columna.

Las columnas que se utilizan en método original son de 50 m (Al_2O_3 S) o 100 m (polidimetilsiloxano), lo cual implica un mayor tiempo de análisis. La disminución de la longitud de la columna a 30 m permitió disminuir el tiempo de análisis en esta aplicación.

3.4.4. Disminución del flujo de la columna.

El flujo recomendado en el método ASTM es 6 mL min^{-1} , sin embargo, al disminuir la longitud de la columna, se disminuyó el flujo en un 20 %. Para llevar a cabo un análisis rápido (7 min), el flujo de la columna se configuró a 5 mL min^{-1} . Sin embargo, el analista puede modificar el flujo de la columna de acuerdo a los requerimientos de una determinación específica.

3.5. Implicaciones didácticas y pedagógicas para la enseñanza en química.

Comúnmente, las mezclas de propelente hidrocarburo NIP-46 se utilizan para los productos de cuidado personal en aerosol, por ello, la determinación de la composición mayoritaria del propelente es un criterio de calidad fundamental.

El análisis de hidrocarburos ligeros es un tema en el que se pueden discutir múltiples comportamientos físicos, químicos y fisicoquímicos para la enseñanza de la química general o la química analítica. Por otro lado, además de la identificación y cuantificación de los analitos (propano, isobutano y n-butano), esta metodología permite identificar otros componentes como el metano, el etano y los compuestos insaturados de tres y cuatro carbonos, por lo que esta propuesta analítica puede incrementar su alcance de aplicación. La posibilidad de determinar el propano, el isobutano y el n-butano en la fase líquida o la fa-

se de vapor de un propelente, permite implementar la metodología en otras áreas industriales como la industria del gas LP o los combustibles. De manera adicional, la precisión y la exactitud de esta aplicación garantizan la confiabilidad del método analítico y permiten explorar posibles mejoras futuras en el desarrollo analítico.

3.6. Aspectos de seguridad en el manejo del propelente hidrocarburo [4].

- Los aspectos de seguridad en el manejo de los gases licuados de petróleo (LP) es un requisito estricto. Para la realización de esta metodología se deben tener las siguientes medidas de seguridad:
- Alejar o evitar las fuentes de ignición (móviles, aparatos eléctricos, encendedores, materiales inflamables). Las fuentes de ignición como los automotores, deben estar alejados a una distancia mínima de 15 m de la zona de trabajo.
- El usuario/analista debe estar familiarizado y entrenado en el manejo de muestras de propelente hidrocarburo o gas LP.
- Utilizar ropa de algodón comprimido y una banda antiestática de calzado para anular la electricidad estática.
- El equipo de seguridad debe incluir lentes, casco de seguridad tipo "E" y guantes de carnaza.
- El llenado de los cilindros de muestreo con fase líquida de propelente no debe exceder el 80 % del volumen total del cilindro.
- Los recipientes que se utilicen para el almacenamiento de las muestras de gas, deben soportar una presión mínima de 500 psi. Un propelente hidrocarburo puede presentar una presión de vapor entre 17 y 120 psi. En el caso del gas LP, la presión promedio es de 70 psi [3].v

4 Conclusiones

Se modificaron las condiciones instrumentales y operativas del método ASTM D2163-23^{ε1} como una propuesta para el control de calidad y la determinación de los componentes mayoritarios (propano, isobutano y n-butano) en muestras de propelente hidrocarburo. La modificación al método ASTM original disminuyó la complejidad y el tiempo del análisis; este cambio metodológico permitió la implementación rápida y sencilla de un método de análisis rutinario o como una práctica de laboratorio para la enseñanza en química analítica instrumental.

5 Bibliografía

1. ASTM D2163-23^{ε1} Standard Test Method for Determination of Hydrocarbons in Liquefied Petroleum (LP) Gases and Propane/propene Mixtures by Gas Chromatography.
2. Diversified CPC International. Liquefied Gas Propellant Handbook. USA.
3. Ferris S.W. Handbook of hydrocarbons. 1a Edition. Academic Press INC. USA.
4. John F. Kennedy Space Center, Nasa. Liquid Propellants Safety Handbook. USA.

Determinación de los calores de reacción de combustión y de formación de la sacarosa, mediante una práctica virtual de laboratorio de química

Fernández, J.¹; Gómez, A.²; Rodríguez, M.¹; Fernández, S.²; Castro, J.¹; González, E.¹
 Departamento¹ y Laboratorio² de Química. Escola Politécnica de Enxeñaría de Ferrol.
 Universidade da Coruña. Campus de Esteiro. 15403 Ferrol (A Coruña)

Resumen

En el presente trabajo se determinan los calores de reacción (entalpías) de combustión y de formación de la sacarosa, mediante datos obtenidos en un experimento realizado en un laboratorio virtual. El programa utilizado permite elaborar un video que describe todas las etapas del experimento, obteniéndose resultados concordantes con los valores de referencia.

1 Introducción

El comienzo de los planes de estudio presupone, en algunos casos, ciertas dificultades referidas a la impartición de las clases prácticas de laboratorio. Así, por ejemplo, hay titulaciones del Espacio Europeo de Educación Superior que se inician en edificios nuevos, pero con laboratorios que no disponen de suficiente dotación de material fungible, reactivos o instrumentos.

Por otra parte, debido a la disminución de horas dedicadas al estudio de la Química en los grados de Ingeniería, el tiempo dedicado por el profesorado a las prácticas de laboratorio es mínimo, quedando reducida la presencia del alumnado en el laboratorio a un valor casi testimonial. En consecuencia, la presentación de videos de carácter descriptivo sobre prácticas virtuales, permitiría al profesorado explicar con detalle el tema correspondiente, promoviendo el debate con los/las estudiantes, lo que favorecería una mejor comprensión de los conceptos expuestos.

En una investigación preliminar, se ha recopilado y revisado información sobre las prácticas de laboratorio de Química impartidas en titulaciones de grado relacionadas, fundamentalmente, con la

Ingeniería Industrial en 16 centros de 13 universidades españolas, encontrándose que en ninguno de ellos se impartían prácticas virtuales [1].

Las consideraciones anteriores nos han conducido a llevar a cabo un estudio sobre las prácticas virtuales que pudieran complementar a las efectuadas en el laboratorio, sin pretender que llegasen a sustituirlas, ya que se consideraba imprescindible que el alumnado realizase trabajo experimental en el laboratorio.

Para ello se escogieron y realizaron prácticas, dentro de los campos de la Química General y Analítica, relativas a los aspectos de: preparación de disoluciones [2, 3, 4], calor de reacción [3, 4, 5, 6], valoraciones ácido-base [2], identificación de metales a la llama y de iones en disolución a partir de sus mezclas [7], determinación de propiedades calorimétricas [8, 9] y termodinámicas [10, 11], usando para ese fin el programa Virtual ChemLab, General Chemistry Laboratories, v.2.5., anexo al libro "Laboratorio Virtual de Química General" de Woodfield et al [12].

En el presente trabajo, cuyo avance fue presentado como comunicación a congreso [13], se lleva a cabo, de forma virtual, un experimento en el que tiene lugar la pesada y combustión de una muestra de sacarosa, obteniéndose los valores de los parámetros: masa de muestra y temperaturas inicial y final del proceso, que son necesarios para poder efectuar el cálculo del calor (o entalpía) de combustión de la sacarosa. A partir del valor obtenido, se determina, por aplicación de la ley de Hess [14], el calor o entalpía de formación de dicha sustancia.

El calor o entalpía de formación de un compuesto químico, ΔH_f , es la variación de ental-

pía de la reacción de formación de dicho compuesto a partir de las especies elementales que lo componen, en su forma más abundante.

2 Desarrollo

2.1. MATERIAL Y REACTIVO EMPLEADOS

1. Balanza analítica.
2. Bomba calorimétrica.
3. Calorímetro.
4. Sacarosa ($C_{12}H_{22}O_{11}$)



Figura 1. Componentes del material y reactivo empleados en la práctica

2.2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Se pesa una muestra de sacarosa en una navecilla, anotándose su valor.

A continuación, se ensambla la navecilla y el resto de las piezas que componen la bomba calorimétrica, dicha bomba se sitúa dentro del calorímetro y se cierra.

Se mide la temperatura basal, que se toma como inicial antes de la combustión; se pulsa “ignite” en el programa, provocándose la ignición de dicha muestra dentro del calorímetro, y se registra la variación de temperatura con respecto al tiempo. Se anota el valor máximo alcanzado.

2.3. PRÁCTICA VIRTUAL

El programa informático utilizado permite la elaboración de un video, de duración aproximada 2,2 minutos, en el que se describen con detalle todas las etapas del experimento. Es decir, desde la pesada inicial de la muestra de sacarosa (azúcar), hasta la determinación de la temperatura final en el interior del calorímetro.

Además, el programa proporciona los valores de los parámetros necesarios para realizar los cálculos del Apartado 2.4., es decir: masa de azúcar, temperatura inicial y temperatura final del agua situada en el entorno de la bomba calorimétrica. Dicho programa permite el registro de la variación de la temperatura con respecto al tiempo para su posterior análisis.

El planteamiento elegido para el desarrollo de la práctica es el siguiente: los/las estudiantes visualizan el video y toman nota de los valores de los parámetros necesarios para los cálculos precisos con el fin de obtener los calores de combustión y de formación de la sacarosa. Los cálculos pueden hacerse mediante una calculadora de bolsillo o con ayuda de un ordenador.

Una vez finalizada la práctica, con el fin de verificar que los/las estudiantes han comprendido y asimilado los conocimientos expuestos, éstos responderán, en la misma sesión de trabajo, a unas cuestiones sencillas relativas a dicha práctica y propuestas por el profesorado.

2.4. CALCULOS Y RESULTADOS

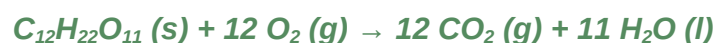
2.4.1. Datos obtenidos:

La Tabla 1 recopila los valores de los parámetros obtenidos durante la práctica virtual:

| Parámetro (unidad) | Valor numérico |
|---------------------------|----------------|
| Masa de muestra (g) | 0,9878 |
| Temperatura inicial (0 C) | 25,007 |
| Temperatura final (0 C) | 26,584 |

Tabla 1. Parámetros y sus valores numéricos

2.4.2. Ecuación química para la combustión de la sacarosa:



2.4.3. Cálculo del calor (entalpía) de combustión de la sacarosa:

2.4.3.1. Se calcula la variación de temperatura (ΔT) para el sistema, a partir de los datos obtenidos:

$$\Delta T = T_f - T_i = (26,584 - 25,007) ^\circ C = 1,577 ^\circ C$$

2.4.3.2. Se determina el número de moles de sacarosa en la muestra:

$$MM \text{ (sacarosa, } C_{12}H_{22}O_{11}) = 12,01 \cdot 12 + 1,008 \cdot 22 + 16,00 \cdot 11 = 342,3; \\ 1 \text{ mol sacarosa} = 342,3 \text{ g}$$

$$n^{\circ} \text{ moles} = 0,9878 \text{ g} \cdot \frac{1 \text{ mol } C_{12}H_{22}O_{11}}{342,3 \text{ g } C_{12}H_{22}O_{11}} = 2,886 \cdot 10^{-3} \text{ moles } C_{12}H_{22}O_{11}$$

2.4.3.3. Se calcula $\Delta H_{\text{combustión}}$ para la sacarosa usando $\Delta H_{\text{combustión}} = -\frac{C_{\text{sistema}} \cdot \Delta T}{n}$, donde n es el número de moles de muestra y la capacidad calorífica del sistema calorimétrico:

$C_{\text{sistema}} = 10,310 \frac{\text{kJ}}{\text{O}_C}$, valor determinado previamente en el calibrado del calorímetro, mediante la combustión de ácido benzoico usado como sustancia de referencia.

$$\Delta H_{\text{combustión}} = -\frac{10,310 \frac{\text{kJ}}{\text{O}_C} \cdot 1,577 \text{ O}_C}{2,886 \cdot 10^{-3} \text{ mol}} = -5634,15 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \approx -5634 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

En este caso $\Delta T > 0$ y el calor ($Q_{\text{combustión}} = -\Delta H_{\text{combustión}}$) positivo; por tanto, la variación de entalpía ($\Delta H_{\text{combustión}}$) es negativa, por lo que el proceso de combustión del azúcar es exotérmico.

2.4.3.4. El valor aceptado para $\Delta H_{\text{combustión}}$ (ΔH_c) de la sacarosa es $-5645 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$ [15]; a partir de él se determina el porcentaje de error (error relativo) del valor experimental obtenido:

$$\% \text{ Error} = \left(\frac{|\Delta H_{\text{experimental}} - \Delta H_{\text{aceptado}}|}{|\Delta H_{\text{aceptado}}|} \right) \cdot 100 = \left(\frac{|-5634 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} - (-5645) \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}|}{|-5645 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}|} \right) \cdot 100 = 0,19$$

Como puede observarse, se obtiene un error relativo de 0,19 %.

2.4.4. Cálculo del calor (entalpía) de formación de la sacarosa

2.4.4.1. Se escribe la ecuación de la ley de Hess ($\Delta H_{\text{combustión}} = \sum n \cdot \Delta H_f$ (productos) - $\sum n \cdot \Delta H_f$ (reactivos)), aplicándose a la entalpía de combustión de la sacarosa:

$$\Delta H_{\text{combustión}} = [12 \cdot \Delta H_f(\text{CO}_2) + 11 \cdot \Delta H_f(\text{H}_2\text{O})] - [1 \cdot \Delta H_f(C_{12}H_{22}O_{11}) + 12 \cdot \Delta H_f(\text{O}_2)]$$

2.4.4.2. Se despeja ΔH_f ($C_{12}H_{22}O_{11}$):

$$\Delta H_f(C_{12}H_{22}O_{11}) = [12 \cdot \Delta H_f(\text{CO}_2) + 11 \cdot \Delta H_f(\text{H}_2\text{O})] - [\Delta H_{\text{combustión}} + 12 \cdot \Delta H_f(\text{O}_2)]$$

2.4.4.3. Se calcula ΔH_f de la sacarosa sabiendo que las entalpías estándar de formación para CO_2 , H_2O y O_2 son: $-393,5 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$, $-285,83 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$ y $0,0 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$, respectivamente:

$$\Delta H_f(C_{12}H_{22}O_{11}) = [12 \text{ mol } \text{CO}_2 \cdot (-393,5 \frac{\text{kJ}}{\text{mol } \text{CO}_2}) + 11 \text{ mol } \text{H}_2\text{O} \cdot (-285,83 \frac{\text{kJ}}{\text{mol } \text{H}_2\text{O}})] - \\ [1 \text{ mol } C_{12}H_{22}O_{11} \cdot (-5634 \frac{\text{kJ}}{\text{mol } C_{12}H_{22}O_{11}}) + 12 \text{ mol } \text{O}_2 \cdot (0,0 \frac{\text{kJ}}{\text{mol } \text{O}_2})] = \\ \Delta H_f(C_{12}H_{22}O_{11}) = -2232,13 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \approx -2232,1 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

2.4.4.4. El valor aceptado para $\Delta H_{\text{formación}}$ (ΔH_f) de la sacarosa es $-2221,9 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$ [15]; a partir de él se determina el porcentaje de error (error relativo) del resultado del cálculo:

$$\% \text{ Error} = \left(\frac{|\Delta H_{\text{experimental}} - \Delta H_{\text{aceptado}}|}{|\Delta H_{\text{aceptado}}|} \right) \cdot 100 = \left(\frac{|-2232,1 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} - (-2221,9) \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}|}{|-2221,9 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}|} \right) \cdot 100 =$$

0,46. Se obtiene un error relativo de 0,46 %.

Los errores relativos obtenidos, tanto para la entalpía de combustión como para la de formación, son pequeños, resultando totalmente aceptables desde el punto de vista de la estadística [16].

El experimento se llevó a cabo en un calorímetro a volumen constante, es decir, en realidad se obtuvo la variación de energía interna (ΔU); sin embargo, las condiciones de presión y temperatura a las que se realizó conllevan que el término $p \cdot \Delta V = \Delta n \cdot R \cdot T$ [14], sea pequeño. En consecuencia, en la expresión: $\Delta H = \Delta U + p \cdot \Delta V$ [14], se puede considerar, sin cometer un error apreciable, que $\Delta H \approx \Delta U$.

En la Tabla 2 resumen los resultados obtenidos y los valores de referencia para las entalpías de combustión y de formación de la sacarosa; también se indican los errores relativos en %:

| Entalpía | Resultado Obtenido (kJ/mol) | Valor de Referencia (kJ/mol) | Error relativo (%) |
|------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------|
| Combustión | -5634,2 | -5645 | 0,19 |
| Formación | -2232,1 | -2221,9 | 0,46 |

Tabla 2. Resultados obtenidos, valores de referencia y porcentajes de error relativo

2.5. CUESTIONES SOBRE LA PRÁCTICA

Una vez finalizada la práctica, los alumnos han de responder a las siguientes cuestiones relacionadas con la misma:

1. Escriba la ecuación de formación de la sacarosa a partir de sus elementos componentes. Obtenga dicha ecuación a partir de las correspondientes a la formación del CO_2 y del H_2O y a la combustión de la sacarosa.
2. ¿De qué tipo es el proceso de combustión de la sacarosa ($\Delta H_{\text{combustión}} = -5634,15 \text{ kJ/mol}$), si, además, durante el mismo la temperatura del sistema aumenta?
3. Si sabemos que una reacción de combustión es endotérmica en un sentido, ¿qué se puede decir de la reacción en el sentido contrario?
4. La disolución de nitrato de amonio en agua es un proceso endotérmico. ¿Cuál es el signo de $Q_{\text{reacción}}$? Si se añade nitrato de amonio a un matraz con agua, ¿se notaría caliente o frío?

2.6. AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro agradecimiento a la Universidad de A Coruña por la concesión de una Beca de Colaboración del Programa de Formación Complementaria [17] a Andrea María Gómez Rodríguez, y a la Editorial Pearson Educación.

3 Conclusiones

A partir de lo anteriormente expuesto se llega a las siguientes conclusiones:

Se parte inicialmente de una práctica virtual en la que se lleva a cabo la pesada de una muestra de azúcar (sacarosa) y la reacción de la misma con oxígeno a presión en una bomba calorimétrica.

La práctica virtual permite asimismo obtener datos de la variación de temperatura frente al tiempo en el transcurso de la reacción de combustión, además de otros parámetros.

A partir de los datos obtenidos anteriormente, se llevan a cabo los cálculos (mediante un dispositivo adecuado) con el fin de determinar los calores o entalpías de combustión y de formación de la sacarosa.

Terminada la práctica, con la finalidad de comprobar si los/las estudiantes han entendido y asimilado los conocimientos presentados, estos /

estas deberán resolver algunas cuestiones relacionadas con la misma y que han sido propuestas por el profesorado.

4 Bibliografía

- [1]. Castro, C.; Fernández, J.; Muñoz, E. (2011). Prácticas de laboratorio de Química en los Grados relacionados con la Ingeniería Industrial en el EEES. En Colegio Oficial de Químicos de Galicia (Eds.), XVII Encontro Galego-Portugués de Química (p. 107). Pontevedra: Deputación Provincial de Pontevedra.
- [2]. Casanova, R.; Filgueira, A.; Fernández, J.; Muñoz, E. (2014). Prácticas virtuales de laboratorio en la asignatura Química de primer curso de los grados relacionados con la Ingeniería Industrial. En P, Membiela; N, Casado; M, Cebreiros (Eds.), Panorama actual de la docencia universitaria (pp. 545-549). Ourense: Educación editora.
- [3]. Heredia, N.; Filgueira, A.; Fernández, J.; Muñoz, E. (2016). Práctica virtual de Laboratorio de Química: Determinación del calor de reacción de disolución del hidróxido de sodio en agua. En P, Membiela; N, Casado; M, Cebreiros (Eds.), Nuevos escenarios en la docencia universitaria (pp. 529-533). Ourense: Educación editora.
- [4]. Lourido, R.; Fernández, J.; González, E.; González, V.; Alonso, E.; Castro, J. (2018). Verificación de la ley de Hess por medio de una práctica virtual de Laboratorio de Química. En P, Membiela; N, Casado; M, Cebreiros; M. Vidal (Eds.), Nuevos desafíos en la enseñanza superior (pp. 95-99). Ourense: Educación editora.
- [5]. Fernández, J.; Gómez, A.; Rodríguez, M.; Fernández, S. (2022). Práctica virtual de Laboratorio de Química: Determinación del calor de combustión y de formación de la aspirina (ácido acetilsalicílico). En Colegio Oficial de Químicos de Galicia (Eds.), XXVI Encontro Galego-Portugués de Química (p. 435). Santiago de Compostela: Colegio Oficial de Químicos de Galicia.
- [6]. Fernández, J.; Casanova, R.; González, E.; Fernández, S.; Rodríguez, M. (2025). Práctica virtual de Laboratorio de Química: Determinación del calor de reacción entre el hidróxido de sodio y el ácido clorhídrico. En Asociación de Químicos de Galicia (Eds.), VI Congreso Internacional de Didáctica de la Química (p. 98). Congreso Online: Colegio Oficial de Químicos de Galicia.

- [7]. Fernández, J.; González, E.; Heredia, N.; Fernández, S.; Castro, J. (2021). Separación e identificación de los iones Ag^+ , Fe^{3+} y Cu^{2+} mediante una práctica virtual de laboratorio de Química. *Actualidad Analítica*, 74, 10-11.
- [8]. Heredia, N.; Fernández, J.; Muñoz, E.; González, E. (2016-17). Determinación del calor específico del aluminio mediante una práctica virtual de Laboratorio de Química. *Anuario Latinoamericano de Educación Química (ALDEQ)*, 32, 46-50.
- [9]. Fernández, J.; Gómez, A.; Rodríguez, M.; Fernández, S.; González, E. (2024). Práctica virtual de Laboratorio de Química: Determinación del calor específico del plomo. En *Colegio Oficial de Químicos de Galicia (Eds.), XXVIII Encontro Galego-Portugués de Química* (p. 354). Vigo: Colegio Oficial de Químicos de Galicia.
- [10]. Lourido, R.; Fernández, S.; Fernández, J.; González, E.; Castro, J. (2018-19). Determinación del calor de fusión del hielo mediante una práctica virtual de Laboratorio de Química. *Anuario Latinoamericano de Educación Química (ALDEQ)*, 33, 88-92.
- [11]. Fernández, J.; Lourido, R.; Fernández, S.; González, E.; Castro, J. (2023). Determinación del calor de vaporización del agua, mediante una práctica virtual de laboratorio de Química. *Galicia Química*, 5 (2), 24-28.
- [12]. Woodfield, B., Asplund, M., Haderlie, S. (2009). *Laboratorio Virtual de Química General*. 3ª Edición. México: Prentice Hall-Pearson Educación.
- [13]. Fernández, J.; Gómez, A.; Rodríguez, M.; Fernández, S.; Castro, J. (2021). Práctica virtual de Laboratorio de Química: Determinación del calor de combustión del azúcar (sacarosa). En *Colegio Oficial de Químicos de Galicia (Eds.), III Congreso de Didáctica de la Química* (p. 57). Santiago de Compostela: Colegio Oficial de Químicos de Galicia.
- [14]. Petrucci, R.; Herring, F.; Madura, J.; Bissonnette, C. (2011). *Química General. Principios y aplicaciones modernas*. 10ª Edición. Madrid: Prentice Hall-Pearson Educación, S. A.
- [15]. Reboiras, M. (2005). *Química. La Ciencia Básica*. Madrid: Thomson Editores Spain- Paraninfo, S. A.
- [16]. Fernández, J.; Pérez, J.; Seco, H. (2012). *Estadística Sencilla para Estudiantes de Ciencias*. Madrid: Editorial Síntesis, S. A.
- [17]. Fernández, J.; Rodríguez, M.; González, E.; Fernández, S.; Castro, J. (2025). Programa de Becarios de Formación Complementaria de la UDC. Contribución del Laboratorio de Química de la EPS de Ferrol. *Galicia Química*, 7 (1), 55-61.

Pelayo Rubido Muñiz

El impulsor de las Olimpiadas de Química en España

Juan José Sanmartín Rodríguez
 Coordinador de la Olimpiada Gallega de Química
 Vicepresidente de la Asociación de Químicos de Galicia

En esta edición de Galicia Química, dedicamos nuestro Cartel de la Olimpiada Gallega de Química a una figura fundamental en la historia de estas competiciones académicas: Pelayo Rubido Muñiz, quien con su visión y tenacidad logró elevar las olimpiadas químicas desde el ámbito regional hasta convertirlas en una realidad nacional.

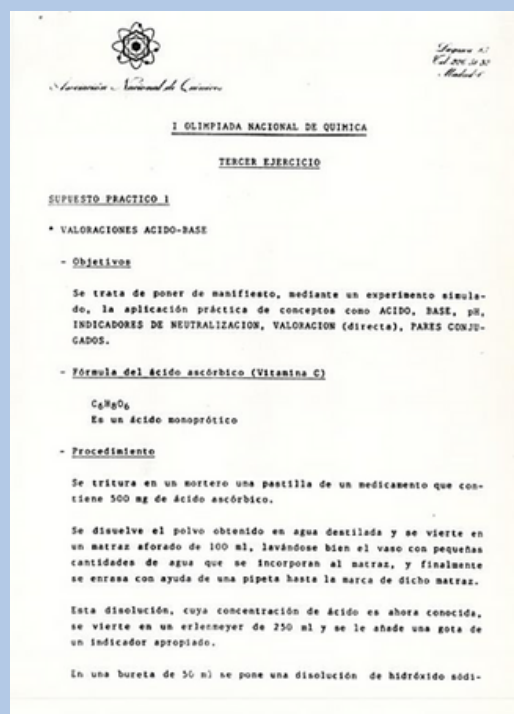
Pelayo Rubido Muñiz (Pontevedra, 1942) es químico especialista en Química Orgánica por la Universidad Complutense de Madrid y diplomado por el Instituto de Plásticos y Caucho del CSIC de Madrid. Su trayectoria profesional comenzó como Director Técnico de una fábrica de adhesivos industriales del grupo internacional Tivoli Werke.A.G., con sede en Hamburgo, empresa proveedora de la industria del automóvil hasta la crisis de 1983.

la participación de Grupo Interlab, consiguiendo que el laboratorio fuera acreditado por ENAC según la norma UNE-EN ISO/IEC 17025. Al jubilarse, vendió la empresa a Eurofins Iproma de Castellón.

XLIII Olimpiada Gallega de Química
 13 de Marzo
 Sedes: Santiago, Lugo, A Coruña, Ourense, Vigo
 Pelayo Rubido
 Pontevedra 1942
 químico especializado en Orgánica por la UCM y diplomado por el CSIC en Plásticos y Caucho, desarrolló su carrera profesional como Director Técnico en una fábrica de adhesivos industriales vinculada a la automoción, fundó una asesoría medioambiental y un laboratorio de control ambiental (AUQUILAB S.L.), acreditado por ENAC. Su papel fue clave en la creación y consolidación de las Olimpiadas de Química en España tras participar en la Olimpiada gallega y convencerlo de la necesidad de darles proyección nacional, logró en 1986 ser nombrado Coordinador Nacional por la ANQUE.

COLABORAN:
 USC (UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA)
 XUNTA DE GALICIA (CONSELLERÍA DE EDUCACIÓN, CIENCIA, UNIVERSIDADES E FORMACIÓN PROFESIONAL)
 UNIVERSIDADE DA CORUÑA

olimpiadagallega@colquiga.org 623 033 325



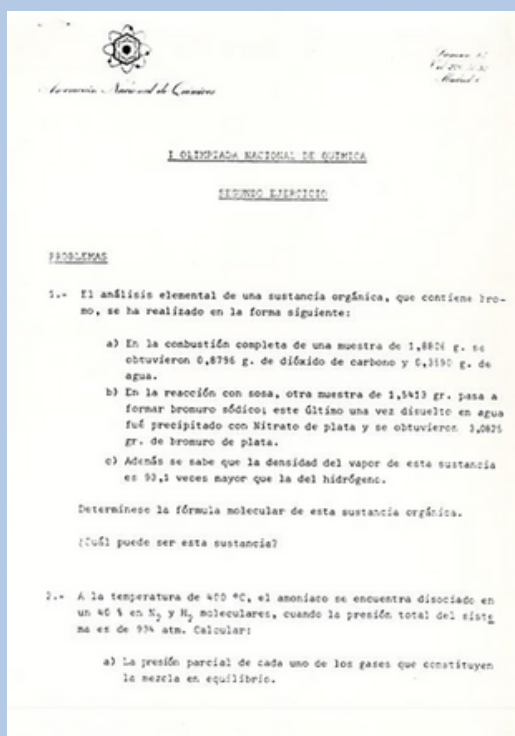
I Olimpiada Nacional – Tercer Ejercicio

El impulso decisivo a las Olimpiadas de Química

Una de sus contribuciones a la química española, de Pelayo Rubido, radica en su papel como artífice de las Olimpiadas Nacionales de Química. En marzo de 1982 fue elegido Decano del Ilustre Colegio Oficial de Químicos de Galicia, cargo desde el cual participó y conoció la celebración de la II Olimpiada Gallega de Química, entonces de carácter bianual y cuya organización dependía de la Junta Directiva de la Agrupación Territorial de la ANQUE (Ahora. Asociación de Químicos de Galicia)

Tras esta primera etapa, Pelayo Rubido fundó una asesoría medioambiental y de higiene industrial, y junto con Grupo Interlab creó el laboratorio de control medioambiental AUQUILAB S.L., E.C.A, colaboradora de los Organismos de Cuenca. Posteriormente adquirió

Una vez unificadas las Juntas Directivas de COLQUIGA y AQQ, en 1984, para evitar los problemas debidos a la duplicidad de funciones, se decidió que la Olimpiada Gallega de Química se realizase con carácter anual y convencido del papel profesional relevante que podría suponer esta actividad, quiso llevarla, también, al ámbito del resto de las Autonomías existentes, y como colofón Pelayo Rubido se propuso elevarla también al nivel nacional. Pero para ello era necesario persuadir a la Junta de Gobierno de la ANQUE, tarea que no pudo acometerse hasta conseguir representación en dicha junta, enfrentándose además a una Junta directiva poco receptiva a estas inquietudes.



I Olimpiada Nacional – Segundo Ejercicio

El punto de inflexión llegó gracias a un dossier sobre las Olimpiadas de Química en Francia, patrocinadas entonces por la empresa ELF Aquitaine con un premio de un millón de francos franceses. Esta documentación les permitió vislumbrar las posibilidades del proyecto y les abrió las puertas el poder participar con una charla sobre las Olimpiadas de Química en Galicia durante la XXI Reunión Bienal de la Sociedad Española de Química, celebrada en

Santiago en 1986 dentro del programa de la sección de Didáctica de la Química.

Coordinador Nacional: de la persistencia al éxito

Con el dossier francés como herramienta de persuasión, Pelayo Rubido inició una intensa campaña de sensibilización en las juntas de gobierno y asambleas de ANQUE. Su persistencia dio fruto en junio de 1986, cuando la Junta de Gobierno de ANQUE le otorgó el nombramiento de "Coordinador Nacional para la organización de las Olimpiadas de Química en España", cargo que él mismo reconoce que probablemente se creó con la intención de que abandonara el tema y dejara tranquila a la organización.

En 1987, aunque no se pudo celebrar la I Olimpiada Nacional, sí se organizaron las primeras olimpiadas regionales en Asturias y Andalucía-Extremadura, además de la V de Galicia. También se firmó un importante acuerdo de colaboración entre la Real Sociedad Española de Química (RSEQ) y ANQUE.

El momento histórico llegó el 3 de junio de 1988, cuando se celebró en la Facultad de Químicas de la Universidad Complutense de Madrid la I Olimpiada Nacional de Química, organizada por ANQUE y el Consejo General de Colegios de Químicos, con la colaboración de la RSEQ. Previamente se habían celebrado las olimpiadas regionales en Aragón-Navarra, Asturias, Cataluña-Baleares y Galicia. Pelayo Rubido era consciente de que la incorporación de Cataluña significaba que el objetivo estaba conseguido, ya que las demás autonomías seguirían su ejemplo.

Consolidación y legado

Paralelamente a la organización de estos eventos, Pelayo Rubido colaboró en la redacción del reglamento que debería regir las olimpiadas. Continuó pilotando las cuatro siguientes olimpiadas nacionales (1988-1991), todas celebradas en Madrid, con una respuesta unánime de todas las autonomías convocadas.

Cumplido su mandato y habiendo puesto en marcha exitosamente el proyecto, presentó su dimisión en 1991, tras la celebración de la IV Olimpiada Nacional en la UCM de Madrid. Como él mismo señala, había cumplido los objetivos propuestos y, siendo químico industrial sin experiencia docente, consideraba que su colaboración ya no era necesaria.



Viajero empedernido, lector insaciable y aficionado a la fotografía y a la genealogía, Pelayo Rubido Muñiz representa el espíritu de quienes, desde Galicia, han sabido proyectar iniciativas de alcance nacional e internacional en beneficio de la profesión química y de la educación científica.

Su legado perdura en cada olimpiada que se celebra, recordándonos que las grandes transformaciones nacen a menudo de la visión y la tenacidad de quienes creen firmemente en sus ideas y luchan por hacerlas realidad.



Entrega de premios de la III Olimpiada gallega de Química por el Prof.Dr. D Ricardo Riguera Vega decano de la Facultad de Química, en presencia del Rector de la USC Prof.Dr. D. Carlos Pajares Vales y Pelayo Rubido Decano Presidente de COLQUIGA y AGQ en 1984

Reconocimiento merecido

En abril de 2006, con motivo de la celebración de la XXV Olimpiada Nacional de Química en Vigo, la RSEQ y ANQUE rindieron homenaje tanto a Enrique Macías Ruiz (compañero ya fallecido, catedrático de Matemáticas y padre de la idea) como a Pelayo Rubido Muñiz por el trabajo realizado.

Su labor fue determinante para situar la Olimpiada Gallega de Química en el contexto europeo y mundial, logrando esta objetivo en fechas próximas a las de la olimpiada francesa que había servido de inspiración. Además de su contribución a las olimpiadas, ejerció como Decano del Ilustre Colegio Oficial de Químicos de Galicia entre 1982 y 1988, recibiendo la insignia honorífica del Colegio por su larga trayectoria y labor en encuentros y comisiones científicas, incluyendo los Encuentros Galego-Portugueses y Luso- Galegos de Química.



Previsión Sanitaria Nacional

Planes
de Pensiones

TU FUTURO, EN MANOS EXPERTAS

Más de 25 años gestionando algunos de los planes de pensiones más rentables de su categoría.

RENTABILIDAD NETA ANUALIZADA
EN LOS ÚLTIMOS 5 AÑOS

Plan Individual

8,32%*

Renta Fija Confianza

3,03%*

*Según datos de Morningstar a cierre del primer trimestre de 2025

TRAJE TU
PLAN O PPA A PSN

y te damos
hasta un

3%
adicional

INFÓRMATE



Ilustre Colegio Oficial de Químicos de Galicia

Asociación de Químicos de Galicia

Rúa Lisboa, 10, Edificio Área Central, 1ª planta, Local 31-E
15707 Santiago de Compostela (A Coruña)

Tel. 623 033 325

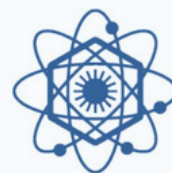
Horario Sede: Lunes a Viernes de 10:00 a 14:00 horas

secretaria@colquiga.org

www.colquiga.org



**Colexio Oficial de
Químicos de Galicia**



**ASOCIACIÓN DE
QUÍMICOS DE GALICIA**