

4. Los petroquímicos en la industria petrolera

DOI: [cc.443.04](https://doi.org/10.443/04)

DIEGO GUZMÁN LUCERO*
RAFAEL MARTÍNEZ PALOU**

Resumen

La industria petroquímica es la rama de la industria química dedicada a la transformación del petróleo y el gas natural en productos químicos. Además de los combustibles, como la gasolina, la turbosina, el diésel, el queroseno y los gases butano y propano, la industria petrolera también se dedica a la producción de una amplia gama de productos no combustibles que son esenciales para la vida cotidiana y la industria.

En este capítulo se describen los productos petroquímicos, es decir, los obtenidos primariamente en el proceso de refinación del petróleo para obtener combustibles. Estos productos petroquímicos se clasifican principalmente en dos tipos: olefinas, es decir, compuestos orgánicos insaturados como el etileno y el propileno, y compuestos aromáticos, en particular benceno, tolueno y xilenos. Ambos grupos tienen gran relevancia industrial y comercial, ya que constituyen materias primas esenciales para la producción de numerosos productos de uso cotidiano, como plásticos, fibras sintéticas y detergentes, así como de otros más especializados, como fertilizantes y productos farmacéuticos.

Palabras clave: *petroquímicos, polímeros, aromáticos, etileno, propileno.*

*Doctor en Ciencias. Investigador en el Instituto Mexicano del Petróleo, México. ORCID: 0000-0001-8113-7364; Scopus: 9640362100; correo electrónico: djguzman@imp.mx

**Doctor en Ciencias. Investigador y Profesor en el Instituto Mexicano del Petróleo, México. ORCID: 0000-0003-3598-7207; Scopus: 9639930800; correo electrónico: rpalou@imp.mx

Introducción

La industria petrolera es una de las más importantes a nivel mundial. Su relevancia no solo radica en que provee los combustibles que permiten generar más del 80% de la energía utilizada a nivel global y aproximadamente el 60% del suministro eléctrico (LinkedIn, s. f.), sino también en que suministra una amplia variedad de productos químicos de gran utilidad, como asfalto, alquitrán, azufre, ceras, lubricantes y aceites, así como materias primas esenciales para la fabricación de numerosos productos de consumo masivo (Hatch y Matar, 2022). Los productos petroquímicos son productos químicos derivados principalmente del petróleo mediante procesos de refinación, aunque también pueden obtenerse de otros combustibles fósiles, como el gas natural o de energías renovables. Estas últimas son tecnologías que no sólo ayudan a mitigar el cambio climático, sino que también promueven una economía circular al utilizar recursos renovables y reducir los residuos (Mafakheri *et al.*, 2023).

Las refinerías de petróleo producen los petroquímicos básicos (olefinas y aromáticos) mediante el proceso conocido como craqueo de fracciones de petróleo. En particular, las olefinas se obtienen mediante el craqueo a vapor del gas natural y los aromáticos mediante el reformado catalítico de la nafta.

La industria petroquímica ocupa una posición insustituible en el desarrollo económico mundial y, ante la creciente conciencia ambiental, la reducción de emisiones y el impulso de transformaciones químicas de bajo carbono, se prevé que su relevancia continúe en aumento en el futuro (Wu *et al.*, 2024a).

En este capítulo se revisa la industria petroquímica, así como los procesos y las reacciones que dan lugar a los productos petroquímicos básicos y a los productos intermedios y finales obtenidos a partir de estos, así como sus aplicaciones y utilidades.

Los productos petroquímicos

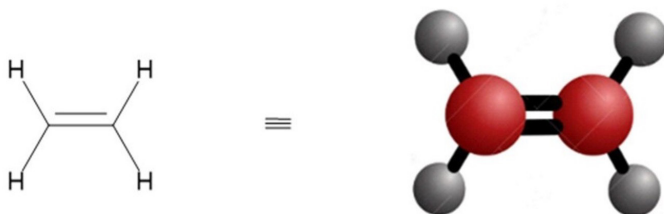
Las dos clases más importantes de petroquímicos son las olefinas, cuyos productos principales son el etileno y el propileno, y los hidrocarburos

aromáticos, básicamente, benceno, tolueno y xileno. Las olefinas se producen principalmente mediante el craqueo con vapor de líquidos de gas natural (como el etano y el propano) y el proceso FCC de fracciones de petróleo. Las características más distintivas de estos productos se detallan a continuación.

Etileno

El eteno o etileno (C_2H_4) es una olefina conformada por dos átomos de carbono unidos por un doble enlace y, a su vez, enlazados a dos átomos de hidrógeno cada uno. Esta insaturación (enlace π) le confiere a ésta molécula una gran reactividad que la convierte en un atractivo bloque de construcción para la fabricación de polímeros o como precursor de otros monómeros que pueden transformarse en plásticos con un sinnúmero de aplicaciones en la vida cotidiana (figura 4.1).

Figura 4.1. Estructura química del etileno



Fuente: elaboración propia.

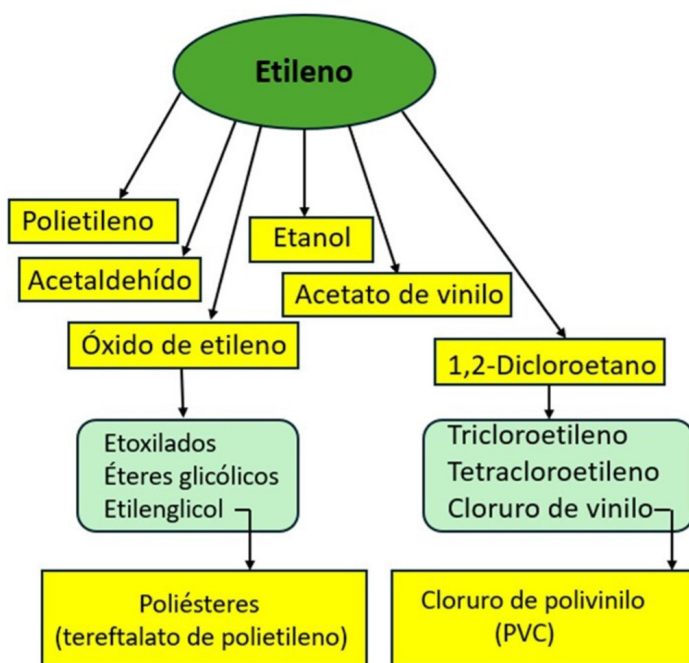
Estos productos son materias primas que a menudo se envían a plantas petroquímicas para su transformación en una amplia variedad de productos finales de aplicación masiva. Más del 50% del etileno producido se emplea en la fabricación de polietileno (plástico). También es precursor de otros monómeros y polímeros como el estireno, el cloruro de vinilo, el acetato de vinilo, etilbenceno y etilenglicol (usado en anticongelantes y en la fabricación de poliéster).

El etileno también es una fitohormona natural que desempeña un papel crucial en diversos procesos fisiológicos de las plantas, incluyendo la maduración de frutos, la senescencia (envejecimiento), la abscisión (caída de

hojas y flores), la germinación de semillas y las respuestas al estrés biótico y abiótico. Su producción en las plantas aumenta en ciertas etapas del desarrollo, especialmente durante la maduración de frutos climatéricos (por ejemplo, plátanos, manzanas), donde induce cambios en el color, sabor, aroma y textura (Liu *et al.*, 2020).

En la figura 4.2 se muestran los principales productos químicos que pueden obtenerse a partir del etileno.

Figura 4.2. Principales productos que pueden obtenerse a partir del etileno



Fuente: elaboración propia.

El etileno no es un contaminante persistente en la atmósfera en grandes concentraciones directas; sin embargo, su derivado, el óxido de etileno, es un contaminante peligroso del aire y un conocido carcinógeno y mutágeno. Por esta razón, su uso y sus niveles en alimentos están estrictamente regulados

o prohibidos en algunas regiones, como la Unión Europea (Kirman *et al.*, 2021; Vincent *et al.*, 2019).

El polietiléntereftalato (PET) es un plástico de amplio uso comercial en la fabricación de envases de alimentos y bebidas, bandejas y películas debido a su transparencia, su resistencia química y su barrera a los gases. También se emplea en la fabricación de fibras textiles, como el poliéster, para la fabricación de telas y alfombras. Tiene aplicaciones médicas en implantes, prótesis y dispositivos biomédicos (Barber, 2017). Estos productos pueden someterse a reciclaje químico y mecánico para producir nuevos monómeros o fibras recicladas (Guo *et al.*, 2025).

Por su parte, el PVC es un plástico resistente, muy útil en la fabricación de tuberías, ventanas, revestimientos y cables eléctricos. Tiene aplicaciones médicas en la elaboración de bolsas para sangre, tubos intravenosos, catéteres y películas flexibles y blísteres farmacéuticos, y también aplicaciones textiles como en el cuero sintético, suelas, impermeables, por mencionar algunas (Mathews, 2024; Titow, 1991).

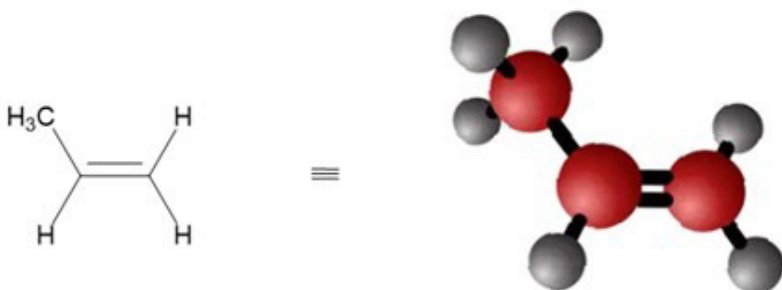
Propileno

Al igual que el etileno, el propileno es un alqueno, pero presenta tres átomos y su nombre químico convencional es propeno. El propileno es un gas incoloro muy inflamable, con olor picante, pero de baja toxicidad. Se obtiene principalmente como un subproducto del craqueo térmico de hidrocarburos, como la nafta y el gas licuado del petróleo, durante la refinación del petróleo. También se puede obtener mediante craqueo al vapor (“steam cracking”) y por conversión de olefinas (figura 4.3, ubicada en la siguiente página) (Speight, 2019).

El propileno es uno de los productos químicos más relevantes en la industria química, siendo la segunda materia prima más empleada en la petroquímica después del etileno (Hossain *et al.*, 2024). Los principales usos del propileno son la producción de polipropileno, que es un polímero (plástico) moldeable de gran versatilidad, ampliamente utilizado para la fabricación de películas, envases, textiles, componentes automotrices, dispositivos médicos y materiales de laboratorio (Elbakyan y Zaporotskova, 2025). Este

polímero se caracteriza por tener una alta resistencia a impactos, al calor, a la humedad y a los productos químicos. Una gran ventaja del polipropileno es su inocuidad, lo que lo hace adecuado para contacto alimentario y para aplicaciones médicas, y además es reciclable (Useon, 2024).

Figura 4.3. Estructura química del propileno



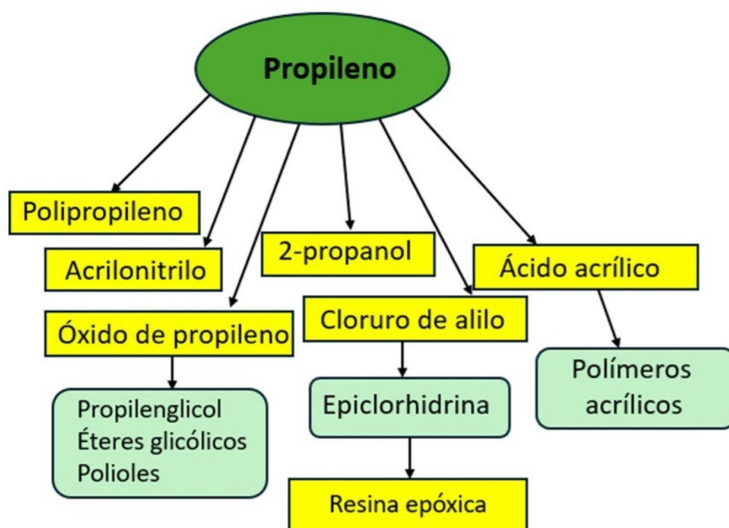
Fuente: elaboración propia.

El propileno es precursor del óxido de propileno, un compuesto químico muy empleado en la fabricación de espumas y de resina epóxica, por lo que es de amplio uso comercial. También el propileno se emplea para preparar acrilotcas (*Polypropylene Types: Chemistry, Properties, and Applications*, s. f.)

De la misma manera, el propileno es empleado en la obtención de otros químicos muy valiosos como el isopropanol o alcohol isopropílico, que es un disolvente de alta demanda, el ácido acrílico, que es precursor de los polímeros acrílicos y de cumeno, que es un intermediario en la obtención de otros químicos muy útiles como el fenol y la acetona (Humans, 2013). Otro producto que puede obtenerse a partir del propileno es el propilenglicol. Este producto químico tiene numerosas aplicaciones, como anticongelante no tóxico en sistemas de automoción y de construcción (preferible al etilenglicol), agente cosmético, humectante, disolvente, surfactante y conservante. Investigaciones recientes exploran su uso para la conservación de muestras de ADN y como anticongelante en intercambiadores de calor geotérmicos (Weigand *et al.*, 2021). Debido a su elevada inflamabilidad, el propileno también se utiliza

ampliamente en técnicas de soldadura y calentamiento de metales (figura 4.4).

Figura 4.4. Principales productos que pueden obtenerse a partir del propileno



Fuente: elaboración propia.

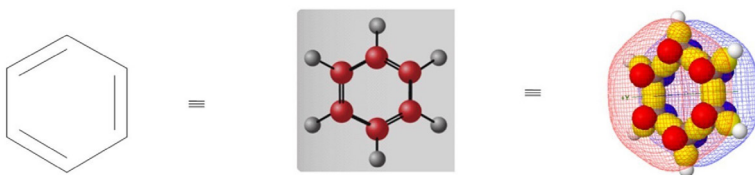
Las investigaciones más recientes sobre el propileno se centran en mejorar las propiedades del polipropileno mediante diversas técnicas, como la copolimerización, la modificación con aditivos y la formación de nanocompuestos. La incorporación de nanomateriales como el grafeno, los nanotubos de carbono, la nanoarcilla y las nanopartículas de plata ha demostrado ser prometedora para mejorar la estabilidad térmica, la resistencia al impacto, las propiedades de barrera y la conductividad eléctrica, lo que ha dado lugar a aplicaciones en electrónica, dispositivos de almacenamiento de energía y textiles inteligentes.

También se ha avanzado en alternativas para el desarrollo de métodos de producción de propileno más sostenibles, como la deshidrogenación del propano, para reducir la dependencia de los métodos convencionales basados en el petróleo (Martino *et al.*, 2021; Zuo y Su, 2023).

Benceno

El benceno (C_6H_6) es un compuesto químico orgánico fundamental con una estructura aromática debido a que está constituido por un anillo hexagonal de 6 átomos de carbono con electrones π que no están localizados en enlaces dobles específicos, sino que están deslocalizados y se distribuyen por todo el anillo. Esto genera una nube electrónica que se extiende por encima y por debajo del plano del anillo, lo que le confiere una elevada estabilidad química y una reactividad característica (figura 4.5).

Figura 4.5. Estructura química del benceno



Fuente: elaboración propia.

A pesar de que el benceno es un compuesto insaturado, como el etileno y el propileno, su estabilidad aromática lo hace más favorable para las reacciones de sustitución electrofílica que para las de adición. Entre las reacciones comunes se incluyen la nitración, la sulfonación, la halogenación, la alquilación y la acilación de Friedel-Crafts (Kille, 2021).

El benceno se utiliza como materia prima en numerosas industrias químicas debido a su reactividad y sus propiedades químicas únicas. En la tabla 4.1 se presentan algunas de las aplicaciones industriales más importantes del benceno (Franck y Stadelhofer, 1988).

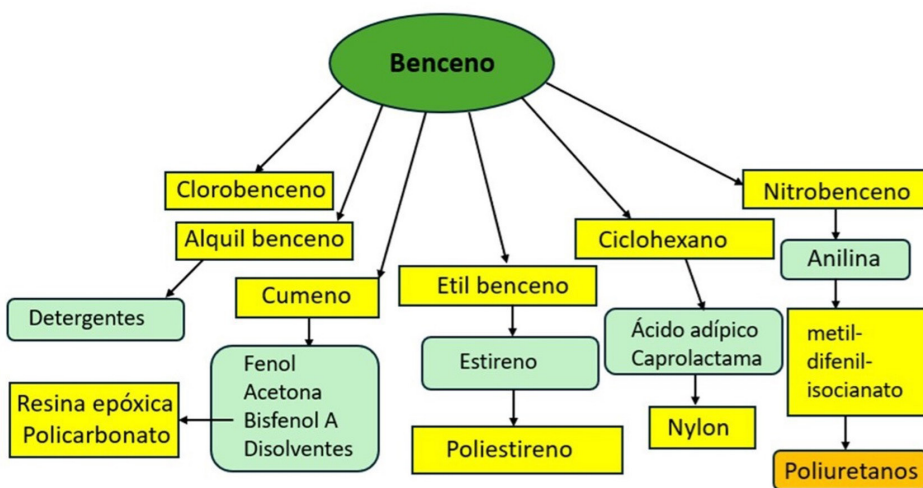
Tabla 4.1. Principales aplicaciones industriales del benceno

Usos de benceno	Descripción
Fabricación de plásticos	Precursor de polímeros como el poliestireno, el polipropileno y otros.
Industria del caucho	Producción de estireno y otros derivados del caucho sintético.

Resinas y adhesivos	Fabricación de resinas fenol-formaldehído, epóxica y otras.
Detergentes	Producción de alquilbenceno y benceno sulfonados para detergentes biodegradables.
Fármacos	Síntesis de fármacos, intermedio en medicamentos antibióticos, analgésicos y anticancerígenos.
Disolvente	Formulación de pinturas, tintas, adhesivos y recubrimientos. Limpieza de grasa y metales.
Aditivo de combustibles	Empleado para incrementar el octanaje en gasolinas, aunque regulado por toxicidad.
Industria textil	Base para la producción de fibras sintéticas, colorantes, tintes y pigmentos industriales.

Fuente: elaboración propia.

Figura 4.6. Principales productos que pueden obtenerse a partir del benceno



Fuente: elaboración propia.

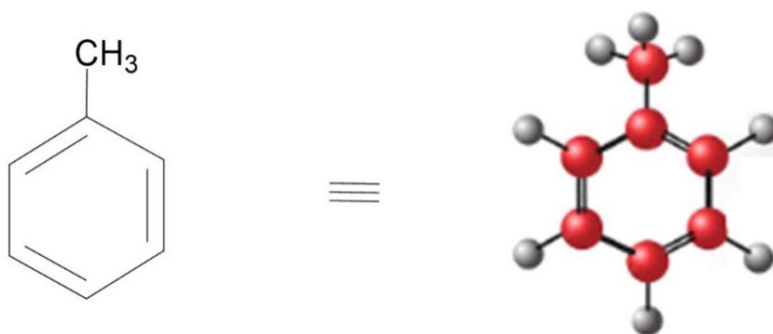
Los derivados de la reducción del benceno, tales como el ciclohexano, el ciclohexeno y el 1,4-ciclohexadieno también tienen una amplia variedad de aplicaciones y alcances en la química orgánica sintética e industrial (Aminzai et al., 2024) (figura 4.6).

El benceno también plantea notables preocupaciones para la salud y el medio ambiente, ya que es una sustancia carcinógena, con riesgos para la salud humana debido a su toxicidad, que afecta la médula ósea y el sistema inmunitario, por lo que su manejo es estrictamente regulado (Rana y Verma, 2005; Yardley-Jones *et al.*, 1991).

Tolueno

El tolueno ($C_6H_5CH_3$) es un hidrocarburo aromático derivado del benceno en el que se sustituye un hidrógeno por un grupo metilo, también es conocido como metilbenceno o toluol. El tolueno está presente en la naturaleza en árboles del género *Myroxylon*. El tolueno se obtiene tanto de la destilación del petróleo como de la manufactura de coque y de la producción de etileno y propileno. Como la mayoría de los compuestos aromáticos, tiene un olor muy característico (dulce) y es prácticamente insoluble en agua (figura 4.7).

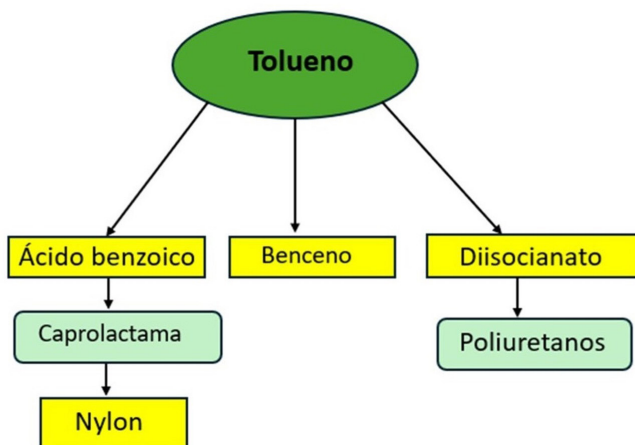
Figura 4.7. Estructura química del tolueno



Fuente: elaboración propia.

Aunque su toxicidad es menor que la del benceno, una exposición prolongada o a altas concentraciones puede afectar el sistema nervioso central, causando síntomas como mareos, debilidad, pérdida de memoria y náuseas. Los vapores tienen un efecto narcótico y pueden irritar los ojos y las vías respiratorias.

Figura 4.8. Principales productos que pueden obtenerse a partir del benceno



Fuente: elaboración propia.

Aplicaciones industriales del tolueno

El tolueno es ampliamente utilizado como disolvente para pinturas, barnices, lacas, adhesivos, resinas y tintas, así como en procesos de impresión y curtido de cuero. Su capacidad para disolver diversas resinas y aceites lo hace ideal para facilitar una aplicación uniforme y acelerar el secado de estos productos. También se utiliza como solvente para extraer y purificar compuestos activos en medicamentos, perfumes y cosméticos.

Una de las principales aplicaciones del tolueno es la fabricación de plásticos, como poliestireno, poliuretano y en la producción de caucho sintético (por ejemplo, estireno-butadieno). Sirve como materia prima para la elaboración de compuestos derivados del benceno como el ácido benzoico, el fenol, el benzaldehído y para la síntesis del explosivo TNT (2,4,6-trinitrotolueno), utilizado en aplicaciones militares e industriales.

El tolueno se emplea como aditivo antidetonante (anti-knock) en carburantes para automóviles y aviación, mejorando el rendimiento y la eficiencia del motor, especialmente en condiciones extremas.

Como se pudo observar en la página anterior, la figura 4.8 muestra algunos de los principales productos derivados del tolueno.

Xilenos

Los xilenos ($C_6H_4(CH_3)_2$) son dimetilbencenos, es decir, su estructura consta de un anillo bencénico con dos grupos de metilo. Estos grupos pueden estar ubicados en tres posibles posiciones relativas unas a otras, lo que da lugar a tres isómeros *o*-xileno (orto), *m*-xileno (meta) y *p*-xileno (para). La mezcla de estos isómeros forma un líquido incoloro con un olor dulce, similar al de la gasolina, muy inflamable y con un reconocido poder disolvente. Tienen una escasa solubilidad en agua, pero son excelentes en disolventes orgánicos como el etanol y la acetona (*Xylenes*, s. f.).

Debido a su similitud estructural, los puntos de ebullición de *o*-xileno (144.4 °C), *m*-xileno (139.1 °C) y *p*-xileno (138.4 °C) son muy similares, lo que dificulta su separación, haciéndolo todo un reto industrial; sin embargo, es posible obtener los isómeros puros mediante una destilación fraccionada mediante una columna fraccionadora adecuada. El *o*-xileno se recoge en el fondo, mientras que el *m*-xileno, el *p*-xileno y etilbenceno, que comúnmente los acompaña, se recuperan en la cabeza de la destilación por tener puntos de ebullición más altos (Hashem, 2021).

Estos isómeros también pueden separarse mediante el proceso de isomerización catalítica, mediante el cual se convierten *m*-xileno y *o*-xileno en *p*-xileno para aumentar su proporción. Para ello, se utilizan catalizadores como zeolitas ZSM-5 y platino soportado en $Al_2O_3-SiO_2$.

La separación de los isómeros es conveniente debido a que el *p*-xileno se emplea como materia prima para producir ácido tereftálico y PET, mientras que el *o*-xileno es precursor del anhídrido ftálico. El *m*-xileno es menos demandado, pero es útil en la producción de resinas especiales (Lapa y Martins, 2023).

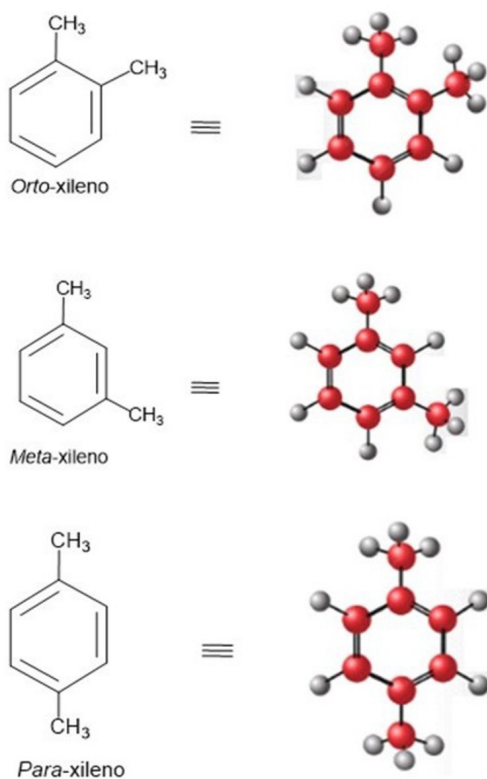
Los xilenos se encuentran presentes de manera natural en el petróleo crudo, la gasolina y el alquitrán de hulla. La formación de estos se favorece con el proceso de reformado catalítico, el que convierte fracciones de petróleo, como la nafta, en hidrocarburos aromáticos, incluyendo xilenos.

También los xilenos pueden obtenerse mediante la pirólisis de hidrocarburos, un proceso de craqueo de alcanos o aceites pesados a altas temperaturas.

En relación con la toxicidad de los xilenos, podemos comentar que la exposición a corto plazo a este disolvente puede causar mareos, náuseas e irritación de ojos y garganta, mientras que, a largo plazo, puede afectar el sistema nervioso

central, los riñones y el sistema respiratorio. El manejo de estos productos debe gestionarse adecuadamente para evitar los problemas en la salud humana y animal, además del impacto ambiental, debido a que pueden contaminar el agua y el suelo.

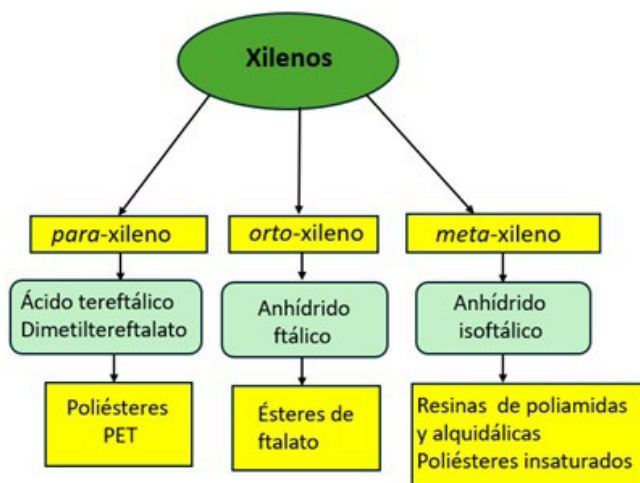
Figura 4.9. Estructura química de los isómeros del xileno



Fuente: elaboración propia.

La figura 4.10 muestra los principales productos que pueden obtenerse a partir de los xilenos.

Figura 4.10. Principales productos que pueden obtenerse a partir de los xilenos



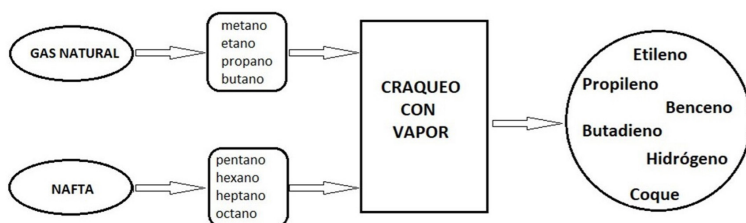
Fuente: elaboración propia.

Los productos químicos obtenidos a partir de los xilenos se emplean en la fabricación de plásticos, colorantes, pigmentos, pinturas y recubrimientos. Los ésteres de ftalato, como el tereftalato de dioctilo, son empleados en la fabricación de cables y materiales con alta resistencia térmica y se añaden al PVC para mejorar su maleabilidad (Nikoofar y Sadathosainy, 2023).

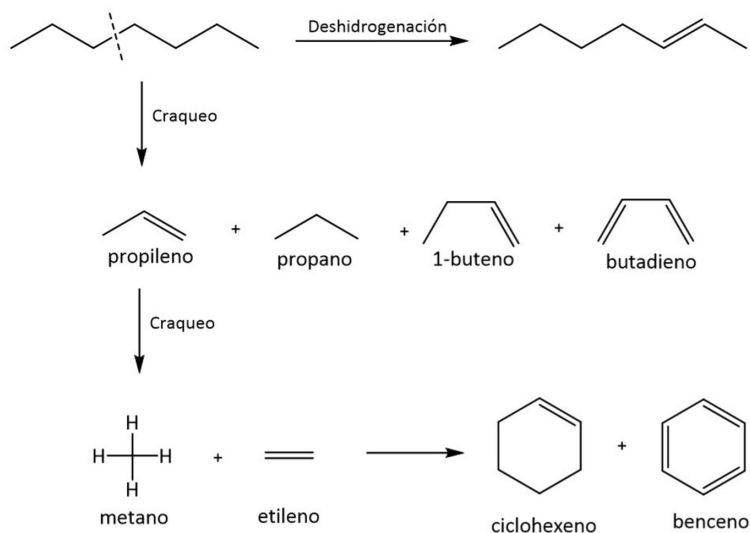
Procesos industriales para la obtención de los productos petroquímicos

Craqueo con vapor

El craqueo a vapor es un proceso petroquímico en el que los hidrocarburos saturados se descomponen en hidrocarburos más pequeños, a menudo insaturados. Éste es el principal método industrial para producir alquenos ligeros, también conocidos como olefinas, como el eteno (etileno) y el propeno (propileno). Las unidades de craqueo a vapor son instalaciones en las que materias primas, como el gas licuado de petróleo, la nafta y otros gases, como el etano, el propano o el butano, se craquean térmicamente con vapor en hornos especializados para generar hidrocarburos más ligeros (figura 4.11).

Figura 4.11. *Productos obtenidos mediante el craqueo con vapor*

Fuente: elaboración propia.

Figura 4.12. *Principales reacciones que se producen en el craqueo con vapor*

Fuente: elaboración propia.

En el proceso de craqueo con vapor, una carga de hidrocarburos gaseosos (gas natural o sus componentes) o líquidos (nafta) se mezcla con vapor de agua a temperaturas muy altas (mayor a 800 °C) y se calienta brevemente

en un horno sin oxígeno. Este proceso produce la ruptura de enlaces carbono-carbono en alcanos para formar olefinas y parafinas más pequeñas, es decir, el fraccionamiento de los hidrocarburos de mayor número de carbonos en hidrógeno y en otros hidrocarburos más pequeños e insaturados (figura 4.12).

El vapor de agua no reacciona químicamente. Sólo actúa como un diluyente para reducir la presión parcial de los hidrocarburos, evitar la formación de coque y controlar la temperatura en el reactor, mejorando la eficiencia del proceso. El vapor reduce la concentración de hidrocarburos, lo que favorece la formación de productos más ligeros y disminuye la formación de coque. También la formación de coque y las reacciones colaterales indeseadas se inhiben mediante un enfriamiento rápido de los productos del craqueo.

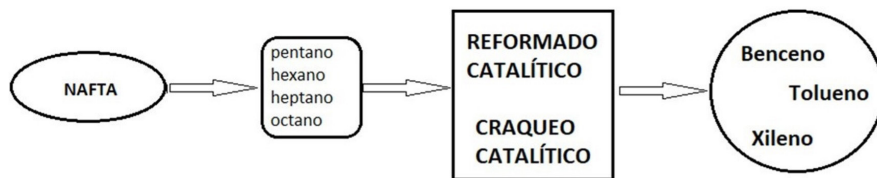
Reformado catalítico de la nafta

El craqueo catalítico de la nafta para producir benceno, tolueno y xileno (BTX) es un proceso petroquímico clave para obtener estos hidrocarburos aromáticos, que son materias primas fundamentales en la industria química.

Convencionalmente, el reformado catalítico es complementado con procesos como la desproporción del tolueno para ajustar la composición de aromáticos. La desproporción del tolueno permite optimizar la producción de xileno, especialmente del isómero *para*-xileno.

El catalizador por excelencia es el de platino sobre alúmina. La nafta se somete a reformado catalítico a alta temperatura (450-550 °C) y baja presión, en presencia del catalizador. El craqueo catalítico también puede intervenir en el craqueo de la nafta, pero el reformado es la vía principal para la aromatización y la formación de BTX (figura 4.13).

Figura 4.13. Craqueo catalítico de la nafta para producir BTX



Producción de petroquímicos a partir de fuentes renovables

Algunos productos petroquímicos son factibles de preparar por métodos amigables con el medio ambiente al producirse a partir de la biomasa. Por ejemplo, el etileno se puede obtener de la deshidratación de bioetanol o de la fermentación de azúcares provenientes de los materiales lignocelulósicos.

Deshidratación de bioetanol

Tradicionalmente, el etileno se obtiene mediante el craqueo térmico de hidrocarburos como la nafta o el gas licuado de petróleo; sin embargo, debido a la creciente preocupación por la sostenibilidad, se ha impulsado la investigación en métodos alternativos, como la deshidratación catalítica de etanol (bioetanol), la cual ofrece ventajas como menores temperaturas de reacción y el uso de fuentes renovables (Fan *et al.*, 2013; Zhang y Yu, 2013).

Para la deshidratación del etanol se han evaluado diferentes catalizadores, como los heteropoliácidos, los óxidos metálicos y las zeolitas (Ngcobo *et al.*, 2024).

Fermentación de azúcares

Algunos microorganismos pueden fermentar azúcares derivados de plantas para producir etileno. Este proceso biotecnológico es aún objeto de investigación, pero tiene el potencial de ser una opción sostenible. Los microorganismos pueden modular los niveles de etileno mediante la producción de enzimas como la ACC oxidasa o la ACC desaminasa, que afectan las vías de biosíntesis de etileno en las plantas (Shekhawat *et al.*, 2023).

Algunas olefinas de bajo peso molecular, como el etileno y el propileno, pueden obtenerse a partir de metanol. El proceso tiene dos etapas, en la primera etapa se transforma el metanol en éter dimetilico y agua a través de una reacción exotérmica en presencia de γ -alúmina ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) como catalizador, y en la segunda etapa el dimetiléter es calentado en un reactor en presencia de un catalizador de zeolita (ZCM-5) a baja presión para favorecer la obtención de olefinas de bajo peso molecular (C2-C8). Las olefinas pueden ser recicladas al reactor para favorecer la formación de propileno como producto principal (*Technology Economics*, s. f.) (figura 4.14).

Figura 4.14. Síntesis de olefinas a partir de metanol

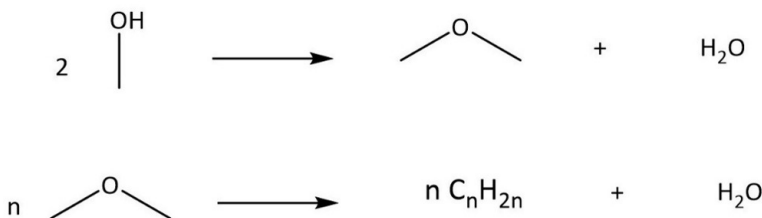


Figura: elaboración propia.

Consideraciones acerca de los efectos ambientales de la petroquímica

Las instalaciones industriales petroquímicas son las principales responsables de la emisión de compuestos orgánicos volátiles (COV) a nivel mundial. Una gran cantidad de emisiones de COV acentúa el efecto invernadero, provoca la destrucción de la capa de ozono, causa smog fotoquímico y provoca anomalías climáticas. Además, la manipulación inadecuada de los gases residuales petroquímicos puede provocar intoxicación o incluso la muerte, la contaminación del agua potable, la ingestión por herbívoros y otros procesos. Incluso dentro de los límites permisibles, la exposición prolongada del cuerpo humano a los COV tiene efectos adversos en el tracto respiratorio, el sistema cardiovascular, el sistema inmunitario y el sistema nervioso (Wu *et al.*, 2024b).

Existe una fuerte tendencia hacia la reducción de emisiones, la transformación hacia una economía baja en carbono y la adopción de tecnologías más limpias en respuesta a las presiones regulatorias y sociales, por lo que la investigación científica está enfocada en mitigar los efectos ambientales de esta industria.

Las refinerías modernas están cada vez más integradas con la producción petroquímica, lo que permite la conversión directa de petróleo crudo en productos químicos junto con los combustibles tradicionales, convirtiendo hasta un 40-50% de su consumo de petróleo crudo en petroquímicos. La integración

proporciona sinergias operativas, como servicios compartidos y transferencia directa de materia prima entre las unidades de refinación y química.

La demanda de petroquímicos está aumentando, a pesar de que se prevé que la demanda de combustibles para el transporte disminuya debido a la transición hacia las energías renovables y la adopción de vehículos eléctricos. La industria también se centra en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y la mejora de la sostenibilidad, incluyendo el uso de dióxido de carbono capturado, biomasa y reciclaje como materias primas alternativas (Geng *et al.*, 2020).

Perspectivas futuras de la industria petroquímica

La industria petroquímica ocupa un lugar central en el desarrollo económico. Los productos petroquímicos son fundamentales en la cadena de valor de la industria petrolera, sustentando una amplia gama de otros productos químicos de alto valor comercial, materiales y productos modernos de gran aplicación en la vida cotidiana (Speight, s. f.). A medida que el mundo abandona los combustibles fósiles como fuente de energía, se prevé que los petroquímicos sigan siendo un importante impulsor de la demanda de petróleo, con la innovación del sector centrada en la integración, la eficiencia y la sostenibilidad. Los complejos de crudo a productos químicos podrían dominar la industria petroquímica en las siguientes décadas (Giannikopoulos *et al.*, 2022).

Con la creciente conciencia ambiental, la reducción de emisiones y la transformación hacia una economía baja en carbono en la industria petroquímica se convertirán en la tendencia principal del futuro. El futuro de la industria petrolera está cada vez más ligado a los productos químicos más que a los combustibles, ya que se espera que los petroquímicos representen una parte cada vez mayor de la demanda de petróleo y la producción de las refinerías (Why the Future of Oil Is in Chemicals, Not Fuels, s. f.). Para atender esta tendencia y mitigar los impactos ambientales más significativos de esta industria, se están integrando sistemas automatizados de monitoreo y control para optimizar el rendimiento de las unidades de procesamiento y reducir los costos operativos (Jafarinejad y Jiang, 2019).

Referencias

- Aminzai, M. T., Azizi, N., Nural, Y., y Yabalak, E. (2024). Recent progress in the reduction of benzene derivatives and their industrial applications. *Monatshefte Für Chemie - Chemical Monthly*, 155(2), 115-129. <https://doi.org/10.1007/s00706-023-03154-4>
- Barber, N. A. (2017). *Polyethylene Terephthalate: Uses, Properties, and Degradation*. Nova Science Publishers, Incorporated.
- Daramola, M. O. (Ed.). (2013). Xylenes: Synthesis, characterization and physicochemical properties. Nova Science Publishers. <https://novapublishers.com/shop/xylenes-synthesis-characterization-and-physicochemical-properties/>
- Elbakyan, L., y Zaporotskova, I. (2025). Polypropylene Modified with Carbon Nanomaterials: Structure, Properties and Application (A Review). *Polymers*, 17(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/polym17040517>
- Fan, D., Dai, D.-J., y Wu, H.-S. (2013). Ethylene Formation by Catalytic Dehydration of Ethanol with Industrial Considerations. *Materials*, 6(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/ma6010101>
- Franck, H.-G., y Stadelhofer, J. W. (1988). Production and uses of benzene derivatives. En H.-G. Franck & J. W. Stadelhofer (Eds.), *Industrial Aromatic Chemistry: Raw Materials · Processes · Products* (pp. 132-235). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-73432-8_5
- Geng, Z., Zhang, Y., Li, C., Han, Y., Cui, Y., y Yu, B. (2020). Energy optimization and prediction modeling of petrochemical industries: An improved convolutional neural network based on cross-feature. *Energy*, 194, 116851. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116851>
- Giannikopoulos, I., Skouteris, A., Edgar, T. F., Baldea, M., Allen, D. T., y Stadtherr, M. A. (2022). Probing the Impact of an Energy and Transportation Paradigm Shift on the Petrochemicals Industry. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 61(33), 12169-12179. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.2c00309>
- Guo, Z., Wu, J., y Wang, J. (2025). Chemical degradation and recycling of polyethylene terephthalate (PET): A review. *RSC Sustainability*, 3(5), 2111-2133. <https://doi.org/10.1039/D4SU00658E>
- Hashem, A. (2021). Xylene isomer separations by intrinsically porous molecular materials. *Cell Reports Physical Science*. <https://doi.org/10.1016/J.XCRP.2021.100470>
- Hatch, L. F., y Matar, S. (2022). *Chemistry of Petrochemical Processes* (Second Edition). Elsevier. <https://bookhup.com/p/3275>
- Hossain, Md. T., Shahid, Md. A., Mahmud, N., Habib, A., Rana, Md. M., Khan, S. A., y Hossain, Md. D. (2024). Research and application of polypropylene: A review. *Discover Nano*, 19(1), 2. <https://doi.org/10.1186/s11671-023-03952-z>
- Humans, I. W. G. on the E. of C. R. to. (2013). CUMENE. En *Some Chemicals Present in Industrial and Consumer Products, Food and Drinking-Water*. International Agency for Research on Cancer. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK373179/>
- Jafarinejad, S., y Jiang, S. C. (2019). Current technologies and future directions for treating

- petroleum refineries and petrochemical plants (PRPP) wastewaters. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(5), 103326. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103326>
- Kille, S. (2021). Reactions of Benzene. *Organic Chemistry: Current Research*, 10(7), 1-1. <https://doi.org/10.35248/2161-0401.21.10.234>
- Kirman, C., Li, A., Sheehan, P., Bus, J., Lewis, R., y Hays, S. (2021). Ethylene oxide review: Characterization of total exposure via endogenous and exogenous pathways and their implications to risk assessment and risk management. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, 24(1), 1-29. <https://doi.org/10.1080/10937404.2020.1852988>
- Lapa, H. M., y Martins, L. M. D. R. S. (2023). p-Xylene Oxidation to Terephthalic Acid: New Trends. *Molecules*, 28(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/molecules28041922>
- LinkedIn. (s. f.). *Panorama energético global en 2025*. Recuperado 3 de julio de 2025, de <https://www.linkedin.com/pulse/panorama-energ%C3%A9tico-global-en-2025-enlight-mexico-sq3xc/>
- Liu, Y., Tang, M., Liu, M., Su, D., Chen, J., Gao, Y., Bouzayen, M., y Li, Z. (2020). The Molecular Regulation of Ethylene in Fruit Ripening. *Small Methods*, 4(8), 1900485. <https://doi.org/10.1002/smt.201900485>
- Mafakheri, A., Sulaimany, S., y Mohammadi, S. (2023). Predicting the establishment and removal of global trade relations for import and export of petrochemical products. *Energy*, 269, 126850. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.126850>
- Martino, M., Meloni, E., festa, G., y Palma, V. (2021). Propylene Synthesis: Recent Advances in the Use of Pt-Based Catalysts for Propane Dehydrogenation Reaction. *Catalysts*, 11(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/catal11091070>
- Mathews, G. (2024). *PVC: Production, Properties and Uses*. CRC Press.
- Ngcobo, M., Makgwane, P. R., y Mathe, M. K. (2024). A minireview on solid acid catalysts for dehydration of bioethanol to renewable ethylene: An update on catalysts development progress. *Applied Catalysis O: Open*, 193, 206976. <https://doi.org/10.1016/j.apcato.2024.206976>
- Nikoofar, K., y Sadathosainy, M. (2023). Phthalic anhydride (PA): A valuable substrate in organic transformations. *RSC Advances*, 13(34), 23870-23946. <https://doi.org/10.1039/D3RA03378C>
- Polypropylene Types: Chemistry, Properties, and Applications*. (s. f.). Recuperado 18 de julio de 2025, de <https://www.specialchem.com/plastics/guide/polypropylene-types>
- Rana, S. V. S., y Verma, Y. (2005). Biochemical toxicity of benzene. *Journal of Environmental Biology*, 26(2), 157-168.
- Shekhawat, K., Fröhlich, K., García-Ramírez, G. X., Trapp, M. A., y Hirt, H. (2023). Ethylene: A Master Regulator of Plant-Microbe Interactions under Abiotic Stresses. *Cells*, 12(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/cells12010031>
- Speight, J. G. (s. f.). *The Chemistry and Technology of Petroleum (Chemical Industries) (Fourth Edition)*. CRC Press. Recuperado <https://www.abebooks.com/9780849390678/Chemistry-Technology-Petroleum-Fourth-Edition-0849390672/plp>
- Speight, J. G. (2019). *Handbook of Petrochemical Processes*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429155611>

- Technology Economics: Propylene from Methanol*. (s. f.). SlideShare. Recuperado 4 de julio de 2025, de <https://www.slideshare.net/slideshow/propylene-production-from-methanol/13153214>
- Titow, W. V. (1991). *PVC Plastics*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-011-3834-5>
- Useon. (2024, julio 31). Polypropylene (PP) Plastic: Types, Uses and Processing. *USEON*. <https://www.useon.com/polypropylene/>
- Vincent, M. J., Kozal, J. S., Thompson, W. J., Maier, A., Dotson, G. S., Best, E. A., y Mundt, K. A. (2019). Ethylene Oxide: Cancer Evidence Integration and Dose–Response Implications. *Dose-Response*, 17(4), 1559325819888317. <https://doi.org/10.1177/1559325819888317>
- Weigand, A. M., Desquiotz, N., Weigand, H., y Szucsich, N. (2021). Application of propylene glycol in DNA-based studies of invertebrates. *Metabarcoding and Metagenomics*, 5, e57278. <https://doi.org/10.3897/mbmg.5.57278>
- Why the future of oil is in chemicals, not fuels*. (2019). Chemical & Engineering News. Recuperado 21 de julio de 2025, de <https://cen.acs.org/business/petrochemicals/future-oil-chemicals-fuels/97/i8>
- Wu, M., Liu, W., Ma, Z., Qin, T., Chen, Z., Zhang, Y., Cao, N., Xie, X., Chi, S., Xu, J., y Qi, Y. (2024a). Global Trends in the Research and Development of Petrochemical Waste Gas from 1981 to 2022. *Sustainability*, 16(14), Article 14. <https://doi.org/10.3390/su16145972>
- Wu, M., Liu, W., Ma, Z., Qin, T., Chen, Z., Zhang, Y., Cao, N., Xie, X., Chi, S., Xu, J., y Qi, Y. (2024b). Global Trends in the Research and Development of Petrochemical Waste Gas from 1981 to 2022. *Sustainability*, 16(14), Article 14. <https://doi.org/10.3390/su16145972>
- Yardley-Jones, A., Anderson, D., y Parke, D. V. (1991). The toxicity of benzene and its metabolism and molecular pathology in human risk assessment. *British Journal of Industrial Medicine*, 48(7), 437-444. <https://doi.org/10.1136/oem.48.7.437>
- Zhang, M., y Yu, Y. (2013). Dehydration of Ethanol to Ethylene. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 52(28), 9505-9514. <https://doi.org/10.1021/ie401157c>
- Zuo, C., y Su, Q. (2023). Research Progress on Propylene Preparation by Propane Dehydrogenation. *Molecules*, 28(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/molecules28083594>