

Benceno: 200 años de ciencia, símbolo y transformación**Benzene: 200 years of science, symbol and transformation****Damian Crespo López**

Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología

<https://orcid.org/0009-0001-9965-1932>damian.crespo@up.ac.pa

Recibido: 22/03/26

Aceptado: 18/05/26

DOI <https://doi.org/10.48204/j.scientia.v36n2.a9591>**Resumen**

El año 2025 marca el bicentenario del descubrimiento del benceno, una molécula que transformó la Química Orgánica desde su aislamiento por Michael Faraday en 1825. El enigma de su fórmula condujo a la revolucionaria propuesta de Friedrich August Kekulé de un anillo cíclico, que más tarde se refinó con la teoría de la resonancia y la deslocalización electrónica. Este avance no solo explicó la excepcional estabilidad del benceno, conocida como aromaticidad, sino que también sentó las bases para los modelos de enlace y la reactividad selectiva en sistemas conjugados.

Desde el punto de vista aplicado, el benceno es un precursor industrial clave, sirviendo como la materia prima fundamental para la síntesis de polímeros (nylon, estireno), numerosos productos farmacéuticos, agroquímicos y solventes. Esta ubicuidad tecnológica le confiere un rol económico global insustituible.

Sin embargo, su legado científico se acompaña de un dilema ético y sanitario: el benceno es un carcinógeno de Grupo 1. Su toxicidad se debe a la formación de metabolitos reactivos que comprometen la médula ósea y están vinculados causalmente con la leucemia. En respuesta, las regulaciones ambientales y laborales se han endurecido significativamente.

El benceno funciona como un recurso didáctico esencial y una metáfora de la ciencia moderna: una estructura simple de profundo impacto que exige la integración de la excelencia científica con una gestión ética rigurosa de sus riesgos, proyectando sus desafíos hacia el futuro de la química sostenible.

Palabras claves: Aromaticidad, Carcinógenos, Historia de la ciencia, Educación química



Abstract

The year 2025 marks the bicentennial of the discovery of benzene, a molecule that transformed Organic Chemistry following its isolation by Michael Faraday in 1825. The enigma surrounding its formula led to Friedrich August Kekulé's revolutionary proposal of a cyclic ring, which was later refined with the theory of resonance and electron delocalization. This conceptual leap not only explained benzene's exceptional stability, known as aromaticity, but also laid the groundwork for modern bonding models and selective reactivity in conjugated systems.

From an applied perspective, benzene is a key industrial precursor, serving as the fundamental raw material for the synthesis of polymers (nylon, styrene), numerous pharmaceutical products, agrochemicals, and solvents. This technological ubiquity grants it an irreplaceable global economic role.

However, its scientific legacy is accompanied by an ethical and health dilemma: benzene is a Group 1 carcinogen. Its toxicity stems from the formation of reactive metabolites that compromise bone marrow and are causally linked to leukemia. In response, environmental and occupational regulations have been significantly tightened.

benzene functions as an essential didactic resource and a metaphor for modern science: a simple structure with profound impact that demands the integration of scientific excellence with rigorous ethical management of its risks, projecting its challenges toward the future of sustainable chemistry.

Keywords: Aromaticity, Carcinogens, History of Science, Chemistry Education

Introducción

En 2025 se conmemora el bicentenario del descubrimiento del benceno, un hito trascendental que marcó el nacimiento de la Química Orgánica moderna, en un laboratorio improvisado y sin saberlo, Michael Faraday aisló en 1825, una sustancia que cambiaría para siempre el curso de la química orgánica: el benceno. A partir de residuos aceitosos, esta simple pero enigmática molécula se transformó rápidamente de un misterio químico a la piedra angular de una revolución científica, un enigma estructural que desafió a generaciones de químicos y una molécula que hoy sostiene industrias enteras. Pero el benceno no es solo carbono e hidrógeno: es símbolo, es historia, es dilema.

A lo largo de 200 años, el benceno ha sido protagonista de descubrimientos brillantes y controversias éticas. Su estructura, soñada por Kekulé en forma de serpiente que se muerde la cola, representa la unión entre intuición y lógica, entre arte y ciencia. Su presencia en plásticos, medicamentos y materiales avanzados lo convierte en una molécula omnipresente, pero también en una amenaza silenciosa cuando se ignoran sus riesgos tóxicos.

El presente ensayo celebra los 200 años del benceno no solo como homenaje químico, sino como reflexión profunda sobre el poder transformador de la ciencia, sus límites, y su papel en la educación contemporánea. Aborda la profunda y dual herencia de esta molécula, explorando su evolución estructural desde la visión onírica de Kekulé hasta los modelos de deslocalización electrónica, su impacto catalizador en la síntesis de innumerables productos industriales y biomédicos, y la necesaria reflexión ética sobre su toxicología y regulación ambiental. Finalmente, se destaca el papel persistente del anillo bencénico como una herramienta didáctica fundamental para la enseñanza de conceptos avanzados de química en la educación superior.

Origen y evolución estructural del benceno

El descubrimiento del benceno marcó un hito en la historia de la química orgánica. En 1825, el científico británico Michael Faraday logró aislar una sustancia incolora y de olor peculiar a partir de residuos de lámparas de gas, que se obtiene de la descomposición aceitosos química del aceite de ballena (Quintero, 2022). Este compuesto, posteriormente identificado como benceno, es un fluido transparente con un aroma distintivo y un sabor que recuerda a algo quemado, cuya fórmula es C_6H_6 . La estructura del benceno está compuesta por un anillo cerrado formado por seis átomos de carbono que están conectados mediante enlaces químicos que oscilan entre enlaces sencillos y dobles. Cada carbono también está enlazado a un átomo de hidrógeno (Cornejo, 2017).

Durante décadas, los químicos intentaron descifrar la disposición de los átomos en esta molécula. Fue en 1865 cuando el químico alemán Friedrich August Kekulé propuso una estructura revolucionaria: un anillo hexagonal con enlaces simples y dobles alternados, inspirado según su propio relato por una visión onírica en la que una serpiente se mordía la cola (Navarro, 2015). Esta imagen simbólica, conocida como el Ouroboros, lo llevó a concebir la idea de una estructura cíclica cerrada, que explicaba en parte la fórmula y el comportamiento químico del

benceno.

Sin embargo, la propuesta de Kekulé no resolvía completamente el misterio. Las propiedades físicas del benceno, como la igualdad en las longitudes de enlace carbono-carbono (140 pm), no coincidían con las diferencias esperadas entre enlaces simples (146 pm) y dobles (134 pm) (Carey y Giuliano, 2014). Esto llevó al desarrollo del concepto de resonancia: Charles Coulson sugirió reemplazar la idea de resonancia y emplear el concepto de deslocalización electrónica para explicar la estabilidad del anillo aromático (Ledesma, 2020).

Este fenómeno, conocido como aromaticidad, confiere al benceno una estabilidad excepcional y una reactividad característica, especialmente en reacciones de sustitución electrofílica aromática. La aromaticidad se define como la propiedad de ciertos compuestos cíclicos, planos y conjugados, cuyos electrones π están deslocalizados, lo que les otorga una energía de estabilización adicional (Ferré, 2013)

La evolución estructural del benceno no solo transformó la química orgánica, sino que también dio origen a conceptos fundamentales como la teoría de enlaces, la resonancia y la deslocalización electrónica. Su estudio permitió el desarrollo de modelos orbitales más precisos y abrió el camino hacia la comprensión de compuestos aromáticos más complejos, como los hidrocarburos policíclicos y el grafeno.

Impacto del benceno en la química orgánica

Herradón García (2023) destaca que el benceno no solo revolucionó la química orgánica, sino que también tuvo un impacto profundo en la sociedad a través de sus aplicaciones industriales y farmacéuticas.

El benceno ha sido, desde su descubrimiento, una piedra angular en el desarrollo de la química orgánica moderna. Su estructura cíclica y su comportamiento químico particular han permitido la formulación de conceptos

fundamentales como la aromaticidad, la resonancia y la reactividad selectiva, que hoy son esenciales en la comprensión de los compuestos orgánicos.

Uno de los aportes más significativos del benceno en la química es su papel en la consolidación de la teoría estructural. La propuesta de Kekulé en 1865 propuso una estructura plana cíclica de benceno con tres dobles enlaces alternos, aunque posteriormente refinada, permitió visualizar por primera vez una estructura cíclica con enlaces alternados, lo que abrió el camino hacia la formulación de modelos más precisos de enlace químico y deslocalización electrónica (Szatyłowicz et al., 2022). Esta visión fue clave para el desarrollo del concepto de resonancia, que explica la estabilidad del benceno como un híbrido de estructuras electrónicas equivalentes.

Desde el punto de vista sintético, el benceno es el prototipo de los hidrocarburos aromáticos y sirve como base para una amplia gama de reacciones. La más característica es la sustitución electrofílica aromática (SEAr), en la que un electrófilo sustituye a un átomo de hidrógeno del anillo, preservando la aromaticidad. Esta reacción incluye procesos como la nitración, halogenación, sulfonación y alquilación de Friedel-Crafts (Autino et al., 2013)

García Castañeda et al. (2025) señalan que el benceno es precursor de fármacos, colorantes, plásticos y solventes, y que su estructura aromática permite la creación de compuestos bioactivos con propiedades terapéuticas.

Además, el benceno ha dado origen a una familia de derivados con aplicaciones industriales y biomédicas de gran relevancia. Entre ellos destacan:

- Tolueno (metilbenceno): utilizado como disolvente y precursor en la fabricación de explosivos, colorantes y resinas.
- Fenol (hidroxibenceno): base para la síntesis de plásticos, desinfectantes y medicamentos como el ácido acetilsalicílico.
- Anilina (aminobenceno): productos farmacéuticos ejemplo antibióticos, como la ciprofloxacina o polímeros como el kevlar (Briceño, 2021). también, producción de colorantes, espumas/cauchos y productos bioactivos (Kramer et al.,

2023, p22).

Estos derivados no solo amplían el espectro de reactividad del benceno, sino que también han permitido el desarrollo de nuevas áreas como la química medicinal, la química de materiales y la nanotecnología.

El benceno ha sido un catalizador conceptual y práctico en la evolución de la química orgánica. Su estudio ha permitido entender fenómenos de estabilidad molecular, diseñar rutas sintéticas eficientes y desarrollar productos de alto valor agregado. A pesar de su toxicidad, su legado científico permanece como uno de los más influyentes en la historia de la química.

Aplicaciones del benceno

Los hidrocarburos aromáticos se consideran las principales materias primas para la síntesis de diversas clases de compuestos. Debido a sus enlaces simples y dobles activos, los derivados funcionales de estos compuestos se utilizan en la producción dirigida de polímeros y materiales compuestos para fines especiales, sustancias fisiológicamente activas y, a su vez, análogos de compuestos naturales y preparados medicinales (Shikhverdieva et al., 2023).

El benceno es utilizado en diversas industrias, desde la química pesada (producción a gran escala de productos químicos básicos que sirven como materia prima para otras industrias) hasta la farmacéutica. Su versatilidad lo convierte en una materia prima esencial para la síntesis de compuestos orgánicos de alto valor agregado.

Aplicaciones industriales

El benceno es el compuesto aromático más básico, con diversas aplicaciones en la industria química. Se utiliza principalmente como producto químico intermedio para el estireno en la fabricación de materiales plásticos. Los derivados del benceno, como el estireno, el cumeno, el ciclohexano y el nitrobenceno, son los

cuatro productos más importantes, cuya producción depende en gran medida de la demanda de benceno (Nithyanandam et al., 2018)

Entre sus algunas aplicaciones destacan:

- Producción de plásticos y polímeros: El 85% de producción de estireno se obtiene mediante deshidrogenación del etilbenceno, ampliamente usado en materiales de embalaje, envases rígidos para alimentos, aislantes y electrodomésticos (Gupta et al., 2022).

- Fabricación de nylon: A través de la síntesis de ácido adípico, derivado del benceno, se obtiene el nylon, utilizado en transporte, productos de consumo, componentes de equipos electrónicos, maquinaria, muebles, entre otros (Lorenzo, 2017, p13).

Obtención de detergentes y colorantes: El benceno participa en la síntesis de alquilbencenos sulfonados, base de muchos detergentes comerciales (Meneses, 2018, p23). También es precursor de nitrobenceno, utilizado en la producción de colorantes sintéticos

- Industria del caucho y neumáticos: La historia del uso del benceno en la fabricación de caucho y neumáticos tiene 100 años. Se emplea el benceno u otros compuestos aromáticos como disolvente en los procesos de producción de cauchos y neumáticos (Hosseini et al., 2014).

Estas aplicaciones han impulsado el desarrollo tecnológico, pero también han requerido estrictas medidas de seguridad debido a la naturaleza volátil y cancerígena del benceno.

Aplicaciones biomédicas

En el campo biomédico, el benceno y sus derivados han sido fundamentales en la síntesis de fármacos y compuestos bioactivos. Algunas de sus aplicaciones incluyen:

Síntesis de medicamentos: Se ha descubierto que las sustancias farmacéuticamente activas contienen compuestos aromáticos, que son derivados

del benceno; antiinflamatorios, antiapoptóticos, antioxidantes, antialzheimer, antimicrobianos, antivirales, antibióticos, antidepresivos, anticoagulantes, antihipertensivos, antisépticos, analgésicos, antipiréticos, entre otros (Doğan, y Çelik, 2023)

Posible uso de derivados del benceno como fungicida: Estudios realizados con benceno han exhibió una potente actividad fungicida contra todos los hongos como *candida spp.*, *Mucor spp.* y *Aspergillus spp.* La inhibición total del crecimiento fúngico, confirmada como un efecto fungicida, se observó a partir de la concentración más baja ensayada, el 10% (v/v) (Alhusayni y Al-Khikani, 2025)

Desarrollo de compuestos aromáticos bioactivos: Derivados como el eugenol, presente en aceites esenciales, poseen propiedades analgésicas y antisépticas, y se utilizan en odontología, la acción antibacteriana de estos compuestos se atribuye a una acción a nivel de la membrana celular que desencadena su disrupción (Erazo et al., 2017)

Derivados del benceno como antifúngicas: Estudios ha encontrado derivados del benceno con acción antifúngicos, lo que condujo al aislamiento e identificación de nueve derivados de benceno monosustituidos (Wan et al., 2016)

“Recientemente, el nailon ha atraído más atención en las industrias biomédicas debido a su prometedor potencial en la ingeniería de tejidos y la medicina regenerativa” (Shakiba et al., 2021, p2)

Aplicaciones Agropecuarias

Aunque el benceno puro posee una toxicidad elevada que restringe su uso directo en la agricultura, sus derivados químicos desempeñan un rol fundamental como bloques de construcción en el sector agropecuario. Este hidrocarburo aromático es un intermediario químico esencial para la síntesis de una amplia gama de productos fitosanitarios, incluyendo pesticidas, insecticidas y herbicidas.

Compuestos como el clorobenceno o el bifenilo (difenilo) son precursores directos o se utilizan como fungicidas específicos para la conservación de alimentos postcosecha. La incorporación de estos derivados bencénicos en las formulaciones agrícolas resulta crítica para optimizar la protección de los cultivos contra plagas, enfermedades fúngicas y la competencia de las malezas, contribuyendo directamente al incremento del rendimiento y a la seguridad alimentaria global. No obstante, el manejo, la aplicación y la gestión de residuos de estos compuestos requieren estrictas regulaciones y estrategias de mitigación ambiental debido a su potencial persistencia y toxicidad inherente.

Uno de los derivados del benceno es el indol es un compuesto biológicamente activo formado por la fusión de benceno y pirrol, y se encuentra ampliamente en productos naturales y fármacos. Debido a su estructura y propiedades únicas, sus derivados suelen presentar actividades fisiológicas distintivas, lo que ha generado gran interés en el campo del desarrollo de plaguicidas (Sun et al., 2024)

Toxicología del benceno

El benceno clasifica como un hidrocarburo aromático volátil, es un agente tóxico de alta relevancia debido a su amplia distribución ambiental y su toxicidad intrínseca para los sistemas biológicos humanos. La exposición ocurre principalmente por vía inhalatoria, dado que sus vapores son un componente común en los gases de escape vehiculares y en el humo del tabaco, aunque la absorción dérmica y la ingestión de agua contaminada también representan rutas significativas.

Las concentraciones de benceno medidas en el aire ambiente son generalmente órdenes de magnitud inferiores a las reportadas en entornos laborales. Las concentraciones de benceno en el aire ambiente han disminuido significativamente con el tiempo en Estados Unidos y Europa (las concentraciones

medias anuales actuales son $< 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Cañas et al., 2024)

Toxicología: efectos sobre la salud humana

La exposición al benceno ocurre principalmente en ámbitos laborales e industrias.

Aunque la exposición al benceno ocurre principalmente en entornos laborales e industriales, este compuesto químico también se encuentra en fuentes comunes como el humo del cigarrillo, la gasolina y los gases de escape vehiculares. Esta exposición ubicua y generalizada se asocia con un riesgo significativo de desarrollar diversos tipos de neoplasias malignas. Específicamente, las leucemias, los linfomas y el cáncer de pulmón figuran entre los cánceres comúnmente vinculados con la exposición al benceno (Paul et al., 2025)

La exposición principalmente por inhalación, pero la absorción cutánea también es una vía de ingreso, lo que provoca la desecación del manto graso y genera diversas dermatopatías. Los estudios sobre la exposición al benceno prevalecen las enfermedades de la piel por esta exposición crónica son la dermatitis atópica, afectando al 90% de los trabajadores. Otras alteraciones comunes incluyen dermatitis de contacto irritante y alérgica, irritación e hipersensibilidad de la piel, sarpullido, enrojecimiento, prurito y sequedad cutánea. Además, la exposición se ha relacionado con patologías más graves como el melanoma cutáneo y el cáncer de piel no melanoma (Torres et al., 2022)

Además, la exposición al Benceno se observa una mayor incidencia de alteraciones hematológicas, principalmente la leucopenia (disminución de glóbulos blancos), con un rango de prevalencia del 20% al 49.3% en diferentes estudios. Otras alteraciones incluyen la trombocitopenia (disminución de plaquetas) y la anemia. La exposición crónica puede progresar a afecciones más graves como el cáncer hematológico, siendo la leucemia la principal consecuencia documentada, junto con el linfoma no Hodgkin. La exposición laboral al benceno en gasolineras

causa graves alteraciones en el sistema hematológico, haciendo indispensable el uso de equipos de protección personal y una vigilancia ocupacional rigurosa para mitigar estos riesgos (García et al., 2023)

Aunque toda la población está expuesta, el riesgo es mayor en el ambiente laboral. Una vez en el organismo, el benceno se biotransforma en metabolitos altamente reactivos y radicales libres que resultan tóxicos, citotóxicos, genotóxicos y carcinógenos, dañando sistemas como el cardiovascular, endocrino, neurológico y, especialmente, el hematopoyético. El efecto adverso más claro y mejor estudiado es la inducción de leucemia, un proceso que se atribuye a la alteración de rutas de señalización hematopoyética, la inhibición de la defensa antitumoral, la inducción de aberraciones cromosómicas y la modificación del epigenoma (Bugarin et al., 2024)

Ambientales y laboral

La vigilancia biológica se considera complementaria a la monitorización ambiental y una herramienta útil para evaluar con precisión la exposición laboral a sustancias químicas. Esta evaluación se realiza periódicamente mediante el monitoreo de las cantidades de la sustancia química sin metabolizar o sus metabolitos en los fluidos biológicos del cuerpo, los cambios fisiológicos o las alteraciones enzimáticas (Rahimpoor et al., 2023)

El benceno es un hidrocarburo aromático volátil y un contaminante atmosférico omnipresente. Debido a su riesgo, las medidas regulatorias y las estrategias de mitigación implementadas desde la década de 1980 han reducido significativamente o sustituido el uso del benceno en diversos productos industriales y de consumo. (Wan et al., 2024)

Debido a su peligrosidad, el benceno está sujeto a estrictas regulaciones

ambientales y laborales. En los últimos años, se han propuesto o ya se han establecido el límite de exposición ocupacional más bajos para el benceno, en el rango de 0,05 a 0,25 ppm, para proteger a los trabajadores del cáncer inducido por el benceno (Boogaard, 2022)

El benceno en la educación

La molécula de benceno (C_6H_6) constituye un pilar didáctico indispensable para la introducción de la Química Orgánica moderna en los niveles de educación superior. Su estudio trasciende la mera memorización de una fórmula, sirviendo como una herramienta conceptual que articula tres principios fundamentales de la química: Resonancia electrónica, Aromaticidad y reactividad.

El benceno como herramienta didáctica

La enseñanza del benceno representa un desafío conceptual en química orgánica, especialmente por su estructura resonante y su comportamiento aromático. Tradicionalmente, se ha abordado mediante modelos de Lewis, estructuras de resonancia y representaciones planas del anillo aromático. Sin embargo, estas aproximaciones pueden resultar abstractas y poco intuitivas para estudiantes que recién se inician en el estudio de la química orgánica (González et al., 2011).

El uso del benceno como herramienta didáctica permite introducir conceptos clave como:

Resonancia electrónica: El benceno es el ejemplo paradigmático para introducir el concepto de resonancia. En lugar de poseer tres enlaces dobles y tres simples alternados (estructura de Kekulé), la realidad es que los seis electrones π se encuentran deslocalizados sobre todo el anillo. Didácticamente, esto permite a los estudiantes comprender:

Modelos de Representación: La necesidad de utilizar el círculo inscrito o las

estructuras de resonancia de Kekulé para ilustrar la nube electrónica uniforme y su estabilidad inherente.

Longitudes de Enlace: La evidencia física (longitudes de enlace carbono-carbono idénticas e intermedias entre simple y doble) que sustenta el modelo teórico de la resonancia.

Aromaticidad: La excepcional estabilidad termodinámica del benceno, conocida como aromaticidad, es el segundo concepto clave que facilita su estudio. La molécula se utiliza para establecer el Criterio de Hückel ($4n+2 = \pi$), enseñando a los estudiantes a diferenciar entre compuestos aromáticos (muy estables), antiaromáticos (inestables) y no aromáticos. Esta diferenciación es esencial para predecir la reactividad de otros sistemas cíclicos conjugados.

Reactividad y sustitución electrofílica aromática: En términos de reactividad, el benceno funciona como un material didáctico crucial para contrastar la química de los alquenos (reacciones de adición) con la de los aromáticos (reacciones de sustitución). Su estabilidad intrínseca dicta que las reacciones preferentes son aquellas que preservan el sistema aromático, siendo la sustitución electrofílica aromática (nitración, halogenación, alquilación de Friedel-Crafts) la vía principal para la funcionalización del anillo. Este contraste es vital para entender por qué los compuestos orgánicos se comportan de maneras tan diversas.

La estructura del Benceno se ha utilizado para aplicar diferentes formas didácticas como es el caso del enfoque Sistémico para la Enseñanza y el Aprendizaje (SATL) y la teoría de las Inteligencias Múltiples (MI) para la educación en Química. Para lograr una enseñanza innovadora y superar los métodos tradicionales en las cuatro paredes de un salón de clases, utilizando el modelo de actividad de la estructura del benceno como una actividad sistémica aplicable al aire libre. Esta metodología de enseñanza buscó intencionalmente activar las inteligencias musical-rítmica, corporal-cinestésica e interpersonal de los estudiantes para así potenciar sus inteligencias lógico-matemática y visual-espacial. El objetivo



de usar el benceno en este modelo era que los estudiantes alcanzaran una comprensión profunda de su estructura y enlace químico, desarrollaran una actitud positiva hacia el trabajo en equipo y adquirieran la habilidad de implementar modelos de actividad sistémica efectivos en Química (Fahmy y Lagowski, 2013).

El Benceno y los compuestos aromáticos se ha utilizado como herramienta didáctica utilizando la taxonomía de Bloom para ayudar a los educadores de química orgánica a alinear mejor sus evaluaciones con las actividades de enseñanza y para ayudar a los futuros profesores de química a mejorar sus habilidades de aprendizaje y metacognición. Estudios han mostrado formas de mejorar la enseñanza y el aprendizaje de los estudiantes en química orgánica, en el ejemplo de los hidrocarburos aromáticos, ajustando así la enseñanza y mejorando el dominio del material por parte de los estudiantes, desarrollando preguntas en niveles más altos de habilidades cognitivas y ayudando a los estudiantes a prepararse para los exámenes (Asgarova et al., 2025)

Integración de tecnologías inmersivas en la enseñanza del benceno

Las tecnologías inmersivas, como la realidad aumentada (AR) y la realidad virtual (VR), ofrecen nuevas posibilidades para visualizar y comprender la estructura y reactividad del benceno. Estas herramientas permiten representar el anillo aromático en tres dimensiones, observar la distribución electrónica y simular reacciones químicas en entornos seguros e interactivos.

Plataformas como CoSpaces, Merge Cube y Elements AR permiten a los docentes diseñar escenarios educativos donde los estudiantes pueden:

- Manipular modelos tridimensionales del benceno y sus derivados.
- Visualizar la resonancia como una nube electrónica deslocalizada.
- Simular reacciones de sustitución aromática con retroalimentación inmediata.
- Explorar entornos moleculares desde una perspectiva inmersiva,



favoreciendo el aprendizaje activo y significativo (Universidad de Huelva, 2025; Observatorio Tec, 2018).

Estas experiencias aumentan la motivación, la retención de conocimientos y la capacidad de razonamiento espacial de los estudiantes. Además, permiten integrar la química con otras disciplinas como la biología, la física y la ética ambiental, promoviendo una educación transdisciplinaria.

Conclusión

A dos siglos del descubrimiento del benceno por Michael Faraday en 1825, esta molécula ha demostrado ser mucho más que un compuesto químico: es un símbolo de la evolución científica, la creatividad humana y los dilemas éticos que acompañan al progreso. Su estructura hexagonal perfecta, basada en la resonancia electrónica, no solo revolucionó la química orgánica, sino que dio origen a miles de compuestos esenciales para la medicina, la industria, la nanotecnología y la vida cotidiana.

Sin embargo, el legado del benceno no puede celebrarse sin una mirada crítica. Su toxicidad, su presencia en contaminantes ambientales y su uso en procesos industriales nos recuerdan que toda innovación científica debe ir acompañada de responsabilidad ética. La educación contemporánea, especialmente aquella que integra tecnologías inmersivas, tiene el deber de enseñar el benceno no solo como molécula, sino como metáfora: una estructura estable que desafía transforma y exige reflexión.

Hoy, al conmemorar sus 200 años, el benceno nos invita a mirar hacia el futuro con una visión integradora: ciencia rigurosa, pedagogía creativa y ética comprometida. Que su hexágono siga siendo un punto de encuentro entre el conocimiento, la conciencia y la imaginación.

Referencias bibliográficas

Alhusayni, A. A., & Al-Khikani, F. H. O. (2025). Antimicrobial Activity of Petroleum and Benzene Against Selected Bacterial and Fungal Pathogens: Antimicrobial Activity of Petroleum and Benzene. *Infinity Journal of Medicine and Innovation*, 49-53.

[View of Antimicrobial Activity of Petroleum and Benzene Against Selected Bacterial and Fungal Pathogens](#)

Asgarova, A., Asadov, Kh. & Naghiyev, K. (2025). Revised Bloom in teacher education: aromatic hydrocarbons. *Sciences of Europe*, (171), 23-31.

[REVISED BLOOM IN TEACHER EDUCATION: AROMATIC HYDROCARBONS](#)

Autino, J. C., Romanelli, G. P., & Ruiz, D. M. (2013). Introducción a la química orgánica. Series: Libros de Cátedra. Editorial de la universidad de la Plata.

Boogaard, P. J. (2022). Human biomonitoring of low-level benzene exposures. *Critical Reviews in Toxicology*, 52(10), 799-810.

[Human biomonitoring of low-level benzene exposures](#)

Briceño Velazquez, G. F. (2021). Síntesis de anilinas sustituidas vía reducción de azidas y evaluación mecanística [tesis de maestría, Universidad autónoma de San Luis Potosí]. Repositorio Nacional CONACYT. [Síntesis de anilinas sustituidas vía reducción de azidas y evaluación mecanística](#)

Bugarin, O. T., Ureña, B. S., Jaime, L. F. G., Romero, J. C. L., Soto, C. L. G., & Palomo, K. G. M. (2024). Toxicidad por la exposición al benceno: Toxicidad por benceno. *CIENCIA Y FRONTERA*, 2(1), 64-75. [Vista de Toxicidad por la exposición al benceno](#)

Cañas Portilla, AI, Castaño, A. y Organización Mundial de la Salud. (2024). Efectos del benceno, el arsénico, el cadmio, el níquel, el plomo y el mercurio en la salud humana: Informe de una consulta de expertos. Organización Mundial de la Salud. Oficina Regional para Europa.

Carey, F. & Giuliano, R. (2014). Química Orgánica. (9ªEd.) México: McGraw-Hill.

Cornejo Arteaga, P. M. de L. (2017). Propiedades del benceno y sus usos en la industria. *Con-Ciencia Boletín Científico De La Escuela Preparatoria No. 3*, 4(7).

[Vista de Propiedades del benceno y sus usos en la industria | Con-Ciencia Boletín Científico de la Escuela Preparatoria No. 3](#)

Doğan, M. S., & Çelik, H. (2023). Organic Compounds Containing Aromatic Structure Used in Pharmaceutical Production. *Journal of Biochemical Technology*, 14(2-2023), 102-111. [Organic Compounds Containing Aromatic](#)

[Structure Used in Pharmaceutical Production - Journal of Biochemical Technology](#)

Erazo Guijarro, M. J., Arroyo Bonilla, F. A., Arroyo Bonilla, D. A., Castro García, M. R., Santacruz Terán, S. G., & Armas Vega, A. D. C. (2017). Efecto antimicrobiano del cinamaldehído, timol, eugenol y quitosano sobre cepas de Streptococcus mutans. Revista Cubana de Estomatología, 54(4), 1-9.

Fahmy, A. F. M., & Lagowski, J. J. (2013). [SATLC-Initiative] Uses of SATL & multiple intelligences [MI] for secondary and tertiary levels. Part-I: benzene structure activity. African Journal of Chemical Education, 3(1), 60-73.

[Vol. 3 No. 1 \(2013\) | African Journal of Chemical Education](#)

Farré, A. S. (2013). Estructura y Reactividad del Benceno. Su Enseñanza y Aprendizaje en un Curso Universitario de Química Orgánica [Tesis de doctorado no publicada, Universidad de Buenos Aires]. Repositorio institucional digital.

[RID-UNRN: Estructura y Reactividad del Benceno. Su Enseñanza y Aprendizaje en un Curso Universitario de Química Orgánica](#)

García Castañeda, O. A., Evangelista Nolasco, N. M., Huachalla Llicahua, X., Manzano Villegas, Á. G., & León Cárdenas, D. J. (2025). Aplicaciones del benceno en la producción de fármacos y compuestos orgánicos. Trabajo de investigación, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-mayor-de-san-marcos/quimica-organica/aplicaciones-del-benceno-en-la-produccion-de-farmacos-y-compuestos-organicos/124348708>

García, J., Florentino, D., Ali, B. N., & Coello, F. J. P. (2023). Enemigo silencioso de la salud: revisión de los efectos en la salud por exposición a benceno. Multidisciplinary & Health Education Journal, 5(3), 546-555.

[View of Silent enemy of health: review of the health effects of exposure to benzene](#)

González Llanos, J. J., Blanco Acosta, N., & Zapata Olivella, M. (2011). Estrategia didáctica con mediación de las TIC, propicia significativamente el aprendizaje de la Química Orgánica en la educación secundaria. [Estrategia didáctica con mediación de las tic.,pdf](#)

Gupta, R., Uslu, H., & Majumder, S. (2022). Production of styrene from dehydrogenation of ethylbenzene. Chemical Engineering & Technology, 45(5), 817-823.

[Production of Styrene from Dehydrogenation of Ethylbenzene - Gupta - 2022 - Chemical Engineering & Technology - Wiley Online Library](#)

Herradón García, B. (2023). Química orgánica: aspectos históricos, impacto en la sociedad, avances recientes e investigaciones en el IQOG-CSIC. Encuentros Multidisciplinares, 73, 1-12. <http://www.encuentros->



multidisciplinares.org/revista-73/bernardo-herradon.pdf

Hosseini, S., Rezazadeh-Azari, M. A. N. S. O. U. R., Taiefteh-Rahimian, R. A. A. N. A., & Tavakkol, E. (2014). Occupational risk assessment of benzene in rubber tire manufacturing workers. *International journal of occupational hygiene*, 6(4), 220-226.

[138-libre.pdf](#)

Kramer, D. G., Ramos, W. R., Júnior, S., de Sousa, A. M., & Junior, G. B. C. (2023). Anilina: síntese, aplicação e aspectos toxicológicos e ambientais: uma revisão. *Saúde e meio ambiente: revista interdisciplinar*, 12, 19-30.

[Anilina: síntese, aplicação e aspectos toxicológicos e ambientais: uma revisão | Saúde e meio ambiente: revista interdisciplinar](#)

Ledesma, J. M. (2020). La caracterización estructural del benceno de Kekulé: un ejemplo de creatividad y heurística en la construcción del conocimiento químico. *Ciência & Educação (Bauru)*, 26, e20019.

[SciELO Brasil - La Caracterización Estructural del Benceno de Kekulé: un Ejemplo de Creatividad y Heurística en la Construcción del Conocimiento Químico La Caracterización Estructural del Benceno de Kekulé: un Ejemplo de Creatividad y Heurística en la Construcción del Conocimiento Químico](#)

Lorenzo, D. (2017). Purificación de ciclohexanona obtenida en la oxidación de ciclohexano para la fabricación de caprolactama. [Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid].

[Purificación de ciclohexanona obtenida en la oxidación de ciclohexano para la fabricación de caprolactama](#)

Meneses Cali, M. D. L. (2018). Determinación de la efectividad de agentes microbianos para la degradación de tensoactivos dodecil bencen sulfonato de sodio lineal presente en detergentes (tesis de licenciatura, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo). Ecuador [content](#)

Navarro, M. S. (2015). Serendipia: ¿Descubrimientos casuales? *Química, Ciencia. Y sociedad, Revista Cubana de Química*, 1(3), 16.

[encuentro con la quimica vol1_no3.pdf](#)

Nithyanandam, R., Mun, Y., Fong, T. S., Siew, T. C., Yee, O., & Ismail, N. (2018). Review on production of benzene from petroleum associated gas by dehydro-aromatization, partial oxidation of methane and methanol-to-aromatics processes. *Journal of Engineering Science and Technology*, 13(12), 4290-4309.

[FORMAT INSTRUCTIONS FOR SOMChE 2004 PAPERS](#)

Paul, T., Paul, T., Katwal, S., Aroori, P., Dower, P., Bhatia, H., ... & Yadav, T. (2025). Benzene and human health: a comprehensive review of carcinogenic risks, mechanisms, and preventive strategies. *Annals of Medicine and Surgery*,



87(11), 7162-7168.

[Annals of Medicine and Surgery](#)

Quintero Duque, L. X. (2022). Análisis de las competencias investigativas desde la enseñanza de los hidrocarburos aromáticos en la educación presencial. Boletín PPDQ, (65), 17-27. [Análisis de las competencias investigativas desde la enseñanza de los hidrocarburos aromáticos en la educación presencial | Boletín P.P.D.Q.](#)

Rahimpoor, R., Jalilian, H., Mohammadi, H., & Rahmani, A. (2023). Biological exposure indices of occupational exposure to benzene: A systematic review. Heliyon, 9(11). [Biological exposure indices of occupational exposure to benzene: A systematic review: Heliyon](#)

Shakiba, M., Rezvani Ghomi, E., Khosravi, F., Jouybar, S., Bigham, A., Zare, M., ... & Ramakrishna, S. (2021). Nylon—A material introduction and overview for biomedical applications. Polymers for advanced technologies, 32(9), 3368-3383. [Nylon—A material introduction and overview for biomedical applications - Shakiba - 2021 - Polymers for Advanced Technologies - Wiley Online Library](#)

Sun, P., Huang, Y., Chen, S., Ma, X., Yang, Z., & Wu, J. (2024). Indole derivatives as agrochemicals: An overview. Chinese Chemical Letters, 35(7), 109005. [Indole derivatives as agrochemicals: An overview - ScienceDirect](#)

Szatyłowicz, H., Wierzchowicz, P. A., & Krygowski, T. M. (2022). Aromaticity Concepts Derived from Experiments. Sci, 4(2), 24. [Aromaticity Concepts Derived from Experiments | MDPI](#)

Shikhverdieva, N. T., Mammedova, U. A., & Zeynalov, N. A. (2023). The scientific basis of industrial application of the process of selective hydrogenation of benzene in different catalytic systems. Azerbaijan Chemical Journal, (3), 39-52. [THE SCIENTIFIC BASIS OF INDUSTRIAL APPLICATION OF THE PROCESS OF SELECTIVE HYDROGENATION OF BENZENE IN DIFFERENT CATALYTIC SYSTEMS](#)

Torres, A. M. M., Bojorque, L. M. B., Freire, G. E. O., & Ochoa, P. Y. Q. (2022). Benceno y alteraciones crónicas dermatológicas en trabajadores de gasolineras. Salud, Ciencia y Tecnología, 2, 186-186. [Benceno y alteraciones crónicas dermatológicas en trabajadores de gasolineras](#)

Wan, C., Han, J., Chen, C., Yao, L., Chen, J., & Yuan, T. (2016). Monosubstituted benzene derivatives from fruits of *Ficus hirta* and their antifungal activity against phytopathogen *Penicillium italicum*. Journal of Agricultural and Food



Chemistry, 64(28), 5621-5624.

[Monosubstituted Benzene Derivatives from Fruits of Ficus hirta and Their Antifungal Activity against Phytopathogen Penicillium italicum | Journal of Agricultural and Food Chemistry](#)

Wan, W., Peters, S., Portengen, L., Babigumira, R., Stenehjem, J. S., Richardson, D., & Vermeulen, R. (2024). Occupational benzene exposure and lung cancer in human studies: a systematic review and meta-analysis. *Environmental Health Perspectives*, 132(12), 126001.

[Occupational Benzene Exposure and Lung Cancer in Human Studies: A Systematic Review and Meta-Analysis - PMC](#)