INSTITUTO MEXICANO DE INGENIEROS QUÍMICOS, A. C.

REVISTA DEL

INSTITUTO MEXICANO DE INGENIEROS QUÍMICOS, A. C.

Publicación Oficial: ISSN 0188 — 7319

2026 No. 2

LXV | CONVENCION NACIONAL 2026

REACTIVANDO LA INDUSTRIA QUÍMICA CON INNOVACIÓN, SUSTENTABILIDAD, LOGÍSTICA Y CAPITAL HUMANO



del 9 al 13 de noviembre 2026

PETROQUÍMICA EN MÉXICO
ANÁLISIS DEL ETILENO Y POLIETILENO

BIOETANOL:
PERSPECTIVAS PARA
LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y LA QUÍMICA RENOVABLE

Comité Ejecutivo Nacional

M. A. Víctor Hugo Martínez Moreno

Presidente Nacional

Ing. Elisa E. Guinea Corres

Ing. Dieter Femfert Mateos

Ing. Marco Antonio Osorio Bonilla

Vicepresidentes

Dr. Eder J. Lugo Medina

Secretario

Ing. Fernando J. Báez Ramos

Tesorero

Ing. Roberto Casillas Muñoz,

Prosecretario

Ing. Julio C. Rentería Sandoval

Ing. Antonio Ruiz González

Ing. Imelda Alejandrina Verde González

Ing. Patricia Zambrano Farfán

Dr. José Rámón Montiel Maldonado

Directores

La Revista del IMIQ, es el Foro de difusión de los avances, investigaciones, desarrollo y aplicaciones en las diversas ramas de la Ingeniería Química a través del cual, el Instituto mantiene estrecha comunicación con sus afiliados y proyecta su imagen institucional a la comunidad científica, académica e industrial, a las autoridades y a la sociedad, al dar a conocer y fomentar actividades, postura y opinión respecto a la situación de la Ingeniería Química en el país y en el mundo.

Los Artículos Técnicos publicados son responsabilidad de los autores.

Contenido

MENSAJE DEL PRESIDENTE **M.A. Víctor Hugo Martínez Moreno**	4
EDITORIAL **Dr. José Ramón Montiel López**	5
GANADORES **PREMIOS IMIQ 2026**	7
PETROQUÍMICA EN MÉXICO ANÁLISIS DEL ETILEON Y POLIETILENO	8
ARTICULO TÉCNICO **BIOETANOL: PERSPECTIVAS PARA LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y LA QUÍMICA RENOVABLE** Dr. Felipe de Jesús Ortega-García	27
LA INGENIERÍA EN LAS GRANDES OBRAS DE LA LITERATURA UNIVERSAL: **EL PRINCIPITO Y LA FORMACIÓN HUMANISTA DEL INGENIERO** M.I. Álvaro Sampedro y Garibay	54
PROGRAMA DE CONFERENCIAS DE LA LXV CONVENCIÓN NACIONAL DEL IMIQ	64

INSTITUTO MEXICANO DE INGENIEROS QUÍMICOS, A. C.

Propósito

Participar e influir en las decisiones nacionales relacionadas con la Ingeniería Química, para lograrlo debemos contribuir al desarrollo de la profesión y mantener un alto nivel entre nuestros agremiados.

Misión de Servicio

Consolidar al Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos como la plataforma de expresión y acción de sus socios.

MENSAJE DEL PRESIDENTE



La Ingeniería Química está cambiando, y nosotros debemos evolucionar con ella.

Nuestra profesión ha trascendido las fronteras tradicionales de las plantas químicas, las refinerías y los complejos petroquímicos. Hoy las y los ingenieros químicos participamos en la transición energética, la economía circular, la biotecnología, los materiales avanzados, la sostenibilidad, la transformación digital y la inteligencia artificial.

Esta nueva realidad amplía nuestra visión como Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos: representar a las ingenieras y los ingenieros químicos mexicanos y contribuir, desde nuestra profesión, a enfrentar los grandes retos tecnológicos, industriales y económicos de México.

Nuestra misión, sin embargo, conserva plenamente su esencia: ser una voz de la Ingeniería Química mexicana, participar en las grandes discusiones nacionales, generar propuestas, fortalecer la membresía y construir espacios en los que academia, industria, gobierno y profesionales encontremos soluciones para el país.

Por ello, nuestra Convención Nacional adquiere hoy una relevancia especial. Coatzacoalcos es el punto de encuentro de nuestra comunidad profesional, pero también un espacio para imaginar el futuro.

Porque hablar hoy de Ingeniería Química es hablar no solamente de procesos y productos. Es hablar de energía, agua, carbono, materiales, circularidad, innovación, digitalización y competitividad industrial.

Y, sobre todo, es hablar del papel que queremos desempeñar en el México del futuro. Nuestro compromiso debe comenzar desde la formación de las nuevas generaciones. Debemos acercar la Ingeniería Química a los jóvenes, impulsar las vocaciones STEM y fortalecer los vínculos entre estudiantes, universidades, centros de investigación e industria. Porque los grandes retos de México en energía, agua, sostenibilidad, economía circular, nuevos materiales, digitalización e inteligencia artificial necesitarán conocimiento científico, innovación y, fundamentalmente, más talento mexicano preparado para convertir esos desafíos en oportunidades. Esa es también una responsabilidad del IMIQ: representar a los ingenieros químicos de hoy y contribuir a formar e inspirar a las y los ingenieros y científicos que México necesitará mañana.

M. A. Víctor Hugo Martínez Moreno

EDITORIAL



La **reactivación de la industria química en México** es uno de los temas más estratégicos y urgentes para la economía nacional. Al ser el cimiento de prácticamente todas las cadenas productivas (automotriz, electrónica, farmacéutica, construcción, alimentos y agricultura), su desempeño impacta directamente en la competitividad del país y en el éxito potencial del fenómeno de la relocalización de cadenas conocido hoy como *nearshoring*.

Este tema nos ha llevado a la organización de la LXV Convención Nacional del IMIQ 2026 en la Ciudad de Coatzacoalcos, Ver, en donde la sección local ha realizado un enorme esfuerzo y colaboración para ello.

A pesar de su enorme potencial, la industria petroquímica y química en México enfrenta desafíos estructurales severos que han frenado su capacidad operativa, destacando entre otros:

- Déficit comercial histórico
- Abastecimiento de materias primas e hidrocarburos
- Problemas de cadena de pagos
- Infraestructura energética y certidumbre
- Retos ambientales e hídricos

Para lograr que la industria química recupere su dinamismo y deje de depender tan fuertemente de las importaciones, los expertos (IMIQ) y líderes del sector (Cámaras y organizaciones) proponen una ruta crítica basada en los siguientes puntos:

- Garantizar energéticos competitivos
- Fortalecer la alianza público-privada
- Aprovechar el *Nearshoring*:
- Inversión en tecnología y mantenimiento

Estos temas serán la parte central de nuestra CLXV Convención Nacional 2026, no te la puedes perder.

Dr. José Ramon Montiel López

CRYOINFRA®

EXPERIENCIA E INNOVACIÓN A TU SERVICIO

Soluciones integrales en gases para la industria química



Innovación, seguridad y respaldo para optimizar tus procesos.

En **Cryoinfra** somos el aliado de la industria química, ofreciendo soluciones en gases industriales y servicios especilizados que impulsan la productividad, la eficiencia y la sustentabilidad de tus operaciones.

- O2 — Oxígeno
- N2 — Nitrógeno
- Ar — Argón
- CO2 — Bióxido de carbono
- H2 — Hidrógeno

Cryoinfra presente en la XVL Convención del IMIQ

IMIQ®

Coatzacoalcos, Ver.

Del 9 al 13 de noviembre del 2026

Te invitamos a conocernos y descrubir nuestras soluciones para la industria.



“PREMIOS”

www.portal.cryoinfra.com.mx 800 724 25 89 CryoinfraMx

PREMIOS

2026

INSTITUTO MEXICANO DE INGENIEROS QUÍMICOS

PREMIO
ING. VÍCTOR MÁRQUEZ DOMÍNGUEZ
“Al Progreso Profesional de la Ingeniería Química”

ING. SAÚL COLÍN CRUZ

PREMIO
ING. VÍCTOR MÁRQUEZ DOMÍNGUEZ
“Al Progreso Profesional de la Ingeniería Química”

DR. JOSÉ RUBEN MORONES RAMÍREZ

PREMIO
ING. ESTANISLAO RAMÍREZ RUIZ
“A la Excelencia en la Enseñanza de la Ingeniería Química”

DRA. AIDA GUTIÉRREZ ALEJANDRE

PREMIO
DR. ERNESTO DOMÍNGUEZ QUIROGA
“A la Excelencia en el Desempeño Estudiantil”

ANA CRISTINA MURRIETA SALAZAR

PREMIO IMIQ
ING. LUIS ERNESTO MIRAMONTES CÁRDENAS
“A la Innovación, la Investigación y Desarrollo Tecnológico en Ingeniería Química”

DR. JOSÉ ESCOBAR AGUILAR

PETROQUÍMICA MÉXICO

DE LA VULNERABILIDAD Y DEPENDENCIA

A CADENAS COMPETITIVAS, TECNOLÓGICAMENTE

ACTUALIZADAS Y FINANCIABLES

ETANO – ETILENO – DERIVADOS - POLIETILENOS – AMONÍACO – FERTILIZANTES |

METANOL – DERIVADOS - GESTIÓN DE TECNOLOGÍA

Integración Técnica CMIQ





INSTITUTO MEXICANO DE INGENIEROS QUÍMICOS, A. C.

Análisis de la Transcripción: Reunión sobre la Industria Petroquímica del Etileno
12 agosto 2026, Microsoft Teams

Este análisis desglosa el contenido de la transcripción de una reunión virtual organizada por el Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos (IMIQ), enfocada en la situación actual y el futuro de la cadena productiva del etileno en México.

---

1. Resumen General

La reunión es una mesa de trabajo técnica que aborda la crisis de la industria petroquímica mexicana, con un enfoque particular en la cadena del etano-etileno. Los expositores principales, Rómulo Sánchez Velázquez y Octaviano Tenorio Herrera (expertos con décadas de experiencia en Pemex), presentan un diagnóstico detallado que revela una situación crítica: las plantas operan a baja capacidad debido a una aguda escasez de materia prima (etano), lo que provoca pérdidas económicas millonarias y una alta dependencia de importaciones.

La discusión trasciende el diagnóstico y se centra en propuestas de solución que van desde acciones inmediatas (importación de etano) hasta proyectos a largo plazo (exploración de gas no convencional). Un tema recurrente es la necesidad de inversión, ya que Pemex carece de fondos, abriendo la puerta a la inversión privada. La reunión concluye con un fuerte llamado a la acción, proponiendo la formación de un equipo de expertos para ofrecer apoyo técnico a Pemex en la estructuración de proyectos que atraigan capital privado.

INSTITUTO MEXICANO DE INGENIEROS QUÍMICOS, A. C.

2. Estructura de la Reunión

La reunión sigue una estructura lógica:

1. Saludos, presentación de los ponentes (Rómulo Sánchez Velázquez y Octaviano Tenorio Herrera) por parte del moderador (José Ramón) y aclaraciones técnicas (micrófonos, presentación).
2. Ponencia Principal: Diagnóstico de la Cadena del Etileno:
    - Contexto e Importancia (Rómulo Sánchez Velázquez): Explica la relevancia de la petroquímica, su origen en México, las cadenas productivas (metano, etano, propileno, aromáticos) y la problemática central: la declinación de la producción de gas natural y etano.
    - Infraestructura y Capacidad (Rómulo Sánchez Velázquez): Detalla la capacidad de las plantas (Cangrejera, Morelos, Pajaritos) y el "anillo de etileno" que las interconecta.
    - El Problema del Etano (Rómulo Sánchez Velázquez): Presenta datos duros sobre la producción de etano (36,000 barriles diarios) vs. la demanda (96,000 barriles diarios), dejando un déficit de 65,000 barriles diarios.
    - Visión Integral del Proceso (Octaviano Tenorio Herrera): Explica cómo la petroquímica debe verse como una cadena de valor integrada, desde la planeación y los servicios auxiliares (agua, vapor, energía) hasta la producción y comercialización.
3. Propuestas de Solución y Siguientes Pasos:
    - Rómulo Sánchez Velázquez propone acciones a corto, mediano y largo plazo, como la importación de etano, el diagnóstico físico de plantas, la flexibilidad de materias primas (usar propano o gasolinas naturales) y la rehabilitación de plantas.
4. Preguntas, Comentarios y Debate:
    - Participación de diversos ingenieros y expertos (Alejandro Villalobos, Jorge Núñez, Carlos Pani Vázquez, etc.) que enriquecen el debate con preguntas,

datos adicionales, propuestas de colaboración y un análisis de la viabilidad financiera.

---

3. Puntos Clave y Temas Principales

A. Diagnóstico de la Crisis

1. Escasez de Materia Prima (Etano): Es el problema raíz. La producción nacional de etano ha declinado drásticamente, incapaz de alimentar las plantas existentes.
2. Infraestructura Obsoleta y Subutilizada: Las plantas de Cangrejera y Morelos operan a menos del 50% de su capacidad (por ejemplo, Cangrejera produce ~600 ton/día de 1800 posibles). Esto genera ineficiencias y pérdidas económicas.
3. Pérdida de Autosuficiencia: México pasó de ser un productor a un importador masivo de productos petroquímicos. Se menciona una cifra de 40,000 millones de dólares anuales en importaciones petroquímicas.
4. Falta de Inversión: Pemex se encuentra en una situación financiera crítica y no puede realizar las inversiones necesarias para rehabilitar y modernizar las plantas.

B. Propuestas de Solución

1. Corto Plazo (Importación):
    - Aprovechar la terminal de importación de etano construida por Braskem-Advario (capacidad de 80,000 bpd).
    - Explorar la capacidad de Pemex para importar etano por sí mismo usando infraestructura ya instalada en Pajaritos.
2. Mediano Plazo (Flexibilidad y Diagnóstico):
    - Realizar un diagnóstico físico-operativo integral de todas las plantas para identificar cuellos de botella y necesidades reales.

INSTITUTO MEXICANO DE INGENIEROS QUÍMICOS, A. C.

- Flexibilizar la alimentación de los hornos: Mezclar etano con propano o gasolinas naturales para no depender de una sola materia prima. Se menciona que ya existen estudios técnicos (por Lumus) al respecto.
- Reactivar proyectos de mejora, como la flexibilidad del anillo de etileno.

3. Largo Plazo (Nuevas Fuentes y Tecnología):
   - Evaluar la explotación de gas no convencional (fracking) en cuencas como Burgos y Pikachu.
   - Considerar la construcción de una nueva planta de cloruro de vinilo.
   - Incorporar tecnologías más modernas y eficientes (ej. en la producción de amoníaco).
4. Uso de Etanol como Aditivo: Se destaca la oportunidad de utilizar etanol (producido a partir de caña de azúcar) como aditivo oxigenante para gasolinas, en sustitución del MTBE, que es cancerígeno y ya está prohibido en Estados Unidos. Esta sería una aplicación inmediata y de gran valor antes de destinarlo a la producción de etileno.

C. El Rol de la Inversión Privada y la Propuesta de Colaboración

- Es un consenso general que Pemex no puede financiar los proyectos por sí solo. La solución pasa por buscar socios e inversionistas privados.
- Se discuten ejemplos concretos:
  - Braskem: Ya tiene infraestructura de importación. Se propone una alianza para que Pemex use su terminal.
  - Polioles / ICA: Se mencionan como empresas que han mostrado interés en proyectos de rehabilitación (aunque Polioles se retractó).
- El principal desafío es hacer que el proyecto sea atractivo para el inversionista, garantizando una rentabilidad razonable.



INSTITUTO MEXICANO DE INGENIEROS QUÍMICOS, A. C.

D. Propuesta Clave del Ing. Alejandro Villalobos

- Recomendación a Pemex: El Ing. Villalobos hizo un llamado fundamental para que Pemex integre un grupo de trabajo técnico que los asista en la elaboración de los alcances de los proyectos.
- El objetivo de este grupo sería buscar y estructurar la asistencia de empresas de la iniciativa privada que estén dispuestas a financiar proyectos bajo un esquema de asociación mixta con Pemex, ya que la paraestatal no cuenta con los recursos para hacerlo por sí misma.
- Esta propuesta se alinea con el espíritu de colaboración que surge al final de la reunión.

E. Propuesta de Colaboración del IMIQ

- El debate lleva a una conclusión clave: la creación de un equipo de expertos (Topos de la Petroquímica) del IMIQ.
- Este equipo, liderado por los ponentes y otros experimentados (como Jorge Núñez, Carlos Pani Vázquez y Celestino Montiel), ofrecería su conocimiento y tiempo de manera gratuita para apoyar a Pemex en:
    - La elaboración de diagnósticos técnicos detallados.
    - La evaluación de proyectos.
    - El uso de simuladores de proceso de última generación.
- La meta es presentar a Pemex una propuesta bien fundamentada que justifique la inversión y atraiga el capital privado necesario.



INSTITUTO MEXICANO DE INGENIEROS QUÍMICOS, A. C.

4. Análisis de los Participantes y sus Intervenciones

Participante	Rol / Experiencia	Puntos Clave de su Intervención
Ing. Rómulo Sánchez Velázquez	Ex-subgerente de Pemex	Diagnóstico: Presenta la situación general, los datos de producción y el déficit de etano. Propuesta: Detalla las acciones a corto, mediano y largo plazo para la reactivación.
Ing. Octaviano Tenorio Herrera	Ex-gerente de Complejo (Cangrejera/Morelos)	Visión Integral: Explica la cadena de valor y cómo la operación de una planta (servicios, mantenimiento, confiabilidad) es un sistema interconectado. Aporta conocimiento práctico y operativo.
Ing. Alejandro Villalobos	Presidente del Comité de Petroquímica (IMIQ)	Análisis de Negocio: Compara costos de materias primas y productos finales para demostrar la alta rentabilidad del sector. Propuestas Técnicas: Sugiere el uso de gasolinas de Isachi y la necesidad de analizar la flexibilidad de los hornos. Propuesta Estratégica: Recomienda a Pemex integrar un equipo para estructurar proyectos mixtos con inversión privada.
Ing. Jorge Núñez	Experto en operación	Aporta contexto histórico y administrativo. Menciona la falta de recursos para mantenimiento, la jubilación de personal experto y el problema de que Pemex priorizó a Braskem en el suministro de etano por contrato.



INSTITUTO MEXICANO DE INGENIEROS QUÍMICOS, A. C.

Participante	Rol / Experiencia	Puntos Clave de su Intervención
Ing. Carlos Pani Vázquez	Experto en Comercialización	Pregunta sobre los esfuerzos de Pemex para atraer inversión privada y sobre la viabilidad de usar el ducto de Braskem para llevar etano importado a las plantas de Pemex, abriendo una posibilidad logística importante.
Ing. Lorena de Lucio Pereira	Gerencia de Ingeniería y Costos	Aporta información de primera mano sobre los proyectos en curso: compra de nuevos hornos, estudios de flexibilidad con Lumus y el proceso de licitación para la rehabilitación de plantas.
Ing. Miguel Ángel García Popo	Experto en Procesos	Plantea una ruta alternativa: usar etanol de caña de azúcar para producir etileno (ruta sucroquímica) y su uso prioritario como aditivo para gasolinas.
Ing. Celestino Montiel	Académico (Facultad de Química UNAM)	Ofrece su experiencia en simulación de procesos y el uso de herramientas como inteligencia artificial para realizar diagnósticos más precisos y robustos.



INSTITUTO MEXICANO DE INGENIEROS QUÍMICOS, A. C.

5. Fortalezas y Debilidades de la Discusión

Fortalezas:

- Alto nivel técnico: Los participantes son ingenieros con vasta experiencia, lo que dota a la discusión de un profundo rigor técnico y operativo.
- Diagnóstico claro y compartido: Existe un consenso sobre el problema central (falta de etano) y sus consecuencias.
- Propositiva y orientada a la acción: La reunión no se queda en el lamento; genera una lista de soluciones concretas y un plan de acción (formación del equipo de expertos).
- Visión integral: Se aborda el problema desde múltiples ángulos: operativo, comercial, financiero y estratégico.
- Identificación de una ruta de financiamiento: Se reconoce la necesidad de estructurar proyectos atractivos para la inversión privada como la única vía realista para la reactivación.

Debilidades / Desafíos Mencionados:

- Financiamiento: Es el elefante en la habitación. Todas las propuestas chocan con la falta de presupuesto de Pemex.
- Interés del Inversionista Privado: No es fácil atraer capital privado si no se garantiza una rentabilidad atractiva y si el marco regulatorio o la situación de Pemex generan incertidumbre.
- Burocracia y Política: Se menciona la inercia de la organización ("Tú te ordenas y te alías") y la falta de apoyo de la Secretaría de Energía como un obstáculo para la implementación de las ideas.
- Brecha Generacional: Se expresa preocupación por la jubilación de los técnicos más experimentados y la posible pérdida de su conocimiento crítico.



INSTITUTO MEXICANO DE INGENIEROS QUÍMICOS, A. C.

6. Conclusión General

Esta reunión es un diagnóstico en vivo de la crisis de la petroquímica mexicana, realizado por sus principales protagonistas. La ponencia de los Ingenieros Rómulo Sánchez Velázquez y Octaviano Tenorio Herrera establece con claridad el problema de la falta de etano y la infraestructura subutilizada. La posterior discusión enriquece el análisis, añadiendo las dimensiones financiera, logística y política.

El valor más significativo de esta transcripción es que trasciende el diagnóstico para generar un movimiento de colaboración. Los expertos, conscientes de que el conocimiento y la experiencia son el principal activo que tienen, deciden organizarse para ofrecer soluciones técnicas a Pemex. La propuesta del Ing. Alejandro Villalobos es particularmente clave, ya que enfoca el esfuerzo en estructurar proyectos viables que puedan atraer la inversión privada necesaria, actuando como un puente entre la capacidad técnica y la realidad financiera de la empresa. La iniciativa es un ejemplo de cómo la industria, a través de sus organismos colegiados, puede jugar un rol activo en la búsqueda de soluciones para problemas nacionales de gran envergadura, siempre y cuando exista la voluntad política y financiera para escucharlos y actuar.

INSTITUTO MEXICANO DE INGENIEROS QUÍMICOS, A. C.

Resumen de la Mesa de Análisis de la Industria Petroquímica – Polietilenos

Este análisis desglosa el contenido de la transcripción de la tercera reunión virtual organizada por el Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos (IMIQ), enfocada en la situación actual, la tecnología, el mercado y el futuro de los polietilenos en México.

1.Resumen general

La reunión es una mesa de trabajo técnico que aborda la situación de la cadena del polietileno, el plástico de mayor volumen en el mundo. Los expositores principales, el **Ing. Luis Miramontes Vidal** (experto en tecnología de polímeros) y el **Ing. Roberto Velazco Gutiérrez** (experto en mercado y comercialización), presentan un diagnóstico que abarca desde los fundamentos tecnológicos y la historia de la industria en México hasta las tendencias de mercado, el déficit comercial y las oportunidades en economía circular.

La discusión revela una **industria en crisis** por la falta de materia prima (etano), que ha llevado al cierre de plantas y a una dependencia casi total de las importaciones. Sin embargo, también se identifican **oportunidades claras**: la rehabilitación de plantas existentes (especialmente la planta "Swing" en Morelos), la reconversión a productos de especialidad (como EVA), el desarrollo de la economía circular (reciclaje) y la necesidad de atraer inversión privada para financiar los proyectos. La reunión concluye con la consolidación del grupo de trabajo del IMIQ y la propuesta de llevar estos análisis a la sociedad civil y a la Secretaría de Energía.

INSTITUTO MEXICANO DE INGENIEROS QUÍMICOS, A. C.

2. Estructura de la reunión

La reunión sigue la estructura ya establecida en las mesas anteriores:

1. **Inicio y formalidades** Saludos, presentación de los ponentes (Ing. Luis Miramontes Vidal e Ing. Roberto Velazco Gutiérrez) por parte del moderador (Dr. José Ramón Montiel).
2. **Ponencia del Ing. Luis Miramontes Vidal: Tecnología e historia de los polietilenos**:
    - **Contexto global**: Presenta el crecimiento del mercado de polietilenos y su importancia como el polímero número uno.
    - **Historia y tecnología**: Narra el descubrimiento y evolución de las tecnologías de producción (baja densidad, alta densidad, lineal, metalocenos) y los diferentes procesos (alta presión, fase gas, slorry).
    - **Situación en México**: Detalla la historia de las plantas de Pemex (Reynosa, Escolín, Cangrejera, Morelos) y muestra la "gráfica del terror" de la producción en declive, señalando a la falta de etano como el problema central.
    - **Sustentabilidad**: Explica las tres vías de reciclaje (mecánico, químico y energético) y su importancia.

3. **Ponencia del Ing. Roberto Velazco Gutiérrez: Mercado y oportunidades de los polietilenos**:
    - **Mercado y déficit**: Presenta datos de consumo, producción y el enorme déficit comercial (más del 60% del consumo es importado).
    - **Estructura de la oferta**: Analiza a los tres principales proveedores (Braskem-Idesa, Pemex e importadores) y menciona la situación de Braskem-Idesa (concurso mercantil y plan de reactivación con etano importado).

- **Tendencias y economía circular**: Destaca la importancia del diseño para el reciclaje (monomaterial), el uso de resina postconsumo (PCR) y la necesidad de cambiar la percepción social sobre los plásticos.

4. **Preguntas, comentarios y debate**:
   - Intervención de varios ingenieros (Luis Puig, Arturo Martínez, Abigail González, Luis Samson, Agustín Ramírez, Alejandro Villalobos) que enriquecen el debate con propuestas concretas (reconversión a EVA, importación de etano, reciclaje en el campo, bioplásticos, microplásticos) y reflexiones sobre el papel del IMIQ.

3. Puntos clave y temas principales

A. Sobre la tecnología y la historia

1. **Importancia global**: El polietileno es el polímero más producido (120 millones de toneladas/año) y su mercado seguirá creciendo (proyección de 135 millones en 2030), impulsado por la abundancia de etano gracias al gas de esquisto.
2. **Evolución tecnológica**: Se describen cuatro arquitecturas principales (LDPE, LLDPE, HDPE, UHMWPE) y las tecnologías de producción asociadas (alta presión, fase gas, slorry, solución). Se menciona que hoy existen 27 tecnologías para producir polietileno.
3. **Crisis en México**: La producción de Pemex ha caído drásticamente desde un pico de 700,000 toneladas anuales. La "gráfica del terror" muestra un declive que coincide con la falta de suministro de etano y la entrada de Braskem-Idesa. Se señala que el verdadero "villano" fue Pemex por no asegurar la materia prima.



INSTITUTO MEXICANO DE INGENIEROS QUÍMICOS, A. C.

B. Sobre el mercado y el déficit

1. **Déficit estructural**: El consumo de polietileno en México es de ~2.4 millones de toneladas, del cual el 62% se importa. Esto representa un déficit comercial enorme y una dependencia casi total de Estados Unidos.
2. **Estructura de la oferta**:
    - **Braskem-Idesa**: El mayor productor (1,050,000 t/año), pero ha operado muy por debajo de su capacidad por falta de etano. Entró en concurso mercantil, pero recientemente anunció un plan de reactivación con etano importado.
    - **Pemex**: Sus plantas (Cangrejera y Morelos) operan a capacidad mínima o están detenidas. Se requiere una inversión estimada de 1,500 millones de dólares para rehabilitarlas.
    - **Importadores**: Suplen el resto de la demanda.

C. Sobre la sustentabilidad y la economía circular

1. **Reciclaje mecánico**: Es la vía más común. Se menciona que México tiene una cultura de reciclaje industrial importante y empresas líderes como Pet Star.
2. **Reciclaje químico**: Incluye pirólisis, gasificación y craqueo catalítico. Son tecnologías disponibles que permiten recuperar materias primas (gas de síntesis, aceite pirolítico) para reintegrarlas al proceso.
3. **Tendencias de diseño**: El "diseño para el reciclaje" es clave. Los empaques monomaterial son más fáciles de reciclar que los multicapa.
4. **Desafío social**: El principal obstáculo para la economía circular es que el producto reciclado o de origen renovable (bioplásticos) sigue siendo más caro. Se necesita un cambio en la valoración de la sociedad.

INSTITUTO MEXICANO DE INGENIEROS QUÍMICOS, A. C.

D. Propuestas de los participantes

1. **Rehabilitación de plantas**: Se estima que se necesitan **~1,500 millones de dólares** para rehabilitar los complejos de Cangrejera y Morelos. Se requiere inversión privada y una estrategia clara de Pemex.
2. **Reconversión a especialidades**: Se propone convertir uno de los trenes de la planta de baja densidad de Cangrejera para producir **EVA (etileno-vinil-acetato)**, un producto de mayor valor agregado que no se produce en México.
3. **Aseguramiento de materia prima**: Se plantea importar etano usando la terminal de Pajaritos, con la opción de arrendar un barco criogénico para incrementar el almacenamiento y ampliar el diámetro de la línea de suministro.
4. **Acción social y política**: Varios participantes proponen que el IMIQ lleve estos análisis a la sociedad civil y a la Secretaría de Energía, para presionar por un cambio de política y una visión de largo plazo. Se sugiere publicar un documento con las conclusiones de las mesas.

4. Análisis de los participantes y sus intervenciones

Participante	Rol / Experiencia	Puntos clave de su intervención
Ing. Luis Miramontes Vidal	Experto en tecnología de polímeros. Ex-subgerente de tecnologías en Pemex Petroquímica.	**Diagnóstico Tecnológico**: Presenta la historia, los procesos y la situación de las plantas de Pemex. **Propuesta**: Recomienda la reconversión de plantas a especialidades y el uso de catalizadores de metaloceno.
Ing. Roberto	Experto en mercado y	**Diagnóstico de Mercado**: Expone el



INSTITUTO MEXICANO DE INGENIEROS QUÍMICOS, A. C.

Participante	Rol / Experiencia	Puntos clave de su intervención
Velazco Gutiérrez	comercialización de polietilenos.	déficit comercial, la estructura de la oferta y las tendencias. **Propuesta**: Destaca la economía circular (PCR) y la necesidad de diseñar para reciclar.
Ing. Luis Puig	Ex-gerente de Pemex Petroquímica.	**Propuestas**: Propone soluciones concretas para el déficit de etano (usar criogénicas, importar con barco arrendado) y para la rehabilitación de plantas (reconvertir un tren a EVA). Estimó las inversiones necesarias (~1,500 MDD).
Ing. Arturo Martínez	Experto en comercialización.	**Aportación**: Complementa con datos de consumo y sugiere el uso de agentes de acoplamiento para mejorar el reciclaje de multicapas. Propone crear centros de acopio en el campo para recuperar agroplásticos.
Ing. Luis Sampson		**Propuesta**: Sugiere que el IMIQ lleve estos análisis a la sociedad civil para generar conciencia y presión política.
Ing. Alejandro Villalobos	Presidente del Comité de Petroquímica.	**Propuesta**: Propone que el IMIQ edite un documento formal con los análisis de



INSTITUTO MEXICANO DE INGENIEROS QUÍMICOS, A. C.

Participante	Rol / Experiencia	Puntos clave de su intervención
		las tres mesas para dirigirlo a la Secretaría de Energía y a la sociedad.

5. Fortalezas y debilidades de la discusión

Fortalezas:

- **Alto nivel técnico y de mercado**: La combinación de la visión tecnológica de Luis Miramontes y la visión comercial de Roberto Velazco Gutiérrez proporciona un análisis completo.
- **Diagnóstico claro y compartido**: Se confirma el problema central: la falta de etano y su impacto en toda la cadena de valor.
- **Propositiva y con cifras**: Se presentan estimaciones de inversión y soluciones concretas, como la reconversión a EVA y el aseguramiento de la materia prima.
- **Visión integral**: Se aborda el problema desde la tecnología, el mercado, la sustentabilidad y la política.

Debilidades / desafíos mencionados:

- **Financiamiento y política**: La falta de recursos de Pemex y la prohibición de trabajar con ciertos tecnólogos (como Repsol) son barreras significativas.
- **Percepción social**: El plástico es visto como un villano ambiental, y la industria no ha logrado comunicar eficazmente sus beneficios y la viabilidad de la economía circular.
- **Burocracia**: La inacción de la Secretaría de Energía es una crítica recurrente.

INSTITUTO MEXICANO DE INGENIEROS QUÍMICOS, A. C.

6. Conclusión general

Esta tercera mesa de análisis consolida el diagnóstico de las sesiones anteriores y lo enfoca en el producto final de la cadena del etileno: los polietilenos. Se confirma que **México tiene un mercado enorme y en crecimiento, pero carece de una industria petroquímica fuerte que lo abastezca**. El problema, una vez más, es la falta de materia prima y la falta de inversión.

La discusión es particularmente rica en **propuestas concretas** que van desde lo técnico (reconvertir trenes, importar etano) hasta lo estratégico (economía circular, diseño para reciclaje) y lo social (llevar el mensaje a la sociedad). Se destaca la necesidad de **pasar de la crítica a la acción**, y el IMIQ se perfila como el vehículo para estructurar y presentar estas propuestas a las autoridades. La propuesta de editar un documento formal con los hallazgos de las tres mesas es un paso lógico y necesario para incidir en la política energética del país.

CMIQ

Asociación Mexicana de Ingenieros Químicos

RED DE EXPERTOS CMIQ

Ingeniería y Optimización Industrial de Alto Impacto

Ingeniería que transforma procesos,
resultados que impulsan la industria.



PROPUESTA DE VALOR & SOLUCIONES ESTRATÉGICAS

Optimización de Procesos
Reducción decostos deproducción y optimización del consumo energético industrial.

Transición Energética
Integración de hidrógenoverde/azul y sistemas avanzados de captura de carbono.

Cumplimiento Ambiental
Adaptaciónrigurosaanormativas locales e internacionales de residuos y emisiones.

Servicios Auxiliares
Optimización integralde redes de vapor, agua de enfriamiento y servicios clave.

Escalabilidad Industrial
Diseño y simulación avanzada de plantas piloto y escalado de procesos químicos.

Procesos Catalíticos y Polietileno
Evaluación de catalizadores de última generación y recuperación de metales.

Seguridad Operativa
Análisis integral de riesgos en procesos químicos (HAZOP/LOPA).

Simulación y Gemelos Digitales
Uso de Aspen HYSYS, ANSYS Fluent y Aspen Energy Analyzer para máxima precisión.

Ingeniería Conceptual
Evaluación, Selección de tecnología y estudio de viabilidad técnica y económica.

CONTACTO DIRECTO & ALIANZAS ESTRATÉGICAS

Teléfono: **222 524 6050** | Correo: **info@cmiq.mx**

Desarrollo Estratégico y Portafolio de Servicios para Ingeniería de Procesos y Operación Industrial

BIOETANOL: PERSPECTIVAS PARA LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y LA QUÍMICA RENOVABLE

Felipe de Jesús Ortega-García*, Elizabeth Mar Juárez,
Hervey G. Chavarría-Escamilla, Luz María Chávez-Islas

Instituto Mexicano del Petróleo, Eje Central Lázaro Cárdenas #152,
Ciudad de México, 07730, México.
*Correo electrónico: fjortega@imp.mx

Resumen

El bioetanol constituye una plataforma para diversificar la producción de combustibles y productos químicos de origen renovable. Este trabajo presenta un análisis prospectivo de seis aplicaciones: mezclas E10, etil terbutil éter (ETBE), etileno, turbosina mediante la ruta alcohol a turbosina (ATJ), hidrógeno y ácido propiónico. La revisión bibliográfica se complementa con un análisis del equilibrio químico mediante minimización de la energía libre de Gibbs para las rutas de etileno, turbosina, hidrógeno y ácido propiónico. Los resultados indican que bajas presiones y temperaturas de 200–300 °C favorecen la producción de etileno, mientras que altas temperaturas y bajas presiones favorecen la formación de hidrógeno. La carbonilación presenta condiciones favorables para obtener ácido propiónico a 120 °C y 30 bar. Bajo las condiciones de equilibrio seleccionadas, se estiman factores de producción de 0.5771 toneladas de etileno, 0.4643 de hidrocarburos destinados a turbosina y 1.59 de ácido propiónico por tonelada de bioetanol.

Palabras clave: Bioetanol, combustibles renovables, transición energética, química renovable.

1. Introducción

El informe de 2023 del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) señala que la temperatura superficial global durante 2011 – 2020 fue 1.1 °C superior a la del periodo de referencia 1850 – 1900 [1]. Además, las emisiones globales de gases de efecto invernadero continúan aumentando, principalmente debido al uso de combustibles de origen fósil, cambio en el uso del suelo, al estilo de vida y a los patrones de consumo.

La preocupación actual sobre el cambio climático, además de la legislación orientada a la reducción de gases de efecto invernadero, ha impulsado un cambio en la matriz energética y en la industria química, promoviendo el desarrollo de alternativas que contribuyan a la transición energética. En este sentido, el bioetanol es una de las alternativas de mayor interés por sus propiedades como combustible [2], [3]; y por sus aplicaciones como materia prima en el desarrollo de otros productos, como: hidrógeno [4], etileno [5], turbosina [6], etil terbutil éter (ETBE) [7], ácido propiónico [8], entre otros.

El etanol y el bioetanol son esencialmente la misma sustancia ya que tienen la misma fórmula molecular (C_2H_5OH), la diferencia es que el bioetanol se produce a partir de azúcares, almidón, biomasa lignocelulósica y algas [2].

En México, el bioetanol se produce principalmente a partir del jugo de caña de azúcar mediante procesos de fermentación y destilación. De acuerdo con datos de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, el potencial de producción de bioetanol es de 85 litros por tonelada de caña de azúcar, y se pueden producir 270 toneladas de caña de azúcar por hectárea de terreno; es decir, 22,950 litros por hectárea de cultivo [9]. Por otro lado, en febrero de 2017, se anunció que en el país se habían establecido 7 plantas para la producción de biodiésel y bioetanol con una capacidad total de 42.2 millones de litros anuales [10].

Sin embargo, debido a la alta demanda esperada de este producto, la producción nacional no será suficiente para satisfacerla ya que se estima que se requerirán 84 mil barriles diarios de bioetanol para satisfacer únicamente la demanda del mercado de combustibles en mezclas E10, sin considerar sus otras aplicaciones potenciales [11]. En este sentido, la Secretaría de Energía (SENER) habilitó permisos para producir, importar y vender biocombustibles, en línea con la Ley de Biocombustibles y su reglamento [12]. Con esta medida, se busca atender el déficit de producción de bioetanol.

El objetivo de este artículo es presentar un análisis prospectivo de seis aplicaciones del bioetanol: mezclas E10, ETBE, etileno, turbosina, hidrógeno y ácido propiónico. La revisión de estas aplicaciones se complementa con cálculos de equilibrio químico para las rutas de etileno, turbosina, hidrógeno y ácido propiónico, con el propósito de identificar condiciones termodinámicamente favorables y estimar factores de producción que sirvan de base para propuestas de nuevos proyectos y contribuyan al desarrollo nacional.

2. Bioetanol y sus rutas de aprovechamiento

2.1 Bioetanol en las gasolinas

El bioetanol ha destacado como fuente de energía prometedora con potencial para mezclarse con gasolina. Actualmente, Estados Unidos permite la comercialización y uso de mezclas E10 (10 %volumen de etanol/bioetanol con gasolina) [13].

Aun cuando un litro de bioetanol provee 65 % de la energía que puede proporcionar un litro de gasolina, tiene mayor número de octano (106-110) [2], permitiendo la combustión a una mayor relación de compresión en los pistones.

La presencia de etanol en motores de combustión interna influye en los mecanismos de corrosión y desgaste, se ha reportado que el etanol/bioetanol puede degradar componentes de plástico, caucho y metal del sistema de combustible [3], [14].

Por otro lado, el desempeño de las mezclas gasolina-bioetanol depende de varias propiedades fisicoquímicas, como: densidad, poder calorífico, contenido de oxígeno, presión de vapor, número de octano, entre otros.

En la Tabla 1 se resumen las principales propiedades de la gasolina y el etanol. La densidad de la mezcla influye en la eficiencia de atomización en la cámara de combustión. Una alta densidad se asocia con alta viscosidad y una mayor resistencia al flujo, provocando una menor inyección de combustible.

El poder calorífico reportado del etanol es de 27 MJ/kg aproximadamente el 65 % del poder calorífico reportado para la gasolina (44 MJ/kg). Esta diferencia en el poder calorífico entre ambos combustibles provoca un aumento en el consumo de las mezclas a medida que incrementa el contenido de alcohol, esto no significa una disminución en la potencia del motor [3].

Tabla 1 Propiedades fisicoquímicas de gasolina y etanol [3]

Propiedad	Gasolina	Etanol
Fracción C (%masa)	87.4	52.2
Fracción O (%masa)	0	34.7
Fracción H (%masa)	12.6	13.0
Poder calorífico (MJ/kg)	44	27
Presión de vapor REID (kPa)	53-60	17
RON	91-100	110
Densidad 15 °C (kg/m^3)	750-765	785-810

En su origen la gasolina no contiene oxígeno; sin embargo, se utilizan aditivos oxigenantes como el metil terbutil éter para mejorar su eficiencia en la combustión. El contenido de oxígeno en el etanol es de 34.7 % masa; por lo tanto, su uso en mezclas con gasolina mejora la eficiencia de combustión disminuyendo las emisiones de CO y HC [3], además de no requerir aditivos adicionales.

La presión de vapor (PVR) es una propiedad que de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana de calidad de petrolíferos (NOM-016-CRE-2016) toma especial relevancia en las zonas metropolitanas especialmente en las temporadas más calurosas del año [15]. Una alta PVR se asocia con una mayor volatilidad y emisión de compuestos orgánicos volátiles. En este sentido, el etanol presenta una menor presión de vapor (17 kPa) respecto a la gasolina (55 kPa) [3], la adición de etanol a gasolinas no implica la disminución de la PVR de la mezcla.

El número de octano de investigación (RON) del etanol (110) es mayor al reportado para gasolina (alrededor de 95) [3] . Las mezclas gasolina-etanol/bioetanol pueden soportar relaciones de compresión más elevadas; además, dado que la eficiencia térmica depende de la relación de compresión, el uso de etanol/bioetanol puede incrementar la eficiencia térmica de los motores de combustión interna.

2.2 La ruta del ETBE

Además de su incorporación directa a la gasolina, el bioetanol puede utilizarse para producir etil terbutil éter (ETBE), como aditivo para mejorar el octanaje de la gasolina. Bardin y colaboradores analizaron su producción y desempeño, destacando su interés para integrar materias primas renovables en la formulación de combustibles [7].

El ETBE se obtiene a partir de la reacción de etanol con isobuteno, en presencia de un catalizador. Entre los catalizadores utilizados se encuentran las resinas de intercambio iónico con grupos sulfónicos. La reacción es exotérmica y está limitada por el equilibrio; por lo tanto, el control de temperatura y la relación de alimentación de los reactivos son determinantes [16], [17].

La separación del producto representa un reto importante del proceso. El etanol que no reacciona forma un azeótropo con el ETBE producido, lo que dificulta su recuperación mediante destilación convencional. De Menezes y Cataluña [16] estudiaron el aprovechamiento directo de esta mezcla en gasolinas para evitar su separación. Por otro lado, la destilación reactiva ha llamado la atención como alternativa de separación, ya que combina reacción y separación en una misma columna [17].

El ETBE combina capacidad antidetonante con menor afinidad por el agua que el etanol y baja presión de vapor. Estas propiedades favorecen su incorporación a la gasolina. Es importante señalar que la presión de vapor de una mezcla no corresponde a un promedio de las propiedades de sus componentes; a bajas concentraciones se puede incrementar la presión de vapor. Por ello, la comparación entre ambas opciones debe realizarse sobre las mezclas finales considerando la gasolina base [18].

Bardin y colaboradores [7] evaluaron mezclas de gasolina con ETBE en un motor experimental monocilíndrico y observaron cambios en la velocidad media de combustión al aumentar la proporción del éter. Estos resultados respaldan su interés como componente de gasolina, aunque no permiten atribuir una mejora de eficiencia o una reducción fija de emisiones.

El uso de bioetanol no convierte automáticamente al ETBE en un producto renovable. Cuando el isobuteno es de origen fósil, su beneficio ambiental debe evaluarse considerando el origen de ambos reactivos y la energía utilizada en su producción y separación [18].

2.3 Bioetanol a bioetileno

Además de sus aplicaciones como combustible, el bioetanol puede utilizarse como materia prima para la producción de bioetileno, compuesto fundamental en la industria petroquímica, especialmente en la producción de polímeros. Debido a su naturaleza química, el etileno obtenido a partir de bioetanol puede incorporarse en las cadenas de procesamiento existentes [19].
La producción de bioetileno se realiza mediante la reacción de deshidratación catalítica de bioetanol, que se representa como: $C_2H_5OH \rightarrow C_2H_4 + H_2O$

De acuerdo con la relación estequiométrica, se requieren 1.64 toneladas de etanol para producir 1 tonelada de etileno, considerando conversión y selectividad de 100 %. En condiciones reales, el desempeño de la reacción se ve afectado por la formación de subproductos. La reacción es de naturaleza endotérmica; además, de acuerdo con lo reportado por Fan y colaboradores, la temperatura, el tiempo de contacto y las propiedades de los catalizadores influyen en la distribución de los productos [20].

Entre los catalizadores estudiados se encuentran la alúmina y las zeolitas. Estos materiales tienen la posibilidad de modificar, durante su síntesis, su acidez y sus propiedades texturales para mejorar la selectividad y estabilidad. La formación de depósitos de coque en la superficie del catalizador representa una limitación importante ya que puede bloquear los sitios activos disminuyendo la actividad catalítica y dificultando el transporte de las moléculas [21] . En la Tabla 2 se resumen algunas propiedades de estas familias de catalizadores.

Tabla 2 Catalizadores estudiados para la deshidratación de etanol a etileno

Familia de catalizadores	Propiedades de interés	Aspecto por controlar
Alúmina y alúminas modificadas	Materiales de referencia cuya actividad catalítica puede ajustarse mediante modificaciones texturales	Temperatura y formación de productos secundarios
Zeolitas y sus modificaciones	Acidez y porosidad ajustables para favorecer la formación de etileno	Depósitos de coque, difusión y estabilidad durante la operación

Respecto al proceso, posterior a la reacción es necesario separar el agua que se forma como subproducto, recuperar el bioetanol no convertido y acondicionar el bioetileno para su aplicación. Por ello, el diseño del proceso debe considerar la alimentación de la materia prima, la reacción y la purificación del producto [19].

Desde el punto de vista económico, el costo del bioetanol es determinante para evaluar la viabilidad del proceso. Además, es necesario lograr alta conversión de bioetanol y alta selectividad a etileno sin dejar de lado la vida útil del catalizador y la eficiencia térmica del proceso. Asimismo, el beneficio ambiental debe considerar la producción de biomasa y el consumo energético en toda la cadena de valor [19].

2.3.1 Bioetileno a bioturbosina (SAF): proceso ATJ

La transformación del bioetileno obtenido a partir de bioetanol en bioturbosina constituye una alternativa para vincular la producción de biocombustibles con el sector aeronáutico. En esta ruta del proceso alcohol a turbosina (ATJ), el bioetileno se convierte mediante oligomerización en olefinas de mayor tamaño, que posteriormente se hidrogenan, isomerizan y fraccionan. Por lo tanto; también es necesario controlar la longitud y ramificación de las cadenas producidas [6], [22]. La oligomerización es la etapa más determinante del proceso ATJ, ya que determina la distribución de las cadenas de hidrocarburos. Una elevada producción de compuestos ligeros C_4-C_8 reduce la recuperación de la fracción de interés; por otro lado, una alta producción de cadenas largas genera compuestos más pesados que requieren un procesamiento adicional. Por lo tanto, la selección del catalizador y de las condiciones de operación debe favorecer la selectividad hacia el intervalo de turbosina. La recirculación de olefinas ligeras puede mejorar la eficiencia del proceso, aunque aumenta los requerimientos de separación y el tamaño de los equipos [22], [23].

Posteriormente, la etapa de hidrogenación e isomerización permite saturar los dobles enlaces de las olefinas y ramificar los hidrocarburos. En este sentido, la relación de parafinas lineales y ramificadas influye en el comportamiento del combustible a bajas temperaturas, de vital importancia en los combustibles de aviación; por lo tanto, el control de la estructura molecular, mediante la oligomerización e isomerización, debe acompañar al ajuste del intervalo de destilación [22]. En este sentido, el proceso requiere integrar la selectividad de las reacciones con las propiedades esperadas del producto.

La calidad del combustible constituye una condición de acceso al mercado. De acuerdo con la Organización de Aviación Civil Internacional (ICAO), la ruta ATJ-SPK del Anexo A5 del estándar ASTM D7566 permite incorporar hasta 50 % de componente sintético en mezcla con combustible convencional [24]. Este límite no implica que cualquier producto obtenido mediante el proceso ATJ pueda utilizarse directamente: deben satisfacerse las especificaciones requeridas [24].

Geleynse y colaboradores [6] estimaron que la producción del alcohol representaba más de 80 % del costo total del combustible. Aunque este resultado depende de los supuestos del estudio. Muestran que optimizar únicamente la conversión catalítica puede ser insuficiente para alcanzar la competitividad. La disponibilidad y el precio del bioetanol, el rendimiento a combustible de aviación y el aprovechamiento de coproductos deben evaluarse conjuntamente. Asimismo, el suministro de hidrógeno y la integración térmica introducen costos adicionales que deben compensarse con el valor del producto obtenido [6], [23].

2.4 Hidrógeno a partir de bioetanol

Además de su aprovechamiento en la producción de combustibles sustentables y productos químicos, el bioetanol puede utilizarse para producir hidrógeno, un insumo necesario en procesos como la hidrogenación descrita para la ruta ATJ, en procesos de refinación y petroquímica [4].
El reformado con vapor de etanol se representa mediante la siguiente reacción: $C_2H_5OH + 3H_2O \rightarrow 2CO_2 + 6H_2$

El rendimiento estequiométrico es de seis moles de hidrógeno por mol de etanol. Este límite no equivale al rendimiento real, debido a la formación de CO, metano y otros compuestos intermediarios. Además, el carácter endotérmico del proceso hace necesario suministrar calor, mientras que la temperatura de operación puede favorecer la sinterización del catalizador y la pérdida de superficie activa [4], disminuyendo su actividad catalítica.

La selección del catalizador debe considerar simultáneamente actividad, selectividad y resistencia a la desactivación. Los catalizadores base níquel resultan atractivos por su capacidad para romper enlaces carbono-carbono y su menor costo comparado con los metales nobles, aunque la acumulación de depósitos de coque limita su desempeño. En este sentido, el soporte y los promotores tienen una función decisiva: modifican la interacción con el metal y las rutas de reacción. Desde una perspectiva industrial deben evaluarse la vida útil, la regeneración y la respuesta ante variaciones de la alimentación [4], [25].

Por otro lado, la evaluación debe extenderse hasta la recuperación del hidrógeno con la calidad requerida por su aplicación. Los reactores de membrana ofrecen una alternativa al integrar reacción y separación: la extracción selectiva de hidrógeno puede favorecer su formación y simplificar etapas posteriores. Sin embargo, estas ventajas deben contrastarse con el costo, la durabilidad y las posibilidades de escalamiento de la membrana [26].

El origen renovable del bioetanol no garantiza, por sí solo, la producción de hidrógeno de bajas emisiones. La reacción genera CO_2 y el balance depende de la producción de la materia prima, de la obtención del bioetanol y de la energía utilizada en el reformado. Chen y colaboradores [27] recopilan valores de potencial de calentamiento global de entre 1.3 y 12.2 kg de CO_2 equivalente por kilogramo de hidrógeno producido por reformado de etanol. La amplitud de este intervalo refleja diferencias entre materias primas, procesos y supuestos de evaluación.

2.5 Etanol y CO hacia ácido propiónico

La producción de ácido propiónico amplía las posibilidades de aprovechamiento del bioetanol hacia la industria química. Este compuesto se utiliza en la fabricación de intermediarios y conservadores, particularmente en forma de sales de propionato. Su obtención mediante carbonilación incorpora una molécula de monóxido de carbono al bioetanol, promoviendo el aprovechamiento de este subproducto obtenido en procesos de reformación seca de metano.
Xu y colaboradores [8] identificaron la baja productividad de ácido propiónico como una limitación para desarrollar esta ruta. Mediante la incorporación de un ligante (monosulfuro de bis(difenilfosfino)metano) a un sistema homogéneo de rodio, los autores mejoraron el desempeño alcanzando un rendimiento de 6.21 $mol \cdot L^{-1} \cdot h^{-1}$. Este resultado muestra que modificar el entorno de coordinación del metal puede mejorar sustancialmente su desempeño. Sin embargo, trasladar esa mejora a escala industrial requiere demostrar que se mantiene durante la operación prolongada y la reactivación del catalizador.

La concentración de agua en el medio de reacción constituye otra variable relevante. Xu, Zhang et al. [28] emplearon ácido propiónico como disolvente para disminuir el contenido de agua requerido en la mezcla de alimentación y reducir las exigencias de separación posteriores. En el caso del bioetanol, el agua incorporada con la alimentación debe considerarse junto con la aportada por los demás reactivos, ya que ambas contribuyen a la composición del medio y a la carga de purificación del producto. Por lo tanto, la especificación de contenido de agua del bioetanol debe establecerse considerando tanto el desempeño catalítico como el consumo energético de separación. Asimismo, la viabilidad del sistema homogéneo requiere recuperar y reutilizar el rodio, limitando las pérdidas de metal y su presencia en el ácido obtenido.

La catálisis heterogénea ofrece una alternativa para facilitar la retención-recuperación del metal. Yacob et al. [29] estudiaron rodio soportado en zeolita y observaron una selectividad inicial hacia propionatos cercana al 40 %, que aumentó aproximadamente al 60 % mediante la incorporación de especies alcalinas. Los productos secundarios incluyeron etileno y éter dietílico, evidenciando la competencia entre carbonilación y deshidratación.

Desde la perspectiva industrial, esta ruta debe compararse con tecnologías consolidadas. Teles [30] destaca los avances en la hidroformilación de etileno a propionaldehído y su posterior oxidación a ácido propiónico. Frente a esa alternativa, la carbonilación directa del etanol evita la etapa previa de producción de etileno.
El origen del CO también determina el alcance renovable del producto. Del balance estequiométrico se deduce que dos de sus tres átomos de carbono proceden del bioetanol; por ello, si se utiliza bioetanol y CO obtenido a partir de reformado seco de metano, únicamente dos tercios del carbono incorporado serían biogénicos. Esta proporción no equivale a una reducción de emisiones del mismo valor, pues el balance ambiental incluye la producción de ambos reactivos y los requerimientos del proceso.

3. Termodinámica del equilibrio químico de algunas de las rutas de aprovechamiento del Bioetanol

Antes de iniciar el análisis termodinámico se realiza una búsqueda bibliográfica para identificar los trabajos de investigación enfocados al aprovechamiento del bioetanol, y saber si se han reportado información tal como: a) reacciones químicas principales, b) método termodinámico, c) intervalos de temperatura y operación recomendados y d) observaciones o comentarios sobre el efecto de variables en el equilibrio químico. En el presente trabajo el equilibrio químico se obtiene mediante la minimización de la energía libre de Gibbs.

3.1 Bioetanol a etileno

La literatura [31], [32], [33] reporta como compuestos importantes a parte de la formación de etileno la de dietiléter, acetaldehído, agua e hidrogeno. Además, indican que a mayores temperaturas se favorece la formación de etileno, mientras que a menores se incrementa la producción de dietiléter. Los métodos termodinámicos recomendados para el sistema de reacción son: Peng-Robinson (P-R) y NRTL.

Los compuestos considerados como posibles productos son los mostrados en las siguientes reacciones:

1) $C_2H_5OH \rightarrow C_2H_4 + H_2O$
2) $2\,C_2H_5OH \rightarrow C_2H_5O\,C_2H_5 + H_2O$
3) $C_2H_5OH \rightarrow CH_3CHO + H_2$

El intervalo de temperatura analizado es de 150 a 450 °C y la presión de 0.78 a 11.4 bar. Los resultados se muestran en la Figura 1 (a), (b) y (c). En la primera de ellas se observa, que la banda correspondiente al etanol que no reacciona es delgada, apena apreciable y prácticamente deja de existir a la temperatura de 200 °C. Lo mismo sucede para el dietiléter (franja amarilla), la cual, termina antes de llegar a los 200 °C. Al ir incrementado la presión las franjas antes mencionadas se ensanchan a bajas temperaturas, impactando en la disminución de etileno, tal como se presenta en las Figuras 1 (b) y (c). Por otro lado, hay pequeñas cantidades de acetaldehído al igual que de hidrógeno, no así para el agua. En base a los resultados, es conveniente trabajar a baja presión y temperaturas entre 200 y 300 °C para favorecer la producción de etileno sobre otros subproductos.

°C para favorecer la producción de etileno sobre otros subproductos.

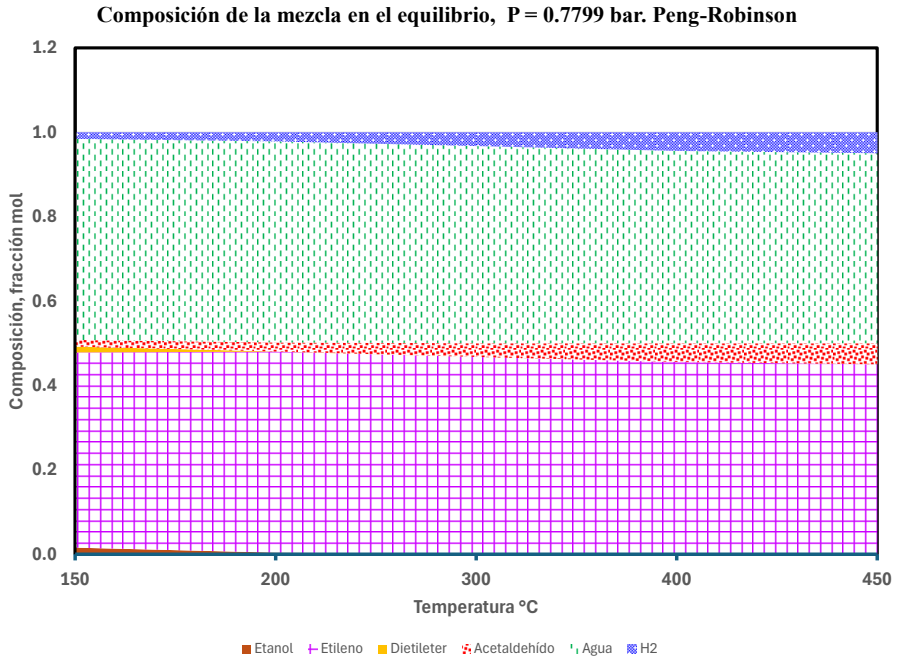


Figura 1 (a). Distribución de los reactivos y productos en el equilibrio, P = 0.78 bar

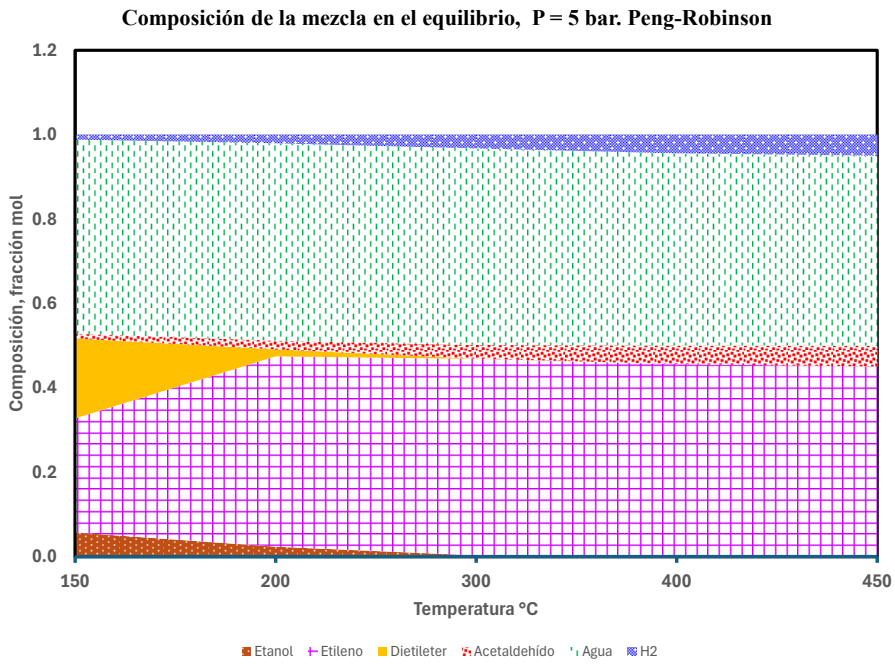


Figura 1 (b). Distribución de los reactivos y productos en el equilibrio, P =5 bar

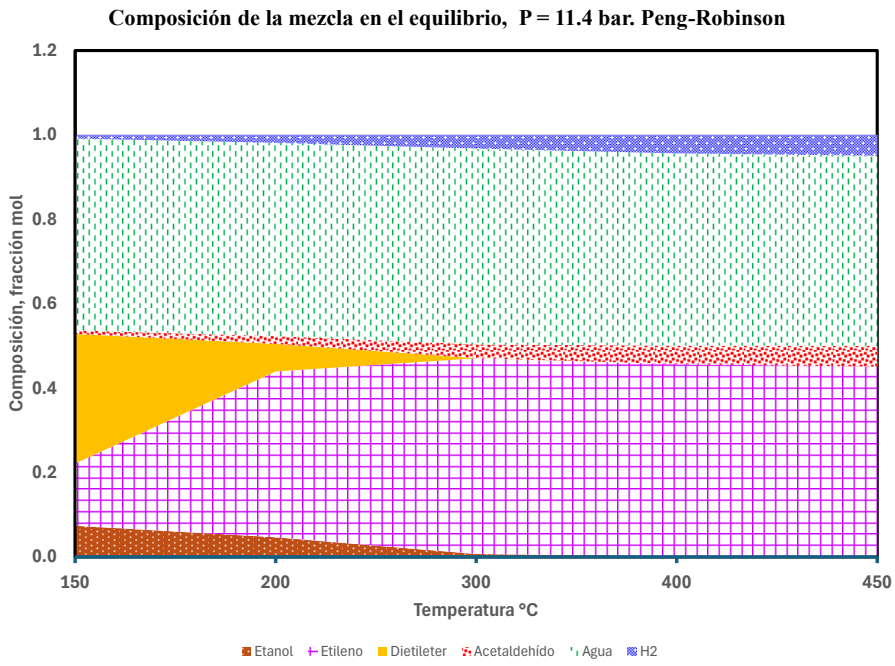


Figura 1 (c). Distribución de los reactivos y productos en el equilibrio, P =11.4 bar

Se usa P-R, pero se verificó empleando el método termodinámico NRTL y la diferencia no rebasa el 5%. La conversión de etanol es afectada por la presión, a menor presión se tienen mayores conversiones, tal como se muestra en la Figura 2 (a). Respecto a la selectividad de etileno se beneficia al reducir la presión y un intervalo de temperatura de 200-300 °C, ver Figura 2 (b).

Finalmente se eligen en base a las gráficas anteriores condiciones de operación que favorecen la formación de bioetileno y con ello se determina una relación masa o factor que indica lo que se puede producir, 0.5771 toneladas de etileno a partir de una tonelada de etanol.

Como estimación económica preliminar, los precios de referencia de mercado publicados por IMARC para Norteamérica en septiembre de 2026 fueron de 810 USD por tonelada de etanol y 660 USD por tonelada de etileno. Considerando el factor de producción de 0.5771 toneladas de etileno por tonelada de etanol obtenido, la adquisición de una tonelada de materia prima representa 810 USD, mientras que la venta del etileno generado aportaría 380.89 USD. Por tanto, el balance entre el ingreso por etileno y el costo del etanol presenta un déficit de 429.11 USD por tonelada de etanol procesado, incluso sin incluir otros costos del proceso. Bajo estas referencias regionales, la ruta no resulta favorable al considerar únicamente la materia prima y el producto principal; para cubrir el costo del etanol, el precio del etileno tendría que alcanzar aproximadamente 1403.57 USD por tonelada, o el precio de adquisición del etanol reducirse a 380.89 USD por tonelada, manteniendo constantes los demás supuestos. Esta comparación supone la recuperación y venta de todo el etileno estimado y no incorpora una prima comercial por su origen renovable.

En la Tabla 3, se establece las condiciones de presión y temperatura elegido del equilibrio químico, así como el flujo másico tanto de etanol (reactivo) como del etileno (producto).

Tabla 3. Factor para la producción de etileno a partir de bioetanol

T (°C)	P (bar)	Etanol	Etileno
		kg/h	
200	0.7799	46.07	26.58
Relación masa Etileno/Etanol =		0.5771	Tetileno/Tetanol

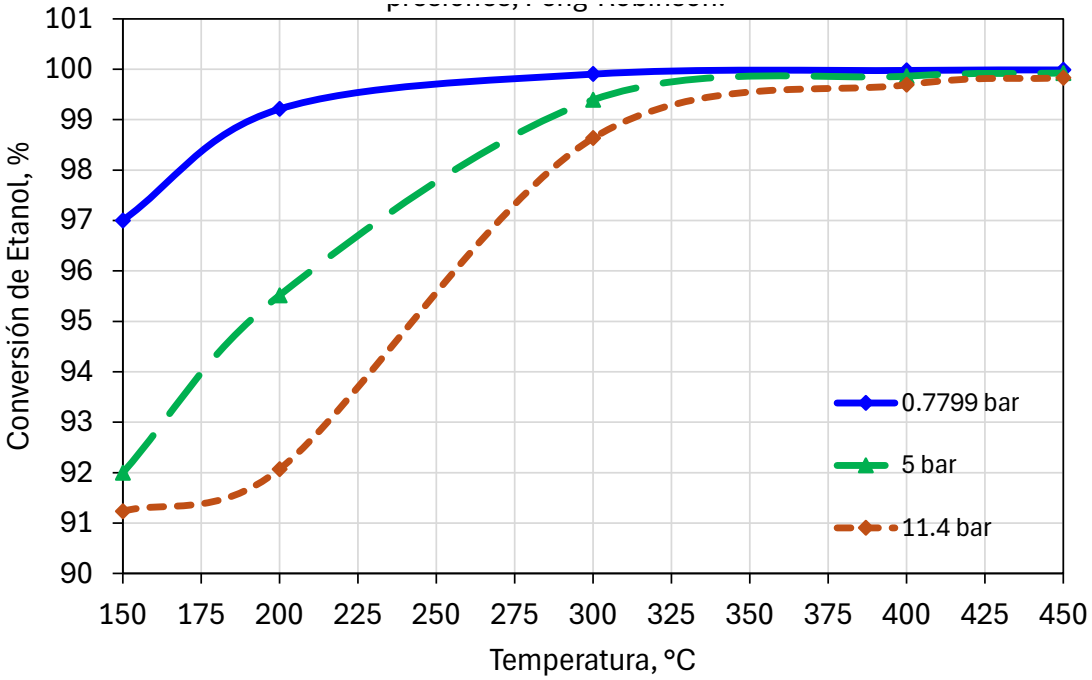


Figura 2 (a). Conversión de etanol en función de T y P.

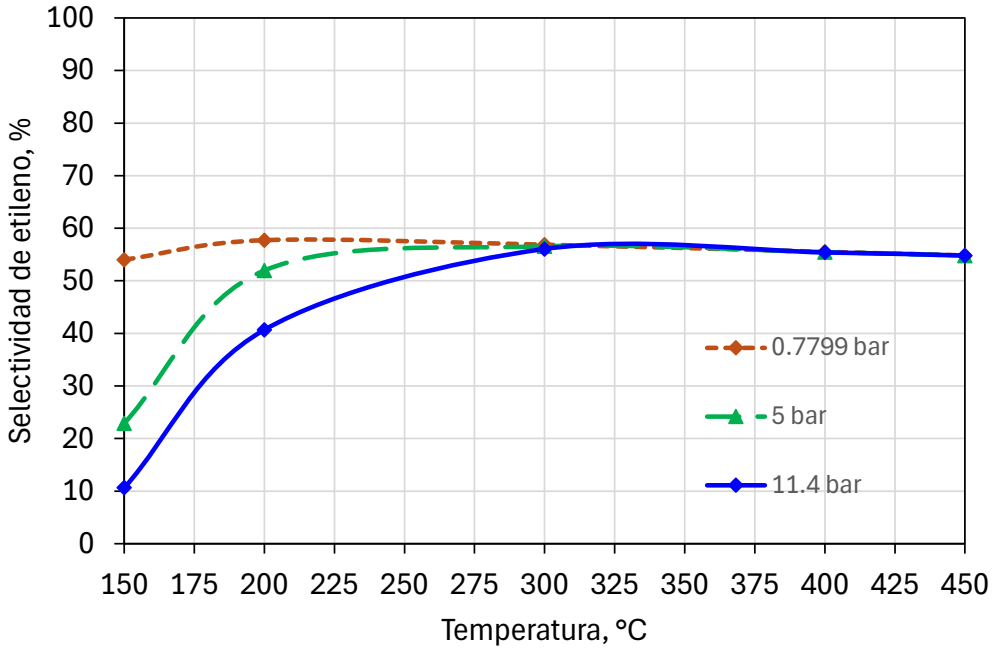


Figura 2 (b). Selectividad del etileno en función de T y P.

3.2 Etileno a turbosina: proceso ATJ

Para obtener turbosina a partir de etileno se requiere pasar este último por dos procesos, oligomerización e hidroisomerización. En el primero se generan olefinas de mayor peso molecular y el segundo es para obtener las parafinas respectivas que forman la turbosina. Para el equilibrio químico se consideran olefinas desde C_4 a C_{16} y las reacciones son las señaladas en la referencia [34] tanto para oligomerización como para hidrogenación.

El método termodinámico utilizado fue el de PR. La conversión de etileno es del 100% entre 70 a casi 245 °C, sin efecto de la presión. Sin embargo, a presión baja la conversión se abate de una forma más pronunciada, tal como se observa en la Figura 3. En oligomerización la selectividad de cada olefina depende de su número de carbonos, la 1-dodeceno ($C_{12}H_{24}$) tiene un valor de casi 93 % de selectividad a 120 °C y 35 bar, mientras que el 2-buteno (C_4H_8) su selectividad es prácticamente nula. Sin embargo, para SAF los carbonos de interés se encuentran entre C_8 a C_{16} (parafinas), ver Figuras 4 (a) y (b), es por eso por lo que las olefinas de mayor peso molecular definen las condiciones de operación adecuadas.

En el proceso de hidrogenación de las olefinas una parte de ellas se convierte a parafinas y otra no se transforma de acuerdo con los resultados obtenidos del equilibrio químico. La Figura 5 (a) muestra esta conversión parcial de las olefinas, siendo las barras rojas el contenido inicial de olefinas en la alimentación y después de la hidrogenación lo que permanece de esas olefinas sin reaccionar (barras moradas). En la gráfica de la Figura 5 (b) se presenta la distribución de las parafinas obtenidas.

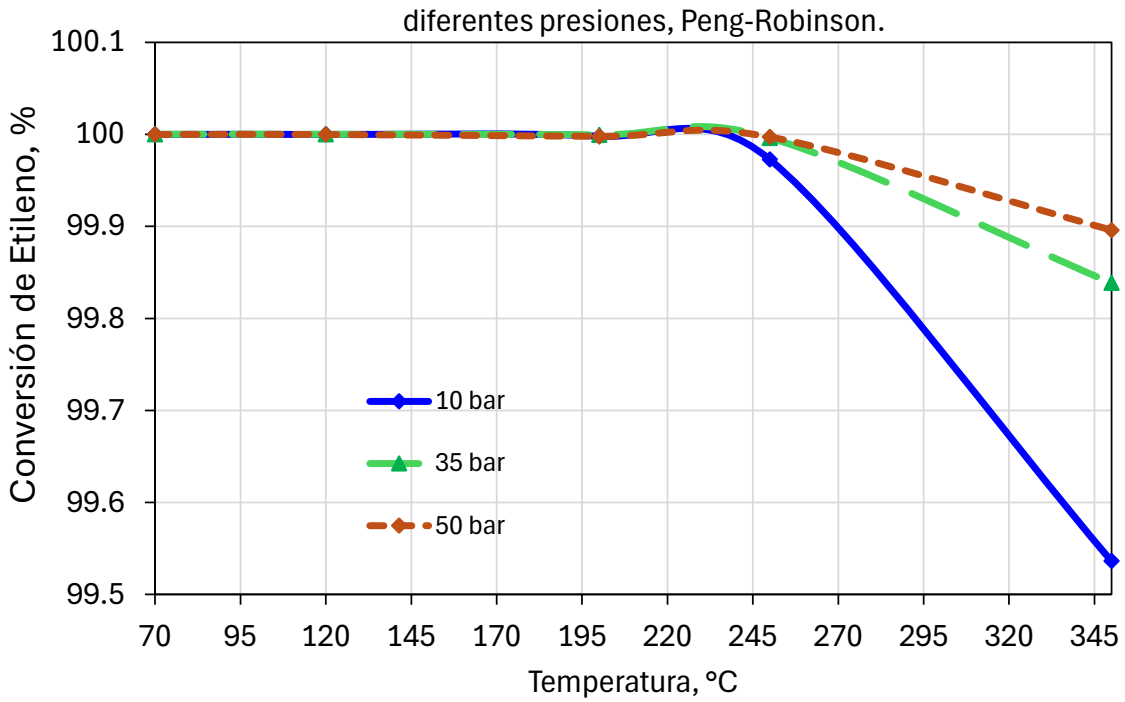


Figura 3. Conversión de etileno en función de T y P.

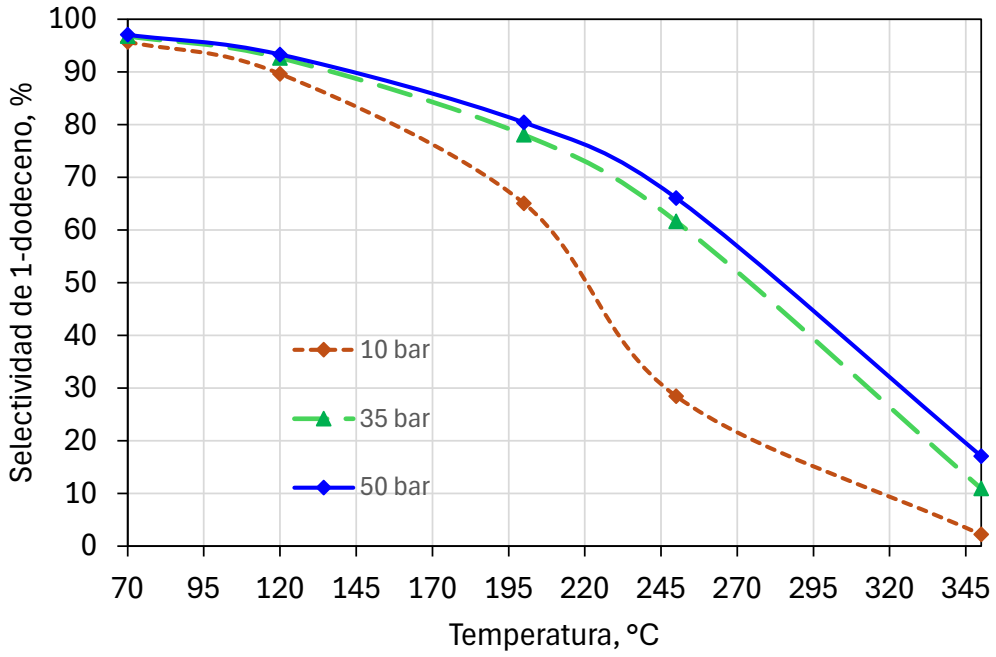


Figura 4 (a). Selectividad de 1-dodeceno [$C_{12}H_{24}$] en función de T y P.

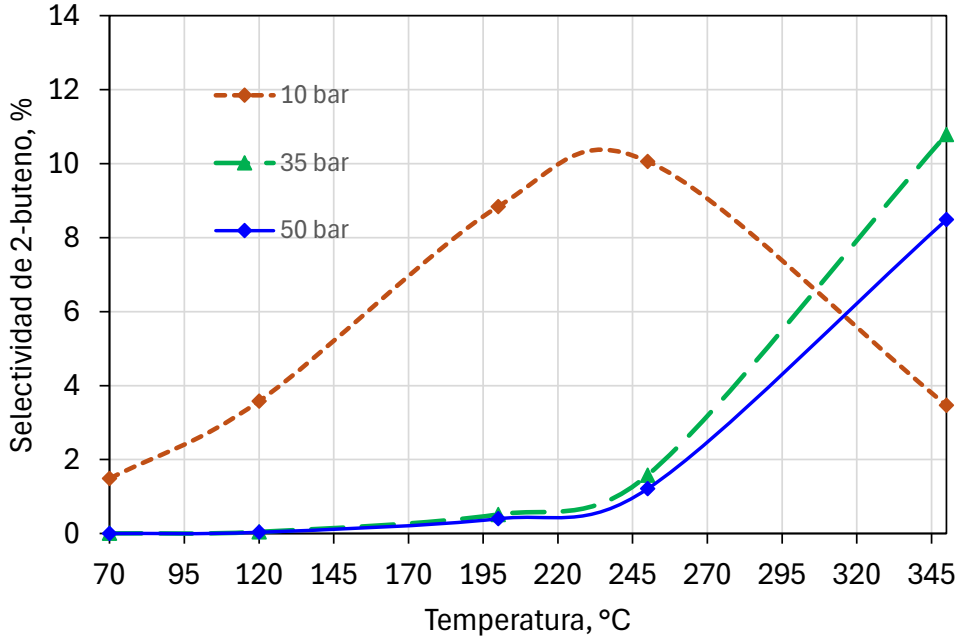


Figura 4 (b). Selectividad de 2-buteno [C_4H_8] en función de T y P.

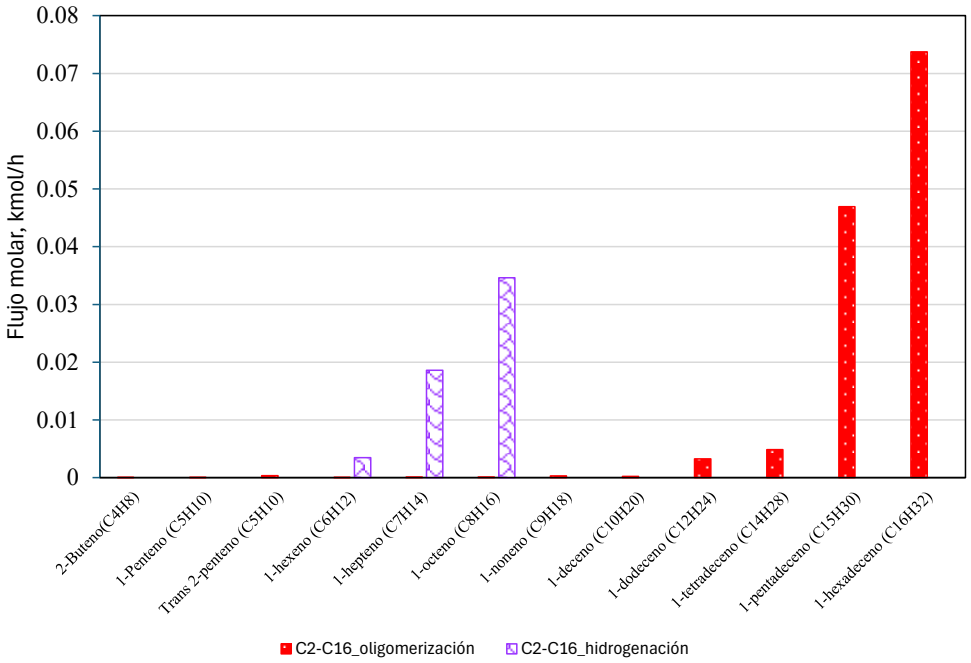


Figura 5 (a). Reacción parcial de olefinas C2-C16 durante la hidroisomerización, P = 35 Bar, T = 120°C.

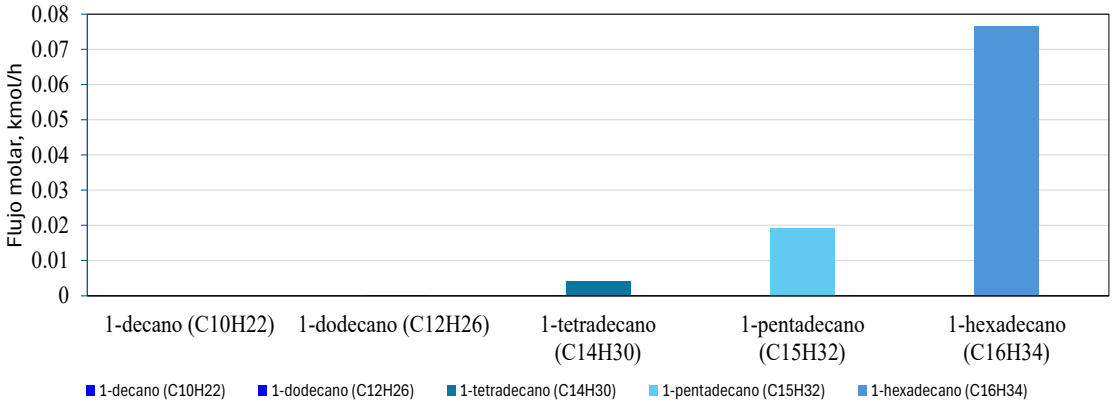


Figura 5 (b). Distribución de parafinas durante la hidroisomerización, P = 35 Bar, T = 120°C.

De la información proporcionada por el equilibrio químico de cada uno de los tres procesos (deshidratación, oligomerización e hidrogenación), se seleccionan las condiciones prometedoras en cada uno de ellos, y se determina un factor que indica teóricamente que es posible obtener 0.4643 tonelada de SAF por cada tonelada de etanol procesada, ver Tabla 4.

Tabla 4. Factor para la producción de SAF a partir de bioetanol

			Etanol	Etileno	
	T (°C)	P (bar)	kg/h		
Deshidratación	300	0.7799	46.07	28.023	
	Relación masa Etileno/Etanol =		0.6083	Tetileno/Tetanol	
			Etileno	$C_{15}H_{30}$	$C_{16}H_{32}$
	T (°C)	P (bar)		kg/h	
Oligomerización	120	35	28.05	9.87	16.55
					26.42
	Relación masa Olefinas/Etileno =		0.9418	Tolefinas/Tetileno	
			Olefinas	$C_{15}H_{32}$	$C_{16}H_{34}$
	T (°C)	P (bar)			
Hidroisomerización	100	35	26.42	4.07	17.34
					21.41
	Relación masa Parafinas/Olefinas =		0.8105	Tparafinas/Tolefinas	
	Relación masa Parafinas/Etanol =		0.4643	Tparafinas/Tetanol	

Como estimación económica, se considera un precio del etanol de 810 USD por tonelada, reportado por IMARC para Norteamérica en septiembre de 2026, y un precio de referencia del SAF de 2830 USD por tonelada, correspondiente al promedio observado en el noroeste de Europa durante el segundo trimestre de 2026 según BloombergNEF. Con el factor de producción de 0.4643 toneladas de producto por tonelada de etanol calculado, la venta generaría un ingreso estimado de 1313.97 USD frente a un costo de materia prima de 810 USD, equivalente a un margen parcial positivo de 503.97 USD por tonelada de etanol procesado. Este escenario muestra una relación favorable entre el valor del producto y el costo de la materia prima. La comparación excluye los costos de hidrógeno, energía, catalizadores, separación, certificación, transporte e inversión, así como ingresos por coproductos e incentivos.

3.3 Hidrógeno a partir de bioetanol

En la literatura [35], [36], [37] se describen las reacciones secundarias que pueden tener origen a parte de la reacción principal para la producción de hidrógeno (H_2). Además, se indica que las condiciones favorables para la producción de H_2 es alta temperatura y baja presión. Aunque es necesario considerar la importancia de la reacción de agua hacia a gas (RWGS, por sus siglas en inglés) a temperaturas suficientemente elevadas. Por otro lado, se menciona que la presencia de metano (CH_4) se hace despreciable a relaciones de vapor de agua/etanol (relación masa): 2:1 hasta 6:1, en un intervalo de temperatura de 820 a 900 °C.

Los compuestos considerados en el equilibrio químico mediante la minimización de la energía libre de Gibbs son los que aparecen en el siguiente sistema de reacción:

1) $C_2H_5OH + 3H_2O \rightarrow 2CO_2 + 6H_2$ **Reacción general**
2) $C_2H_5OH \leftrightarrow CH_3CHO + H_2$
3) $CH_3CHO + H_2O \leftrightarrow 2CO + 3H_2$
4) $C_2H_5OH \leftrightarrow C_2H_4 + H_2O$
5) $CH_3CHO \leftrightarrow CH_4 + CO$
6) $CO_2 + 4H_2 \leftrightarrow CH_4 + 2H_2O$
7) $CO + 3H_2 \leftrightarrow CH_4 + H_2O$
8) $CO_2 + H_2 \leftrightarrow CO + H_2O$ **(RWGS)**
9) $C_2H_4 \leftrightarrow 2C_{(S)} + 2H_2$
10) $CH_4 \leftrightarrow C_{(S)} + 2H_2$
11) $2CO \leftrightarrow C_{(S)} + CO_2$

El exceso de vapor ayuda a limitar la formación de carbono, aunque existe penalización energética durante la generación de vapor. El incremento de presión limita el rendimiento de H_2.

Se presenta el efecto de la relación masa de vapor de agua respecto al etanol de: 2, 4 y 6 respectivamente en la distribución de los productos en el equilibrio químico, manteniendo la presión constante. Se observa en las Figuras 6 (a), (b) y (c) que la mayor proporción de H_2 es mayor cuando se tiene una relación masa de 2, ya que en los otros valores se ve disminuida el contenido de H_2, CO, así como de CO_2 y un incremento en la composición del agua.

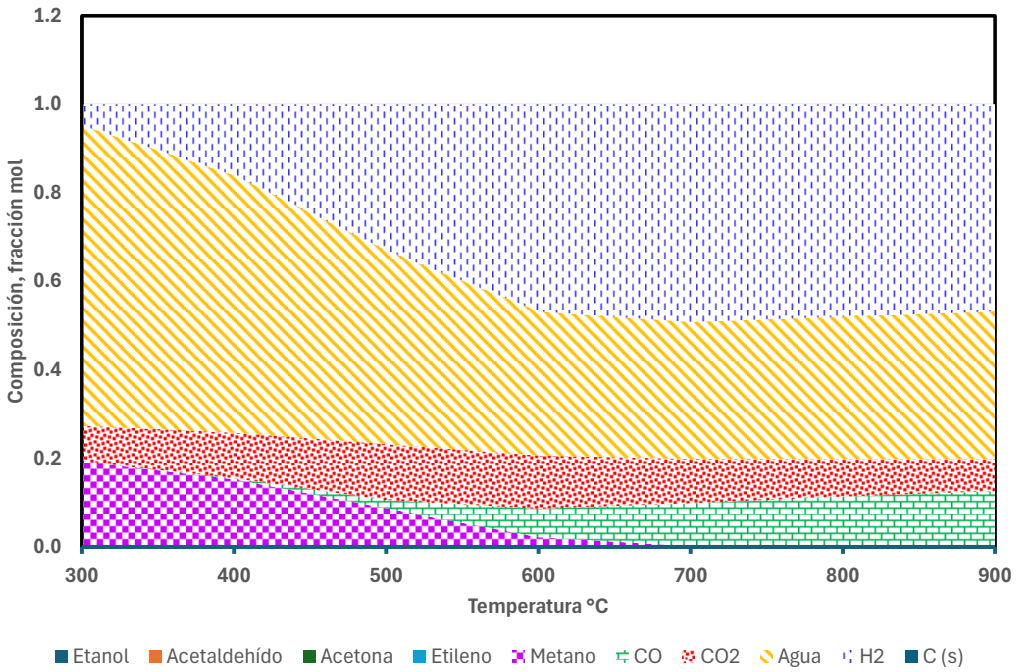


Figura 6 (a). Distribución de los reactivos y productos en el equilibrio,

P = 0.763 bar y Relación masa vapor agua/etanol = 2

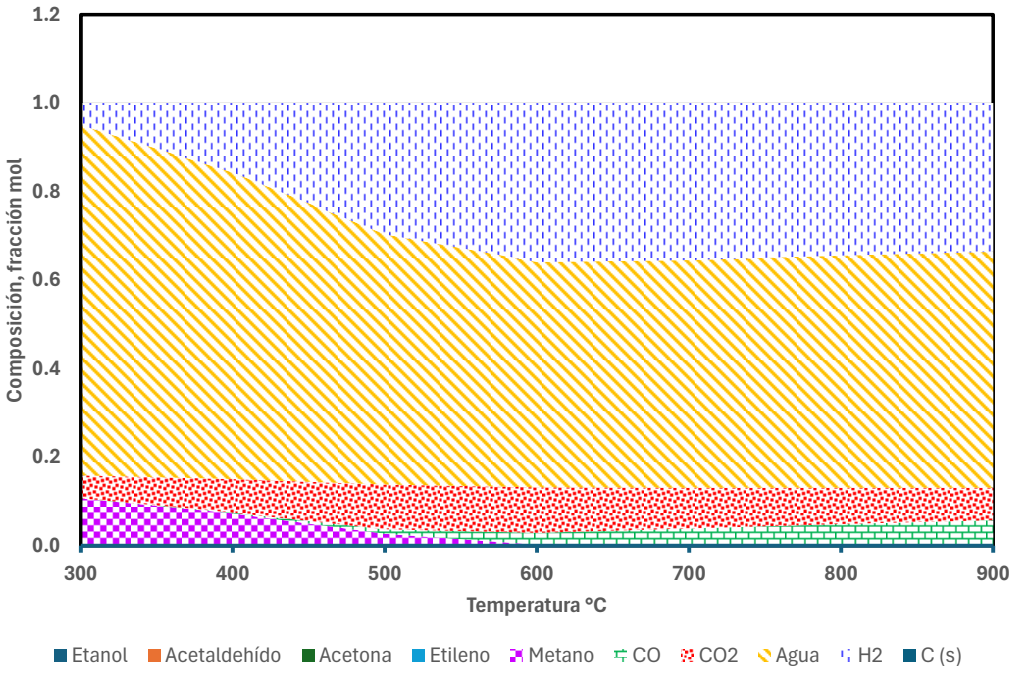


Figura 6 (b). Distribución de los reactivos y productos en el equilibrio,

P = 0.763 bar y Relación masa vapor agua/etanol = 4

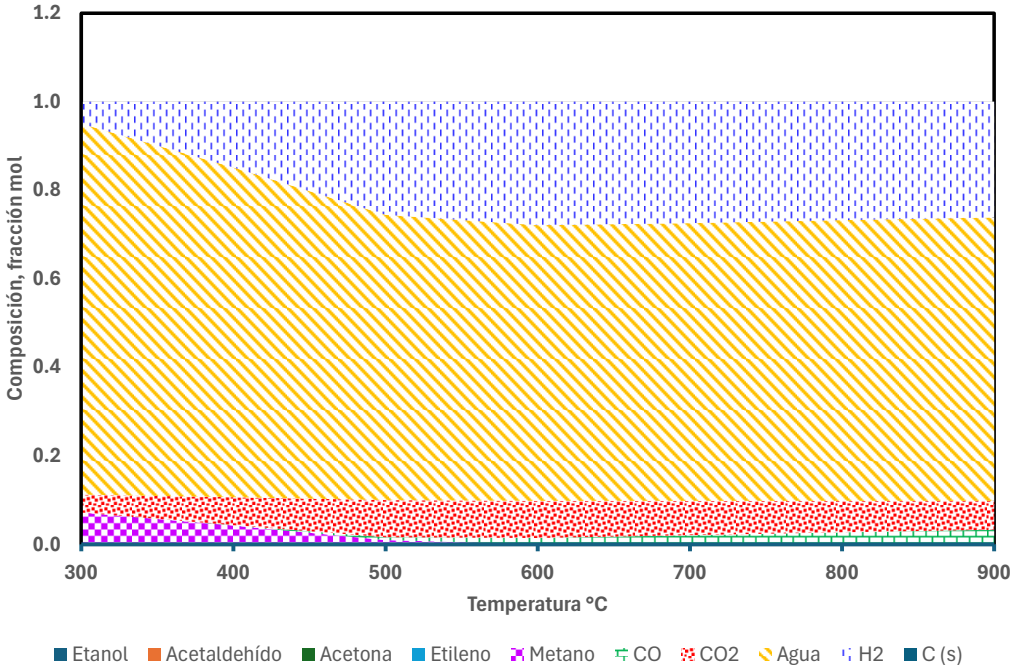


Figura 6 (c). Distribución de los reactivos y productos en el equilibrio,

P = 0.763 bar y Relación masa vapor agua/etanol = 6

En la Figura 6 (a) el metano desaparece a 700 °C, mientras que en (b) deja de existir antes de los 600 °C y en la gráfica (c) lo hace a partir de los 500 °C.

El efecto de la presión en la producción de H_2 se observa al comparar la Figura 6 (a) y las Figuras 7 (a) y (b), donde la relación masa de vapor de agua/etanol se mantiene igual a 2 en las tres figuras y cambia el valor de la presión 0.763, 10 y 20 bar. El incremento en la composición del H_2 se favorece a menor presión y alta temperatura, Figura 6 (a), reduciendo con el incremento de la presión. En cambio, la formación de metano se intensifica con el aumento de la presión, y al mismo tiempo se reduce el contenido de CO y CO_2.

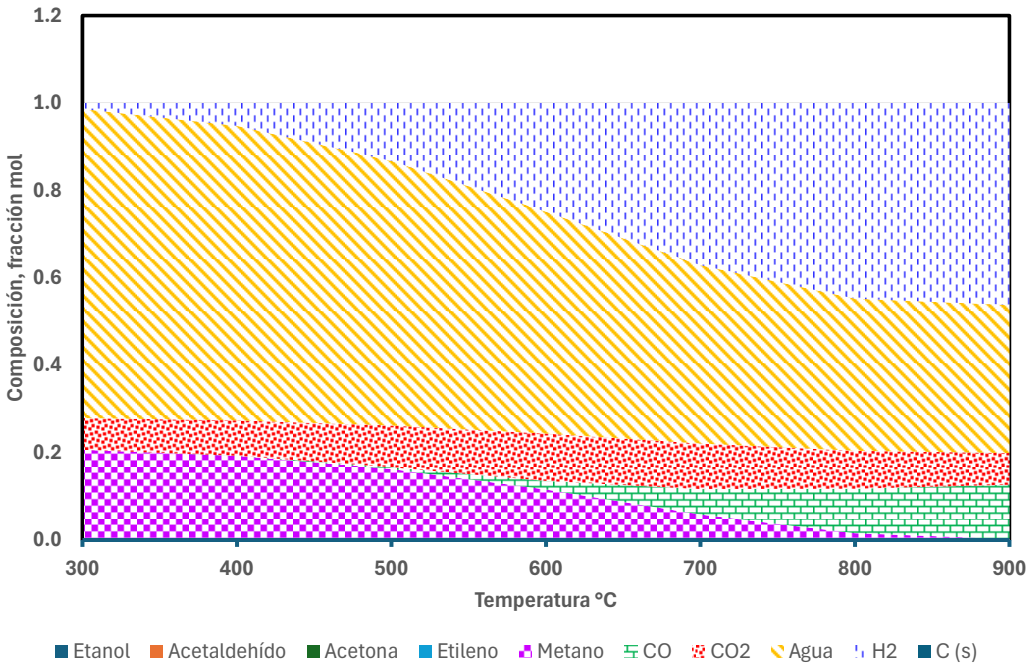


Figura 7 (a). Distribución de los reactivos y productos en el equilibrio,

P = 10 bar y Relación masa vapor agua/etanol = 2

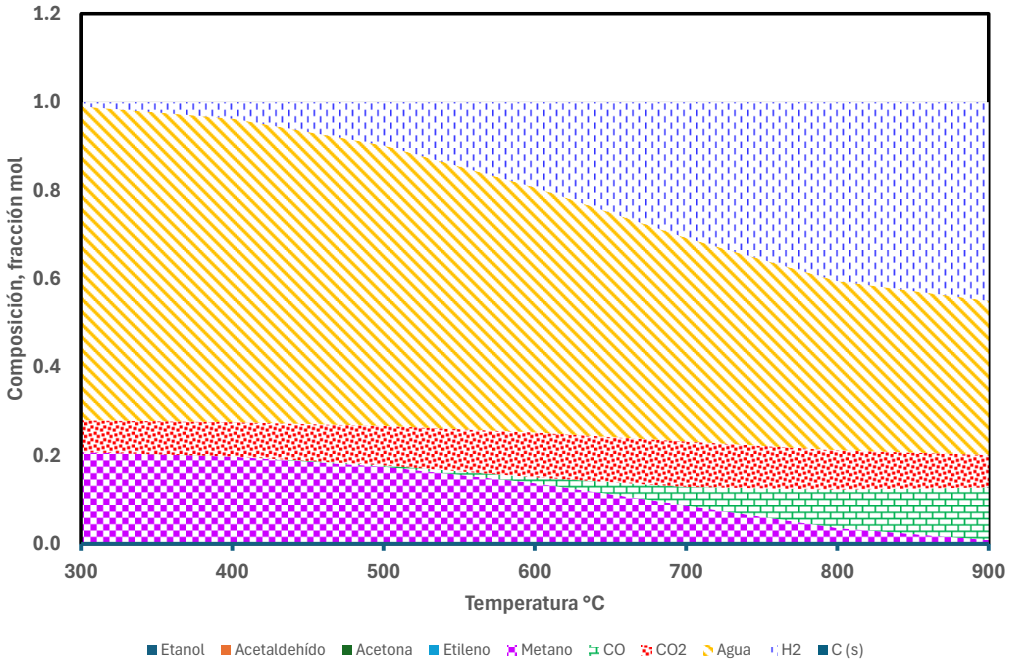


Figura 7 (b). Distribución de los reactivos y productos en el equilibrio,

P = 20 bar y Relación masa vapor agua/etanol = 2

Los compuestos que no aparecen en el equilibrio son: etano (reactivo), acetaldehído, acetona y etileno.

Se selecciona a partir de la información de equilibrio condiciones de operación donde se favorece la producción de H_2 y en base a ello se obtiene que por cada tonelada de etanol procesado se obtiene 0.015 MMPCSD (Millones de pies cúbicos estándar por día, T = 70°F y P = 1 atm), ver Tabla 3.

Tabla 3. Factor para la producción de H_2 a partir de bioetanol

		Etanol		H2	
T (°C)	P (bar)	kg/h		Kmol/h	MMPCSPD
700	0.76316	46.07	1.63329	0.81021	0.0165811
Relación masa Vapor de agua/EtOH =		2			
Relación H_2/Etanol =		0.0150	MMPCSD H_2/Tetanol		

En la estimación económica, se mantiene el precio del etanol de 810 USD por tonelada utilizado en las rutas anteriores y se considera un precio de referencia del hidrógeno industrial de 1196 USD por tonelada, equivalente a 1.196 USD/kg, reportado por IMARC para Estados Unidos en septiembre de 2026. Para una alimentación de una tonelada de etanol por día, el factor de producción de 0.015 MMPCSD corresponde a 15000 pies cúbicos estándar diarios de H_2. Utilizando la equivalencia de Air Products de 423.36 pies cúbicos por kilogramo de H_2 a 70 °F y 1 atm, se obtiene una producción aproximada de 35.43 kg/día. Su venta representaría un ingreso de 42.37 USD/día frente a un costo del etanol de 810 USD/día, con un déficit parcial de 767.63 USD por tonelada de etanol procesado.

3.4 Etanol y CO hacia ácido propiónico

Proceso de carbonilación de etanol con CO, en la bibliografía [38], [39] se presentan las principales reacciones, tanto la objetivo como las secundarias. Este sistema de reacción permite definir los productos posibles en el equilibrio químico. El método termodinámico para predecir el equilibrio termodinámico de reacción es NRTL-RK (NRTL + Redlich-Kwong con ley de Henry). El sistema reaccionante considera:

1) $C_2H_5OH + CO \rightarrow CH_3CH_2COOH$ *ácido propiónico*
2) $C_2H_5OH + CH_3CH_2COOH \leftrightarrow C_2H_5COOC_2H_5 + H_2O$ *propianato de etilo*
3) $2C_2H_5OH \leftrightarrow C_2H_5OC_2H_5 + H_2O$ *Dietiléter*
4) $C_2H_5OH \leftrightarrow C_2H_4 + H_2O$
5) $C_2H_5OH \rightarrow CH_3CHO + H_2$

En las Figuras 8 (a), (b) y (c) se puede visualizar el efecto de la presión y temperatura en el contenido de ácido propiónica en el equilibrio químico. Se mejora el rendimiento con el incremento de presión y disminución de temperatura. De las tres presiones estudiadas la que mejora la proporción de ácido es de 30 bar y temperatura de 120 °C. Además, al incrementar la presión hasta 30 bar casi desaparece el etileno y no existe hidrógeno, los cuales, aparecen a temperaturas altas. Simultáneamente, hay disminución apreciable en el contenido de propianato de etilo, CO y agua.

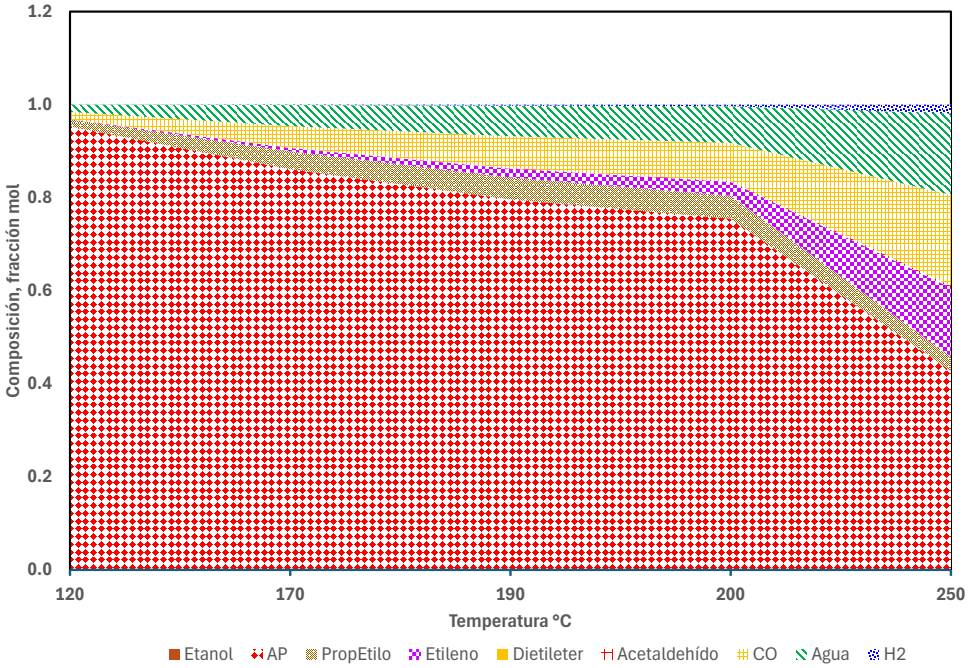


Figura 8 (a). Distribución de los reactivos y productos en el equilibrio, P = 5 bar

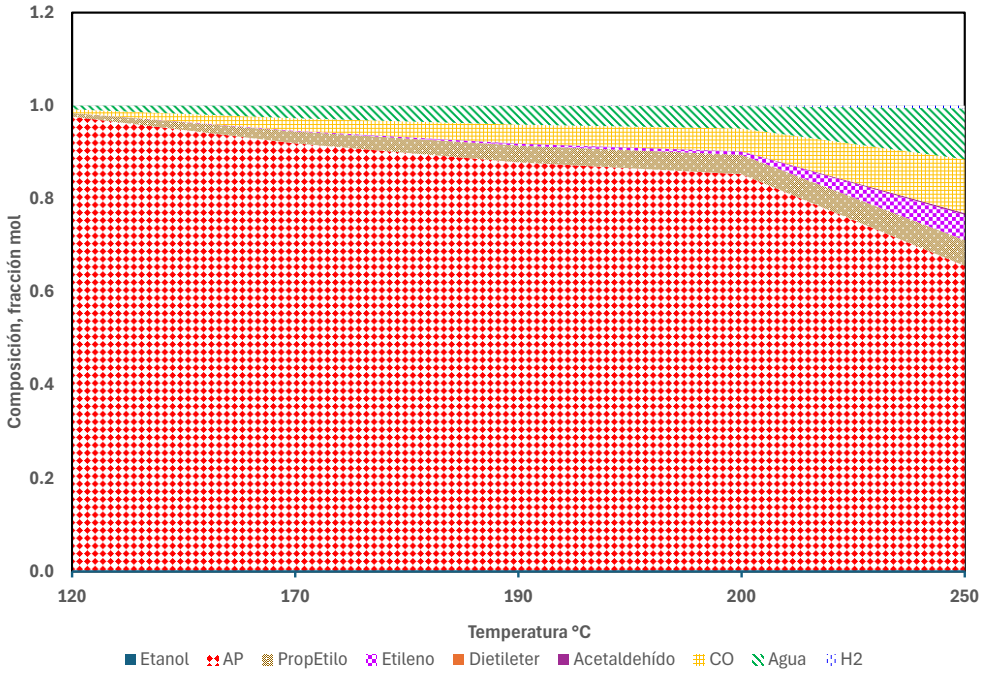


Figura 8 (b). Distribución de los reactivos y productos en el equilibrio, P = 5 bar

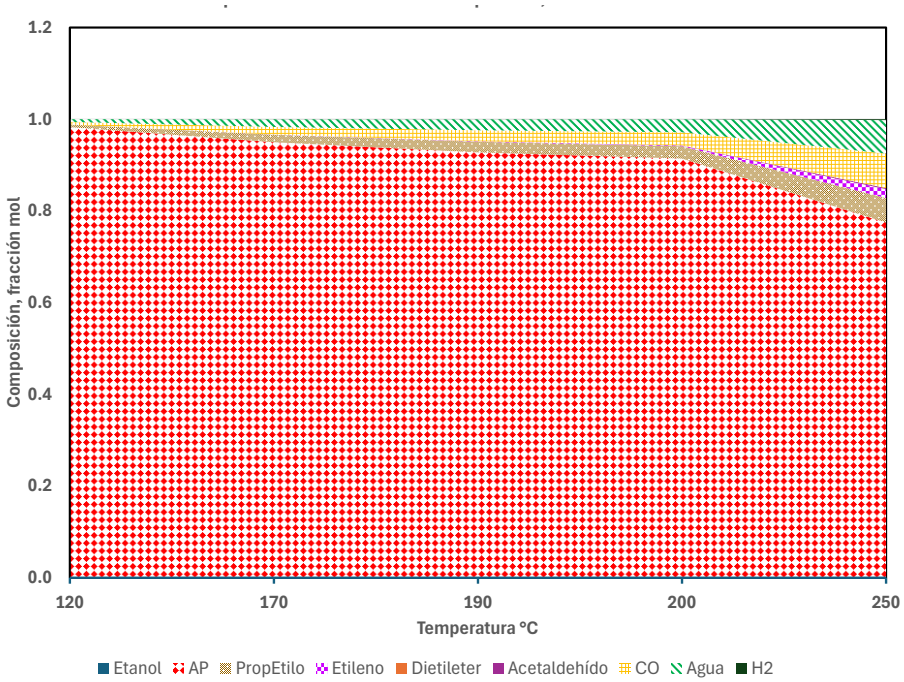


Figura 8 (c). Distribución de los reactivos y productos en el equilibrio, P = 30 bar

La conversión del etanol en todos los casos es cercana al 100 % tal como se puede aprecias en la Figura 9 (a), en tanto, la mejor selectividad del ácido propiónico se experimenta a bajas temperaturas y altas presiones como es evidenciado mediante la Figura 9 (b).

Al analizar los datos de equilibrio se concluye que las mejores condiciones de operación son las mencionadas previamente, y de acuerdo con ellas se obtiene teóricamente y bajo equilibrio químico que se produce 1.59 toneladas de ácido propiónica por cada tonelada de bioetanol procesado, ver Tabla 4.

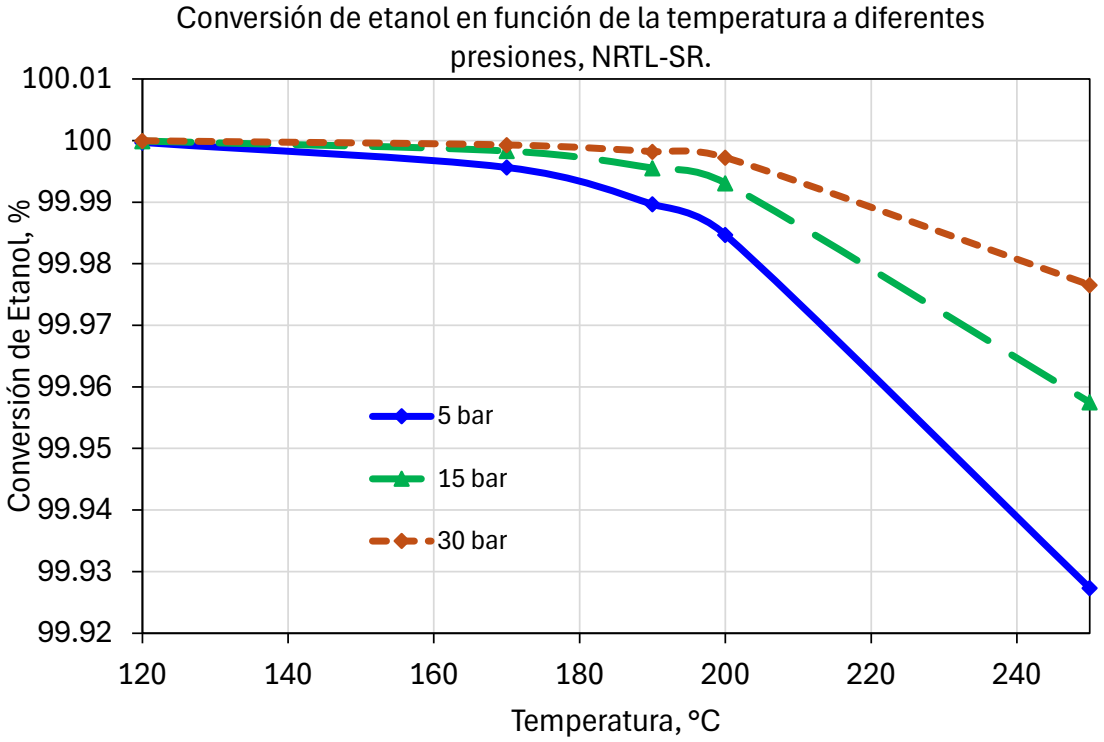


Figura 9 (a). Conversión de etanol en función de T y P.

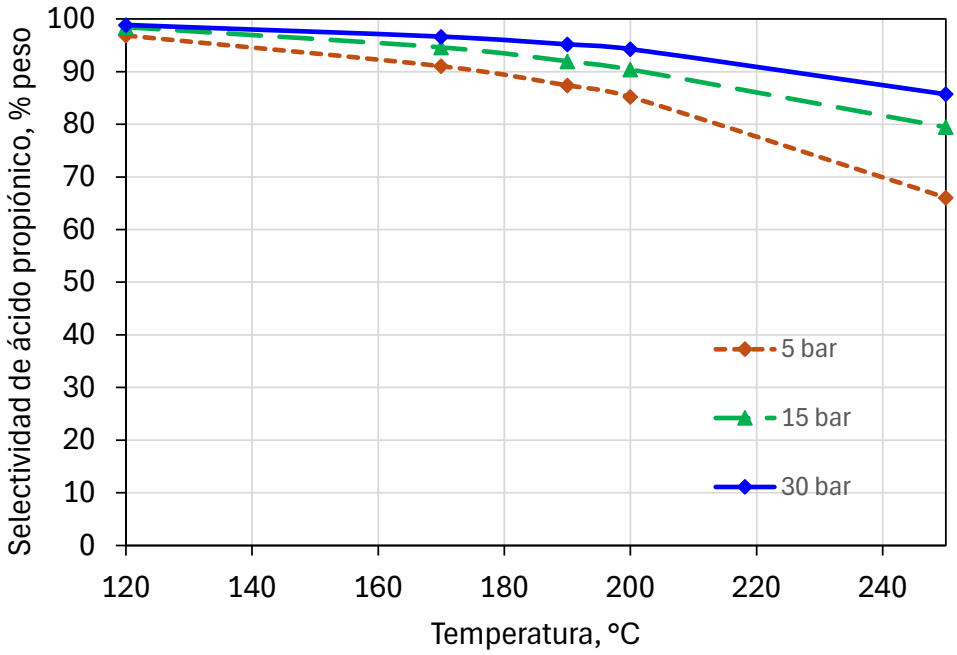


Figura 9 (b). Selectividad del ácido propiónico en función de T y P

Tabla 4. Factor para la producción de Ácido propiónico a partir de bioetanol

		Etanol	CO	Ac. Propiónico
T (°C)	P (bar)		kg/h	
120	30	23.03	14.01	36.61
Relación masa Ac. propiónico/Etanol =		1.5894	Tac. propiónico/Tetanol	

Como estimación económica, se mantiene el precio del etanol de 810 USD por tonelada utilizado en las rutas anteriores y se considera un precio de referencia del ácido propiónico de 735 USD por tonelada, reportado por IMARC para Estados Unidos en junio de 2026. Con una producción estimada de 1.59 toneladas de ácido propiónico por tonelada de etanol procesado, la venta del producto generaría un ingreso de 1168.65 USD frente a un costo del etanol de 810 USD, equivalente a un margen parcial positivo de 358.65 USD por tonelada de etanol. Bajo estas referencias, la relación entre el valor del producto y el costo del etanol es favorable; sin embargo, excluye el costo de energía, catalizadores, separación, purificación, transporte e inversión.

4. Conclusiones

El análisis prospectivo comprende seis aplicaciones del bioetanol: mezclas E10, ETBE, etileno, turbosina mediante la ruta ATJ, hidrógeno y ácido propiónico; los cálculos de equilibrio se limitan a las cuatro últimas. Dentro de los sistemas y condiciones estudiados, la formación de etileno se favorece a bajas presiones y temperaturas de 200–300 °C, la de hidrógeno a altas temperaturas y bajas presiones, y la de ácido propiónico a 120 °C y 30 bar.

Los factores de producción estimados bajo las condiciones de equilibrio seleccionadas para cada ruta son de 0.5771 toneladas de etileno, 0.4643 toneladas de hidrocarburos destinados a turbosina y 1.59 toneladas de ácido propiónico por tonelada de bioetanol. En este último caso, la masa del producto incluye la incorporación de CO como reactivo adicional. Estas estimaciones constituyen una base preliminar para dimensionar el aprovechamiento del bioetanol, el desempeño real depende de la cinética de reacción, la selectividad y estabilidad de los catalizadores y las etapas de separación. Por tanto, complementan la identificación de condiciones termodinámicamente favorables, sin sustituir la evaluación tecnológica, económica y ambiental necesaria para seleccionar una ruta o combinación de ellas.

El estudio del equilibrio químico de un sistema de reacción adecuadamente acotado permite identificar las condiciones de presión, temperatura y relación másica vapor de agua/etanol, entre otras variables, que favorecen la presencia del compuesto de interés. La composición calculada describe la distribución de los reactivos remanentes y los productos en el equilibrio, bajo las condiciones y para las especies consideradas.

La selección de una ruta de aprovechamiento del bioetanol, o de una combinación de ellas, requiere complementar los resultados de equilibrio y la revisión bibliográfica con evaluaciones específicas de la demanda y el precio de los productos finales en el mercado regional, la madurez tecnológica, los costos de operación (OPEX) y de inversión (CAPEX), las huellas de carbono e hídrica, la generación de desechos sólidos, el ciclo de vida y el grado de aplicación de la economía circular.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto Mexicano del Petróleo por su apoyo en la ejecución del trabajo. Asimismo, agradecen al Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos la invitación a participar en el evento.

Declaración de uso de inteligencia artificial (IA)

Los autores declaran que el uso de herramientas de inteligencia artificial (IA) se limitó a la asistencia en la edición del lenguaje y a mejorar la legibilidad del documento. El uso de IA no reemplaza ninguna contribución intelectual ni afecta la originalidad o integridad del trabajo.

Referencias

[1] K. Calvin *et al.*, “IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.,” Jul. 2023. doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.

[2] H. Zabed, J. N. Sahu, A. Suely, A. N. Boyce, and G. Faruq, “Bioethanol production from renewable sources: Current perspectives and technological progress,” 2017, *Elsevier Ltd*. doi: 10.1016/j.rser.2016.12.076.

[3] P. Iodice and M. Cardone, “Ethanol/gasoline blends as alternative fuel in last generation spark-ignition engines: A review on co and hc engine out emissions,” Jul. 01, 2021, *MDPI AG*. doi: 10.3390/en14134034.

[4] X. Feng, Y. Zhao, Y. Zhao, H. Wang, H. Liu, and Q. Zhang, “A mini review on recent progress of steam reforming of ethanol,” Aug. 10, 2023, *Royal Society of Chemistry*. doi: 10.1039/d3ra02769d.

[5] D. Fan, D. J. Dai, and H. S. Wu, “Ethylene formation by catalytic dehydration of ethanol with industrial considerations,” 2013. doi: 10.3390/ma6010101.

[6] S. Geleynse, K. Brandt, M. Garcia-Perez, M. Wolcott, and X. Zhang, “The Alcohol-to-Jet Conversion Pathway for Drop-In Biofuels: Techno-Economic Evaluation,” *ChemSusChem*, vol. 11, no. 21, pp. 3728–3741, Nov. 2018, doi: 10.1002/cssc.201801690.

[7] M. E. Bardin, A. M. T. A. El-DeinHussin, P. A. Gushchin, V. A. Vinokurov, and A. A. Burluka, “Technical Aspects of Ethyl Tert-Butyl Ether (ETBE) for Large-Scale Use as Gasoline Improver,” *Energy Technology*, vol. 2, no. 2, pp. 194–204, Feb. 2014, doi: 10.1002/ente.201300130.

[8] L. Xu, Y. Hu, M. A. Nawaz, X. Li, and D. Liu, “Kinetic study of carbonylation of ethanol to propionic acid using homogeneous rhodium complex catalyst in the presence of diphosphine ligand,” *Fuel Processing Technology*, vol. 213, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.fuproc.2020.106716.

[9] Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, “Biocombustibles derivados de la caña de azúcar.” Accessed: Oct. 16, 2026. [Online]. Available: https://www.gob.mx/agricultura/articulos/biocombustibles-derivados-de-la-cana-de-azucar?idiom=es

[10] Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, “Impulsa SAGARPA producción de biocombustibles en México.” Accessed: Oct. 16, 2026. [Online]. Available: https://www.gob.mx/agricultura/prensa/impulsa-sagarpa-produccion-de-biocombustibles-en-mexico?idiom=es

[11] “E10 en México: se necesitarán 84.000 barriles diarios de etanol y la oferta no alcanza.” Accessed: Oct. 16, 2026. [Online]. Available: https://www.onexpo.com.mx/NOTICIAS/E10-EN-MEXICO-SE-NECESITARAN-84000-BARRILES-DIARIO_4uRVU

[12] “Activa Sener permisos para producir, importar y vender biocombustibles en México.” Accessed: Oct. 16, 2026. [Online]. Available: https://www.onexpo.com.mx/NOTICIAS/SENER-ACTIVA-PERMISOS-PARA-PRODUCIR-IMPORTAR-Y-VEN_nVl1s/

[13] “Biomass_Energy_Data_Book_Edition_4”.

[14] Fuel Testers, “List E10 Engine Damage.” Accessed: Oct. 16, 2026. [Online]. Available: https://www.fuel-testers.com/list-e10-engine-damage/

[15] “ACUERDO por el que la Comisión Reguladora de Energía expide la Norma Oficial Mexicana NOM-016-CRE-2016, Especificaciones de calidad de los petrolíferos.”

[16] E. W. de Menezes and R. Cataluña, “Optimization of the ETBE (ethyl tert-butyl ether) production process,” *Fuel Processing Technology*, vol. 89, no. 11, pp. 1148–1152, Nov. 2008, doi: 10.1016/j.fuproc.2008.05.006.

[17] C. García Serpas, M. Samborskaya, and O. Mityanina, “Parametric Optimization of a Reactive Distillation Column for the Ethyl Tert-Butyl Ether Production,” *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, vol. 68, no. 1, pp. 116–123, Mar. 2024, doi: 10.3311/PPch.22137.

[18] K. F. Yee, A. R. Mohamed, and S. H. Tan, “A review on the evolution of ethyl tert-butyl ether (ETBE) and its future prospects,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 22, pp. 604–620, Jun. 2013, doi: 10.1016/j.rser.2013.02.016.

[19] A. Mohsenzadeh, A. Zamani, and M. J. Taherzadeh, “Bioethylene Production from Ethanol: A Review and Techno-economical Evaluation,” *ChemBioEng Reviews*, vol. 4, no. 2, pp. 75–91, Apr. 2017, doi: 10.1002/cben.201600025.

[20] D. Fan, D.-J. Dai, and H.-S. Wu, “Ethylene Formation by Catalytic Dehydration of Ethanol with Industrial Considerations,” *Materials*, vol. 6, no. 1, pp. 101–115, Dec. 2012, doi: 10.3390/ma6010101.

[21] L. Ouayloul, I. Agirrezabal-Telleria, P. Sebastien, and M. El Doukkali, “Trend and Progress in Catalysis for Ethylene Production from Bioethanol Using ZSM-5,” *ACS Catal.*, vol. 14, no. 23, pp. 17360–17397, Dec. 2024, doi: 10.1021/acscatal.4c04162.

[22] N. M. Eagan, M. D. Kumbhalkar, J. S. Buchanan, J. A. Dumesic, and G. W. Huber, “Chemistries and processes for the conversion of ethanol into middle-distillate fuels,” *Nat. Rev. Chem.*, vol. 3, no. 4, pp. 223–249, Mar. 2019, doi: 10.1038/s41570-019-0084-4.

[23] S. Xie, Z. Li, S. Luo, and W. Zhang, “Bioethanol to jet fuel: Current status, challenges, and perspectives,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 192, p. 114240, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.rser.2023.114240.

[24] Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), “SAF Conversion processes.” Accessed: Oct. 17, 2026. [Online]. Available: https://www.icao.int/SAF/saf-conversion-processes?utm_source=chatgpt.com

[25] M. Shao *et al.*, “Recent Advances in the Catalysts for Hydrogen Production via Ethanol Steam Reforming,” *ChemCatChem*, vol. 17, no. 7, Apr. 2025, doi: 10.1002/cctc.202401866.

[26] O. Jazani, M. Adejumo, M. A. Elharati, and S. Liguori, “Low-Carbon Hydrogen Production via Ethanol Reforming Reactions in Membrane Reactors: Recent Advances and Future Directions,” *Energy & Fuels*, vol. 38, no. 21, pp. 19992–20014, Nov. 2024, doi: 10.1021/acs.energyfuels.4c02755.

[27] W.-H. Chen, P. P. Biswas, A. K. Sharma, B. Y. Lamba, and J.-S. Chang, “A review of life cycle assessment and techno-economic analysis of methanol and ethanol reforming for hydrogen production to achieve carbon credit and combat global warming,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 138, pp. 705–722, Jun. 2025, doi: 10.1016/j.ijhydene.2025.05.213.

[28] L. Xu, K. Zhang, M. A. Nawaz, and D. Liu, “Kinetic study of carbonylation of ethanol using homogeneous Rh complex catalyst,” *Can. J. Chem. Eng.*, vol. 99, no. 5, pp. 1137–1145, May 2021, doi: 10.1002/cjce.23900.

[29] S. Yacob, B. A. Kilos, D. G. Barton, and J. M. Notestein, “Vapor phase ethanol carbonylation over Rh supported on zeolite 13X,” *Appl. Catal. A Gen.*, vol. 520, pp. 122–131, Jun. 2016, doi: 10.1016/j.apcata.2016.04.006.

[30] J. H. Teles, “Sustainable Production of Propionic acid and Derivatives on Industrial Scale,” *ChemSusChem*, vol. 17, no. 9, May 2024, doi: 10.1002/cssc.202301666.

[31] A. M. De Lima, A. J. De Assis, C. E. Hori, M. H. E. Reis, and A. E. H. Machado, “Thermodynamic Analysis of Ethanol Dehydration to Ethylene through Equilibrium Constant Method Using Classic Thermodynamics and Quantum Chemistry,” *International Review of Chemical Engineering (I.RE.CH.E.)*, vol. 4, no. 5, 2012, [Online]. Available: www.scilab.org

[32] Y. "Zhu, Z. "Jin, and W. [SINOPEC S. R. I. of P. T. “Shen Shanghai (China)],” “Catalytic dehydration of ethanol to ethylene,” Germany, 2011. doi: https://doi.org/.

[33] R. Enock, O. Emmanuel, and N. Crispuss, “Modelling and Optimization of the Production Process of Ethylene from Bio-ethanol Using Aspen Plus,” *International Journal of Sustainable and Green Energy*, vol. 14, no. 3, pp. 149–159, Jul. 2025, doi: 10.11648/j.ijsge.20251403.12.

[34] A. G. Romero-Izquierdo, F. I. Gómez-Castro, C. Gutiérrez-Antonio, S. Hernández, and M. Errico, “Intensification of the alcohol-to-jet process to produce renewable aviation fuel,” *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, vol. 160, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.cep.2020.108270.

[35] F. Dalena *et al.*, “Steam Reforming of Bioethanol Using Metallic Catalysts on Zeolitic Supports: An Overview,” Jun. 01, 2022, *MDPI*. doi: 10.3390/catal12060617.

[36] W.-H. Chen, P. P. Biswas, H. C. Ong, A. T. Hoang, T.-B. Nguyen, and C.-D. Dong, “A critical and systematic review of sustainable hydrogen production from ethanol/bioethanol: Steam reforming, partial oxidation, and autothermal reforming,” *Fuel*, vol. 333, p. 126526, Feb. 2023, doi: 10.1016/j.fuel.2022.126526.

[37] J. D. Arévalo, Á. Martinez Hernández, J. C. Vargas, and L. F. Córdoba, “Hydrogen Production and Purification by Bioethanol Steam Reforming and Preferential Oxidation of CO,” *TECCIENCIA*, vol. 13, no. 25, pp. 55–64, 2018, doi: 10.18180/tecciencia.2018.25.7.

[38] Y. Hu, J. Pan, M. A. Nawaz, X. Li, and D. Liu, “Kinetic study on the carbonylation of ethanol to propionic acid using homogeneous Rh complex catalyst at low water content,” *Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis*, vol. 129, no. 1, pp. 235–251, Feb. 2020, doi: 10.1007/s11144-019-01692-9.

[39]. CN113402374A, Reaction system for preparing propionic acid by ethanol liquid-phase carbonyl synthesis.

LA INGENIERÍA EN LAS GRANDES OBRAS DE LA LITERATURA UNIVERSAL: EL PRINCIPITO Y LA FORMACIÓN HUMANISTA DEL INGENIERO

MI. Álvaro Sampedro y Garibay
Consultor Tecnológico,
Consultoría Mexicana de Ingenieros Químicos (CMIQ)

RESUMEN

La formación del ingeniero se ha sustentado tradicionalmente en ciencias, matemáticas, tecnología, diseño y resolución de problemas. Sin embargo, el ejercicio contemporáneo de la ingeniería exige además capacidades que difícilmente pueden desarrollarse únicamente mediante conocimientos técnicos: curiosidad, imaginación, pensamiento crítico, capacidad de formular preguntas, visión sistémica, responsabilidad, ética, liderazgo, empatía, servicio y conciencia de las consecuencias de las decisiones profesionales. El presente artículo propone una aproximación complementaria a la formación ingenieril mediante el análisis de grandes obras de la literatura universal, iniciando con El Principito, de Antoine de Saint-Exupéry. No se pretende realizar una interpretación literaria convencional, sino utilizar situaciones, símbolos y enseñanzas del relato como detonadores para reflexionar sobre competencias y valores esenciales del ejercicio de la ingeniería. A partir de conceptos como el asombro, la curiosidad, la capacidad de mirar más allá de lo evidente, la responsabilidad sobre aquello que se crea, la escucha profunda, el pensamiento sistémico, la innovación con propósito, la ética, el liderazgo y el servicio, se establece un paralelismo entre el recorrido del Principito y el desarrollo integral del ingeniero. La propuesta parte de una convicción: la excelencia técnica es indispensable, pero no suficiente. La ingeniería alcanza su verdadera dimensión cuando el conocimiento científico y tecnológico se acompaña de propósito, responsabilidad y conciencia humana, y cuando sus resultados se traducen en mejores condiciones de vida para las personas y la sociedad.

Palabras clave: Ingeniería; literatura; formación integral; El Principito; ética; innovación; liderazgo; pensamiento sistémico; responsabilidad; humanismo.

1. INTRODUCCIÓN

¿Qué puede aprender un ingeniero de una obra literaria escrita hace más de ocho décadas? A primera vista, la ingeniería y la literatura podrían parecer disciplinas alejadas. La primera transforma materia, energía, información y recursos mediante la aplicación sistemática del conocimiento científico y tecnológico; la segunda explora al ser humano, sus decisiones, aspiraciones, contradicciones, relaciones y formas de comprender el mundo. Sin embargo, ambas comparten un territorio esencial: intentan comprender la realidad y, de diferentes maneras, transformarla.

El ingeniero observa, pregunta, modela, interpreta, diseña, decide y actúa. Detrás de cada una de esas acciones existe una persona y, detrás de cada proyecto, existen otras personas que recibirán sus beneficios, asumirán sus riesgos o vivirán con sus consecuencias. Por ello, formar mejores ingenieros no significa únicamente transmitir más conocimiento técnico. Significa también desarrollar mejores capacidades para observar, preguntar, comprender, anticipar, decidir, crear, colaborar, servir y asumir responsabilidad por lo creado.

De esta reflexión surge la colección La Ingeniería en las Grandes Obras de la Literatura Universal, concebida como un puente entre la formación técnica y la formación humana. Su lema, Scientia · Humanitas · Ingenium, resume la intención: la ciencia proporciona conocimiento; el humanismo proporciona sentido; el ingenio convierte ambos en acción transformadora. La colección está dirigida a la comunidad científica, ingenieros de todas las disciplinas, investigadores, innovadores, docentes y estudiantes que conservan viva la capacidad de asombro.

La primera obra seleccionada fue El Principito, de Antoine de Saint-Exupéry. La elección no fue accidental. En la propuesta desarrollada para el IMIQ, el personaje no simboliza simplemente la infancia: representa la libertad intelectual, la capacidad de formular preguntas, la curiosidad que sobrevive a la experiencia y la disposición para aprender durante toda la vida. En ingeniería, conservar algo del Principito significa impedir que la rutina sustituya a la imaginación y que la experiencia se convierta en una barrera para volver a preguntar.

La presentación de este trabajo ante la comunidad del Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos generó una recepción particularmente favorable y confirmó la pertinencia de abrir un espacio de reflexión profesional en el que la literatura no compita con las ciencias de la ingeniería, sino que ayude a iluminar sus propósitos, responsabilidades y consecuencias humanas. El artículo que sigue sistematiza ese planteamiento en forma de una propuesta formativa y editorial susceptible de extenderse a otras grandes obras de la literatura universal.



Figura 1. El Principito y la ingeniería del propósito: punto de partida de la colección La Ingeniería en las Grandes Obras de la Literatura Universal. Fuente: elaboración del autor a partir de la presentación ante el IMIQ.

2. EL PRINCIPITO COMO METÁFORA DEL INGENIERO QUE PREGUNTA

El rasgo más fértil del Principito para la formación del ingeniero es su insistencia en preguntar. El personaje no acepta automáticamente lo que observa, ni concede a la costumbre la autoridad de lo verdadero. Quiere comprender. Pregunta incluso cuando sus interlocutores consideran que la pregunta es ingenua, improcedente o incómoda. Esa disposición intelectual posee una extraordinaria equivalencia profesional.

El ingeniero que deja de preguntar comienza lentamente a depender de supuestos, hábitos, procedimientos heredados y paradigmas que tal vez

dejaron de ser válidos. La experiencia es indispensable, pero puede convertirse en una limitación cuando se confunde con certeza absoluta. En cambio, la pregunta obliga a revisar la relación entre causa y efecto, a verificar datos, a reconocer incertidumbre y a descubrir oportunidades de mejora que la familiaridad había vuelto invisibles.

La innovación suele comenzar con preguntas elementales: ¿por qué ocurre esto?, ¿por qué lo hacemos así?, ¿qué variable no estamos observando?, ¿qué pasaría si cambiáramos el enfoque?, ¿existe una solución más simple?, ¿qué necesidad real tratamos de satisfacer?, ¿para quién estamos diseñando y para qué? En estas preguntas convergen la curiosidad científica, el pensamiento crítico y la responsabilidad profesional.

La secuencia conceptual que articula la presentación puede expresarse como Asombro → Curiosidad → Aprendizaje → Conocimiento → Responsabilidad → Servicio. El asombro rompe la indiferencia; la curiosidad convierte el asombro en búsqueda; el aprendizaje organiza esa búsqueda; el conocimiento amplía la capacidad de intervenir; la capacidad genera responsabilidad, y la responsabilidad adquiere sentido cuando se orienta al servicio. En esta cadena, la formación técnica no desaparece: ocupa el lugar central que le corresponde, pero queda conectada con un origen y un destino humanos.

La educación del ingeniero podría beneficiarse de preservar deliberadamente esta secuencia. El estudiante comienza preguntando; el profesional joven aprende a responder; el experto corre el riesgo de olvidar cómo preguntar. Recuperar la pregunta no significa renunciar al rigor: significa renovar continuamente la fuente del rigor. La ingeniería madura no es la que posee todas las respuestas, sino la que sabe formular las preguntas que evitan respuestas prematuras.

3. VER MÁS ALLÁ DE LO VISIBLE: DE LA APARIENCIA AL MODELO

Una de las competencias fundamentales de la ingeniería consiste en descubrir aquello que todavía no resulta evidente. Un proceso aparentemente estable puede contener precursores de inestabilidad. Un equipo aparentemente sano puede estar desarrollando mecanismos incipientes de deterioro. Un conjunto de datos que parece normal puede ocultar una tendencia. Una necesidad expresada por un cliente puede ser solamente la manifestación superficial de un problema diferente.

En ese sentido, la conocida invitación de El Principito a mirar más allá de las apariencias adquiere una lectura profundamente ingenieril. Los modelos, balances, simulaciones, hipótesis, correlaciones, análisis de tendencias, diagramas de causa y efecto y pruebas experimentales son instrumentos creados precisamente para hacer visible aquello que no puede observarse de manera directa. La ingeniería comienza donde la percepción inmediata deja de ser suficiente.

El dibujo de la caja que contiene al cordero ofrece una metáfora especialmente fértil. La caja no muestra el objeto; lo representa indirectamente y exige imaginación para completar el significado. Algo semejante ocurre con un modelo de proceso. Ningún modelo es la realidad completa. Es una representación intencional que selecciona variables y relaciones para comprender, predecir o diseñar. Su valor depende tanto de lo que incorpora como de la conciencia de lo que deja fuera.

Esta observación tiene implicaciones prácticas. El ingeniero competente identifica lo que existe; el gran ingeniero intenta comprender lo que significa, lo que podría suceder y lo que todavía podría existir. La diferencia entre ambos no es solamente conocimiento adicional, sino una manera distinta de mirar. De ahí una secuencia complementaria: Observar → Interpretar → Comprender → Anticipar → Actuar.

La capacidad de anticipación es particularmente importante en sistemas complejos. Las fallas graves rara vez aparecen sin precursores. Cambios pequeños en temperatura, vibración, composición, presión, tiempos de respuesta, consumo energético o comportamiento organizacional pueden ser señales tempranas. Ver más allá de lo visible significa aprender a reconocer relaciones, tendencias y consecuencias antes de que se conviertan en hechos irreversibles.



Figura 2. Ver más allá de lo visible: la caja del Principito como metáfora de modelos, hipótesis y abstracciones que permiten al ingeniero interpretar lo que la evidencia inmediata no muestra. Fuente: elaboración del autor.

4. RESPONSABILIDAD Y COMPROMISO: HACERNOS CARGO DE LO QUE CREAMOS

Probablemente uno de los paralelismos más profundos entre El Principito y la ingeniería se encuentra en el concepto de responsabilidad. La relación del personaje con su rosa introduce una idea sencilla y exigente: aquello a lo que dedicamos tiempo, cuidado y conocimiento adquiere para nosotros una responsabilidad. Trasladada a la profesión, esa idea recuerda que cada decisión de ingeniería produce consecuencias.

Diseñar una planta, seleccionar una tecnología, especificar un material, establecer una condición de operación, modificar un proceso, elegir una protección de seguridad o autorizar una puesta en marcha son decisiones cuyos efectos pueden extenderse durante años o décadas. La responsabilidad del ingeniero, por tanto, no termina cuando algo funciona. Debe preguntarse también si es seguro, confiable, mantenible, eficiente y sustentable; qué recursos consume; qué emisiones y residuos produce; qué consecuencias tendrá para las personas y el entorno; y qué ocurrirá al final de su vida útil.

Esta visión amplía la tradicional definición de éxito. Cumplir capacidad, costo y calendario es necesario, pero no suficiente. Un proyecto puede alcanzar sus indicadores financieros y, al mismo tiempo, transferir costos ambientales o riesgos operativos a terceros. Puede cumplir especificaciones iniciales y generar problemas de mantenibilidad durante toda su vida. Puede resolver una necesidad inmediata y crear una vulnerabilidad futura. La responsabilidad profesional exige observar el ciclo completo.

De aquí deriva una formulación central de la colección: no basta con construir bien; debemos hacernos cargo de lo que construimos. La excelencia se mide también por lo que ocurre cuando el diseñador ya no está presente. En ingeniería de procesos, esta idea conduce naturalmente a considerar seguridad desde el diseño, facilidad de operación, mantenimiento, confiabilidad, eficiencia energética, emisiones, gestión de residuos, posibilidad de desmantelamiento y conservación de la memoria tecnológica.

Responsabilidad significa además reconocer que la ingeniería opera dentro de sistemas sociales. Una especificación técnica puede modificar condiciones de trabajo; una decisión de localización puede afectar comunidades; una selección tecnológica puede crear dependencia o desarrollar capacidades; una mejora de eficiencia puede liberar recursos para otros fines. La técnica no es neutral respecto de sus consecuencias. Por ello, el criterio profesional necesita incorporar los impactos sociales, ambientales y humanos de cada decisión.



Figura 3. Responsabilidad y compromiso: toda creación técnica implica consecuencias que rebasan el momento del diseño. Fuente: elaboración del autor a partir de El Principito.

5. INNOVAR CON PROPÓSITO Y APORTAR VALOR

No toda novedad constituye innovación. Una solución técnicamente brillante que no resuelve una necesidad real, que consume innecesariamente recursos o que genera consecuencias superiores a los beneficios obtenidos puede ser una demostración de ingenio, pero difícilmente constituye buena ingeniería. La innovación necesita dirección.

La pregunta fundamental deja entonces de ser solamente ¿podemos hacerlo? y se amplía: ¿debemos hacerlo?, ¿para qué?, ¿para quién?, ¿con qué recursos?, ¿con qué riesgos?, ¿con qué efectos durante el ciclo de vida? Estas preguntas no reducen la creatividad; la disciplinan y la orientan hacia valor significativo.

El propósito cumple la función de una brújula. Permite distinguir entre optimizar una variable y mejorar realmente un sistema. Una reducción de costo que incrementa el riesgo de operación no necesariamente crea valor. Un aumento de capacidad que deteriora la confiabilidad puede desplazar problemas hacia el futuro. Una tecnología más sofisticada que la organización no puede mantener puede ser inferior a una alternativa más sencilla y robusta. Innovar con propósito significa integrar necesidad, factibilidad, beneficio, sostenibilidad y capacidad de ejecución.

En El Principito, el cuidado cotidiano de la rosa convierte algo común en algo único por el significado de la relación. En ingeniería, el valor también surge del contexto y de la finalidad. Una solución no vale únicamente por sus características intrínsecas, sino por la manera en que responde a una necesidad concreta y produce beneficios duraderos. La técnica adquiere significado cuando mejora la vida de las personas y conserva la capacidad del sistema para seguir creando valor.

Esta perspectiva resulta especialmente pertinente en una época en la que la innovación suele asociarse casi automáticamente con digitalización, inteligencia artificial, nuevos materiales o automatización. Todas estas herramientas pueden ser extraordinarias, pero el criterio sigue siendo anterior a la herramienta: qué problema resolvemos, qué valor creamos, qué riesgos introducimos y qué capacidades humanas fortalecemos o debilitamos.

6. PENSAMIENTO SISTÉMICO: NADA EXISTE AISLADO

Los problemas actuales de ingeniería rara vez pertenecen exclusivamente a una sola disciplina. Energía, agua, materias primas, emisiones, economía, tecnología, seguridad, comunidades, regulación y medio ambiente interactúan continuamente. Optimizar aisladamente una parte puede deteriorar el desempeño del conjunto. De ahí que una de las grandes competencias del ingeniero contemporáneo sea aprender a mirar simultáneamente el árbol y el bosque.

La literatura desarrolla de manera natural una sensibilidad hacia las relaciones. Comprender un personaje implica comprender su contexto, motivaciones, vínculos y consecuencias. Comprender un sistema de ingeniería requiere una capacidad intelectual comparable: identificar componentes sin perder las interdependencias que producen el comportamiento global.

El Principito viaja entre planetas y descubre que cada encuentro tiene sentido en relación con los demás. La presentación utiliza esa arquitectura narrativa para representar al ingeniero frente a un

universo de variables: clima, agua, flora, sociedad, tecnología, economía, valores y recursos naturales. Ninguna de ellas puede evaluarse de forma completamente independiente cuando se diseña una solución que deberá funcionar en el mundo real.

El pensamiento sistémico ayuda a evitar dos errores frecuentes. El primero es la optimización local: mejorar una parte mientras se deteriora el todo. El segundo es la causalidad simple: atribuir un resultado complejo a una sola causa cuando en realidad emerge de múltiples interacciones y retroalimentaciones. En ambos casos, la solución exige comprender conexiones antes de intervenir.

Para el ingeniero químico esta visión es familiar. Los balances de materia y energía enseñan desde los primeros años que nada ocurre aisladamente: lo que entra, se acumula, se transforma o sale; la modificación de una corriente repercute en otras; una decisión térmica puede modificar equilibrio, cinética, separación, consumo energético y seguridad. El pensamiento sistémico amplía ese mismo principio desde el equipo y el proceso hacia la organización, el ambiente y la sociedad.

Una consecuencia profesional particularmente importante es que ninguna decisión significativa termina donde fue tomada. Sus efectos se propagan. Diseñar con visión de conjunto significa anticipar esas propagaciones, identificar actores y variables afectados, y construir soluciones capaces de permanecer robustas cuando el sistema cambie.



Figura 4. Pensamiento sistémico y visión de conjunto: tecnología, sociedad, economía, ambiente, recursos y valores forman un sistema interdependiente. Fuente: elaboración del autor.

7. ESCUCHAR ANTES DE RESOLVER

La formación técnica desarrolla extraordinariamente nuestra capacidad para encontrar soluciones. Sin embargo, existe una pregunta anterior que con frecuencia determina el éxito o fracaso de todo lo demás: ¿comprendimos correctamente el problema? Resolver con precisión el problema equivocado sigue siendo un fracaso.

Escuchar no significa únicamente recibir información. Significa identificar necesidades, restricciones, preocupaciones, experiencia tácita y perspectivas que quizá no aparecen en especificaciones, diagramas o bases de diseño. El operador experimentado, el técnico de mantenimiento, el usuario, el cliente, la comunidad y el joven ingeniero pueden observar aspectos diferentes de un mismo problema. Integrar esas miradas constituye una competencia técnica y humana.

El encuentro del aviador con el Principito comienza con una petición inesperada: dibujar un cordero. El valor formativo de la escena no está en la literalidad de la petición, sino en la necesidad de comprender lo que el otro realmente busca. La primera respuesta puede ser técnicamente correcta y, sin embargo, no responder a la necesidad. El diálogo permite refinar la comprensión hasta encontrar una representación aceptable.

En proyectos industriales ocurre algo semejante. La especificación inicial de un cliente puede describir una solución en lugar de la necesidad. Un problema de capacidad puede ser en realidad un problema de disponibilidad; un supuesto problema de equipo puede ser un problema de operación; una queja de calidad puede originarse en la variabilidad de materia prima. Escuchar profundamente permite separar síntoma, causa y necesidad.

Por ello, la secuencia Escuchar → Comprender → Conectar → Transformar debería formar parte explícita

de la práctica ingenieril. La ingeniería comienza a equivocarse cuando se enamora demasiado pronto de una solución antes de comprender suficientemente el problema. Preguntar y escuchar no retrasan la solución; reducen el costo de resolver incorrectamente.

8. ÉTICA Y HUMILDAD ANTE LA COMPLEJIDAD

El conocimiento técnico confiere capacidad. Pero toda capacidad necesita orientación ética. La historia de la tecnología demuestra que saber hacer algo no constituye, por sí mismo, razón suficiente para hacerlo. El ingeniero enfrenta decisiones donde seguridad, costo, desempeño, ambiente, presión de calendario y expectativas organizacionales pueden entrar en tensión. La ética proporciona criterios para no reducir esas decisiones a una sola variable.

La humildad intelectual es inseparable de esta responsabilidad. Los modelos tienen límites; los datos contienen incertidumbre; la experiencia puede no ser transferible a condiciones nuevas; el conocimiento individual siempre es incompleto. Reconocer esos límites no debilita al ingeniero: lo vuelve más confiable. Decir 'no lo sé' puede ser una de las expresiones profesionalmente más responsables cuando va seguida de 'pero voy a investigarlo, verificarlo o buscar a quien sí lo sepa'.

El Principito encuentra personajes que confunden autoridad, posesión, apariencia o conocimiento parcial con grandeza. El contraste invita a revisar una tentación profesional semejante: confundir dominio técnico con infalibilidad. Cuanto más complejo es el sistema, mayor debe ser la disposición a escuchar otras disciplinas, revisar supuestos y aprender de la evidencia.

La ética y la humildad se encuentran precisamente en la capacidad de detener una decisión cuando la información es insuficiente, de reconocer un error antes de defenderlo, de reportar una condición insegura aunque resulte incómoda y de anteponer la integridad de las personas y del sistema a la conveniencia momentánea. No son adornos humanistas de la profesión; son mecanismos esenciales de confiabilidad.

En esta perspectiva, la excelencia profesional puede expresarse como una combinación: conocimiento + valores + humildad + servicio. El conocimiento sin valores puede aumentar la capacidad de causar daño; los valores sin conocimiento pueden producir buenas intenciones sin eficacia; la humildad permite seguir aprendiendo; el servicio orienta el conjunto hacia un propósito superior.



Figura 5. Transformar para dejar legado: la excelencia profesional trasciende la obra cuando genera beneficios, aprendizaje y capacidad para las siguientes generaciones. Fuente: elaboración del autor.

9. LIDERAZGO, PRESENCIA Y SERVICIO

Los grandes proyectos necesitan técnica, pero sobreviven gracias a personas capaces de coordinar conocimientos diversos, construir confianza, resolver conflictos, aprender de los errores y mantener un propósito común. El liderazgo del ingeniero no puede limitarse a autoridad formal ni a capacidad de decisión. Debe incluir presencia, escucha, coherencia y servicio.

El liderazgo que inspira no busca solamente seguidores; desarrolla capacidades en otros. Un responsable técnico que documenta criterios, explica fundamentos, permite preguntas y forma sucesores deja una organización más fuerte que aquella que depende exclusivamente de su experiencia personal. En términos de ingeniería, esto equivale a transformar conocimiento individual en capacidad instalada.

La confianza también tiene una dimensión operativa. En una cultura donde las personas pueden expresar dudas, reportar anomalías y cuestionar

supuestos sin temor, la organización recibe información temprana. En una cultura donde se castiga al mensajero, las señales débiles desaparecen hasta convertirse en problemas mayores. Escuchar y generar confianza no son entonces habilidades blandas en sentido peyorativo; son condiciones para la calidad de las decisiones técnicas.

El servicio completa esta visión. Liderar con servicio significa recordar que la autoridad existe para posibilitar el trabajo responsable de otros y para proteger el propósito del proyecto. Significa retirar obstáculos, facilitar recursos, clarificar prioridades, reconocer contribuciones y asumir la responsabilidad cuando algo falla. El ingeniero líder no se coloca por encima del sistema: se hace responsable de que el sistema funcione y aprenda.

Esta idea conecta con uno de los mensajes permanentes de la colección: la ingeniería alcanza su máxima grandeza cuando se pone al servicio de las personas. El servicio no reduce la ambición técnica; le da dirección. Permite que excelencia, innovación y liderazgo sean medios para construir confianza, bienestar, seguridad y futuro.

10. LA ESTRELLA DEL PRINCIPITO: UNA BRÚJULA PROFESIONAL

Como símbolo permanente de la colección se propuso la Estrella del Principito. No representa un lugar del universo. Representa un punto de referencia interior que el ingeniero necesita conservar durante su vida profesional. Cada estrella recuerda que el conocimiento, por poderoso que sea, requiere orientación.

La estrella reúne seis conceptos: curiosidad, propósito, responsabilidad, imaginación, aprendizaje permanente y servicio. La curiosidad impulsa la investigación; el propósito responde por qué y para quién se actúa; la responsabilidad obliga a considerar consecuencias; la imaginación permite visualizar alternativas; el aprendizaje permanente impide que la experiencia se fosilice; y el servicio convierte el conocimiento en beneficio para otros.

Estos seis elementos forman una brújula sencilla para decisiones complejas. Ante un nuevo proyecto, la curiosidad pregunta qué no comprendemos todavía. El propósito pregunta qué necesidad real vamos a resolver. La responsabilidad pregunta quién recibirá las consecuencias. La imaginación pregunta qué alternativas no hemos considerado. El aprendizaje pregunta qué sabemos y qué debemos aprender. El servicio pregunta si el resultado mejora realmente la vida de las personas y la capacidad del sistema para sostenerla.

La estrella posee además una función pedagógica. Las competencias profesionales suelen presentarse como listas independientes; el símbolo ayuda a integrarlas en una narrativa memorable. El estudiante puede recordar que la curiosidad sin responsabilidad es incompleta, que la imaginación sin propósito puede dispersarse y que el conocimiento sin servicio pierde su orientación humana.

El recorrido completo puede sintetizarse entonces mediante otra cadena: Conocer → Comprender → Crear → Responsabilizarse → Servir → Trascender. La trascendencia no se entiende aquí como reconocimiento personal, sino como la capacidad de dejar sistemas mejores, conocimiento documentado, personas desarrolladas y decisiones cuyos beneficios perduran después de la intervención del ingeniero.

11. UNA PROPUESTA PARA LA FORMACIÓN INTEGRAL DEL INGENIERO

Incorporar grandes obras literarias a la reflexión profesional no pretende sustituir una sola hora de termodinámica, fenómenos de transporte, cinética, diseño de procesos, control, seguridad o economía de proyectos. Pretende complementar esa formación, ofreciendo un espacio donde el estudiante y el profesional puedan examinar el significado, las consecuencias y el propósito de su práctica.

Podemos formar ingenieros extraordinariamente capaces de calcular y, simultáneamente, insuficientemente preparados para preguntar, escuchar, cuestionar, comunicar, liderar o comprender las consecuencias humanas de sus decisiones. La ingeniería del siglo XXI necesita ambas dimensiones: rigor técnico y profundidad humana. No son competencias rivales. Se potencian mutuamente.

La literatura resulta especialmente útil porque no presenta los problemas como ejercicios con datos suficientes y una respuesta única. Presenta ambigüedad, conflicto de valores, información incompleta, perspectivas distintas y consecuencias inesperadas. Es precisamente en ese territorio donde se toman muchas de las decisiones profesionales más relevantes. Un caso literario puede funcionar, por tanto, como simulador de juicio y conversación.

La propuesta educativa no exige convertir al ingeniero en crítico literario. Basta con utilizar una obra como detonador y formular preguntas profesionales: ¿qué principio de ingeniería aparece aquí?, ¿qué decisión distinta habría tomado?, ¿qué riesgo no se observó?, ¿qué relación entre personas modifica el resultado?, ¿qué valor está en tensión?, ¿qué analogía puede establecerse con un proyecto real? La discusión transforma la lectura en aprendizaje aplicado.

Para instituciones profesionales como el IMIQ, esta aproximación ofrece además un espacio intergeneracional. Un ingeniero con décadas de experiencia y un estudiante pueden leer la misma escena y aportar interpretaciones distintas. El primero ofrece memoria y contexto; el segundo ofrece preguntas y perspectivas nuevas. La conversación entre ambos convierte experiencia y curiosidad en conocimiento compartido.

La colección La Ingeniería en las Grandes Obras de la Literatura Universal se concibe precisamente con esa vocación. El Principito constituye el primer volumen porque coloca en el origen la pregunta y el asombro. Otras obras permiten explorar liderazgo, ejecución, innovación, responsabilidad tecnológica, exploración científica, adaptación, autosuficiencia y perspectiva. El hilo conductor es siempre el mismo: emplear el patrimonio cultural universal como espejo para examinar qué clase de ingenieros queremos formar y qué clase de sociedad queremos ayudar a construir.

12. DE LA PRESENTACIÓN AL ARTÍCULO: APRENDIZAJE DE UNA EXPERIENCIA IMIQ

La experiencia de presentar este trabajo ante colegas del Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos permitió comprobar que existe interés por espacios que vinculen la ingeniería con dimensiones que habitualmente quedan fuera de los programas técnicos. La respuesta favorable no provino de reducir la exigencia profesional, sino de hacer visible que ética, curiosidad, responsabilidad, liderazgo, comunicación y servicio están presentes en la práctica cotidiana de cualquier ingeniero.

La estructura visual de la presentación contribuyó a ese resultado. Cada tema combinó una escena o símbolo de El Principito con un principio de ingeniería, una lección humanista, una reflexión y una frase para recordar. Esta arquitectura permitió pasar de la literatura a la profesión sin perder el hilo narrativo. Para el formato de artículo, esa misma estructura se transforma en argumentos, ejemplos y figuras seleccionadas, conservando el principio pedagógico de relacionar imagen, concepto y aplicación.

Otro aprendizaje relevante fue la importancia de mantener la ingeniería en el centro. El objetivo no es demostrar que una obra literaria 'contiene' conceptos técnicos que el autor nunca pretendió formular. Se trata de establecer analogías explícitamente contemporáneas, útiles para provocar reflexión profesional. Esta distinción evita interpretaciones forzadas y permite respetar simultáneamente a la obra literaria y a la disciplina ingenieril.

La experiencia sugiere finalmente que la formación continua puede enriquecerse mediante formatos

híbridos: conferencias, artículos, talleres de discusión, seminarios con estudiantes y conversaciones entre generaciones. El material literario ofrece un lenguaje común para introducir preguntas difíciles sin comenzar por una norma, un procedimiento o una ecuación. Después, la conversación puede regresar al terreno técnico con una comprensión más amplia del problema.

13. CONCLUSIONES

Las grandes obras de la literatura universal contienen experiencias humanas que pueden convertirse en instrumentos complementarios para la formación y reflexión profesional del ingeniero. El Principito constituye un punto de partida especialmente fértil porque permite recuperar algo que la especialización y la rutina pueden erosionar progresivamente: la capacidad de asombro.

De ese asombro nace la pregunta; de la pregunta, la curiosidad; de la curiosidad, el aprendizaje; del aprendizaje, el conocimiento; del conocimiento, la responsabilidad; y de la responsabilidad, el servicio. Esta secuencia no sustituye el contenido técnico de la profesión, sino que lo conecta con su razón de ser.

La lectura ingenieril propuesta en este trabajo identifica diez núcleos formativos: propósito, curiosidad, observación profunda, imaginación, responsabilidad, innovación con valor, pensamiento sistémico, escucha, ética y liderazgo de servicio. Todos ellos aparecen como competencias complementarias a la excelencia científica y tecnológica y pueden ser desarrollados mediante reflexión, diálogo y análisis de situaciones.

El ingeniero contemporáneo opera en sistemas cada vez más complejos, interdependientes y expuestos a consecuencias sociales y ambientales. Por ello necesita algo más que capacidad para calcular. Necesita criterio para decidir, humildad para aprender, imaginación para crear, responsabilidad para anticipar consecuencias y sensibilidad para comprender a quién sirve su trabajo.

La sociedad requiere ingenieros técnicamente excelentes, pero necesita además profesionales capaces de comprender para qué y para quién emplean esa excelencia. Una planta, un puente, un medicamento, un proceso, una fuente de energía o una nueva tecnología son medios. El destinatario final continúa siendo la vida humana y el sistema que la hace posible.

Por ello, la idea que da unidad a esta primera entrega de La Ingeniería en las Grandes Obras de la Literatura Universal puede expresarse en una sola frase: LA INGENIERÍA ALCANZA SU MÁXIMA GRANDEZA CUANDO PONE EL CONOCIMIENTO AL SERVICIO DE LA VIDA.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece al Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos (IMIQ), a sus directivos, colaboradores y asistentes por el espacio brindado para la presentación y discusión de esta propuesta; en particular, al Ing. Víctor Hugo Martínez M., Presidente del IMIQ; al Dr. José Ramón Montiel López; y al Ing. en Tecnología de Sistemas Mario Ramírez, así como a todos los participantes cuya interacción contribuyó a enriquecer el sentido de la exposición.

REFERENCIAS

[1] Saint-Exupéry, A. de. El Principito. Diversas ediciones en español; obra original publicada en 1943.

[2] Sampedro y Garibay, A. La Ingeniería en las Grandes Obras de la Literatura Universal: El Principito. Presentación preparada para el Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos (IMIQ), 2026.

[3] Senge, P. M. The Fifth Discipline: The Art & Practice of the Learning Organization. Doubleday/Currency, New York, 1990.

[4] National Academy of Engineering. The Engineer of 2020: Visions of Engineering in the New Century. The National Academies Press, Washington, D.C., 2004.



QUÍMICOS INDUSTRIALES
MÉXICO · DESDE HACE 50 AÑOS

CONTINUIDAD OPERATIVA

SU OPERACIÓN NO SE DETIENE. NOSOTROS TAMPOCO.

Cadena de suministro confiable, soporte técnico permanente.

Detrás de cada entrega puntual hay más de 50 años de experiencia logística y técnica. En Quimi Corp Internacional entendemos que cada retraso o producto fuera de especificación tiene un costo para su planta. Por eso integramos soluciones químicas con la confiabilidad, trazabilidad y respaldo técnico que la industria mexicana necesita para operar sin interrupciones.

Reduzca el riesgo de su cadena de suministro. Hablemos.

www.quimi-corp.com

Tel: +52 5555 988266 · qci_main@quimicorp.com

ANIQ · ANIPAC · CAINTRA · IMIQ

LXV CONVENCIÓN NACIONAL 2026

REACTIVANDO LA INDUSTRIA QUÍMICA CON INNOVACIÓN, SUSTENTABILIDAD, LOGÍSTICA Y CAPITAL HUMANO

PROGRAMA GENERAL

9 AL 13 DE NOVIEMBRE DE 2026

Avenida Abraham Zabludovsky #201, Colonia el Encanto CP 96535 – Coatzacoalcos Veracruz

LUNES (09 DE NOVIEMBRE)

7:30 AM – 8:00 AM Registro y salida de convencionistas a visitas industriales simultáneas.

VISITAS INDUSTRIALES SIMULTÁNEAS

8:00 AM – 1:00 PM

GRUPO A	GRUPO B	GRUPO C
Terminal de Etano TQPM	Planta Industrial Innophos	Administración del Sistema Portuario Nacional (ASIPONA)**. LIMITE: 35 Visitantes**

1:00 PM – 3:00 PM Horario de comida.

TALLERES PRE-CONVENCIÓN SIMULTÁNEOS

3:00 PM – 7:00 PM

TALLER 1	TALLER 2	TALLER 3
El procedimiento administrativo sancionador en materia ambiental. **Instructor:** Lic. Luis Gregorio Fernández Hernández. Ex jurídico de la Secretaría del Medio Ambiente del estado de Veracruz. **Sede:** Auditorio Góngora de la Universidad Veracruzana. **(CERRADO)**	**Competencias Lean para desarrollo profesional, aplicando herramientas: Pareto, análisis Causa Raíz y Poka Yoke.** **Instructor:** Mtro. César Enrique Brindis Aranda. Certificado Lean Six Sigma Black Belt y Scrum Master **Sede:** Sala USBI de la U.V.	**Diseño y operación de Plantas de Tratamiento de agua.** **Instructor:** Dra. Miriam G. Rodríguez Rosales. Presidenta del Colegio de Ingenieros Ambientales de México, Jefa del Laboratorio Calidad del Agua del IPN. **Sede:** Sala Audiovisual del TecNM de Minatitlán.

TALLER 4	TALLER 5	TALLER 6
Inventario de Emisiones **Instructor:** Dr. Rodolfo Sosa Echeverría. Investigador del Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático de la UNAM. **Sede:** Sala de Computo de la Universidad Tecnológica del Sureste de Veracruz (UTSV)	**Diagnóstico inteligente de calidad de agua: Herramientas de la IA para profesionales.** **Instructor:** M.C. Arturo Bruno Juárez León. Profesor Investigador de medio tiempo en SEPI-ESIA-IPN y Gerente en PROCOMAR. **Sede:** Sala de Computo UV. **Cupo máximo: 26 personas**	**Simulación del proceso de separación de hidrocarburos en Aspen Hysys y Excel.** **Instructor:** Ing. Eduardo Sarmiento Candelaria **Sede: Centro de Computo 1** (ITESCO). **Requisito: LAPTOP con Windows** **Cupo máximo: 30 personas**

TALLER ESPECIAL: DISEÑO DE DÉCIMAS – 1ª SESIÓN DE 2

Instructor: Dr. en Ing. Ambiental Alejandro Barradas Rebolledo – Escritor y Poeta
Sede: Sala de la Facultad de Ciencias Química de la Universidad Veracruzana

EVENTO CULTURAL

7:30 PM – 9:30 PM

Presentación: Presentación del Ballet Folclórico TIZOC

Lugar: Cabeza Olmeca de la Casa de la Cultura (John Spark SN, Centro, Coatzacoalcos, Ver.)

MARTES (10 DE NOVIEMBRE)

7:30 AM – 8:00 AM

Registro y salida de convencionistas a visitas industriales simultáneas.

VISITAS INDUSTRIALES SIMULTÁNEAS

8:00 AM – 1:00 PM

GRUPO A	GRUPO B	GRUPO C	GRUPO D	
Complejo Petroquímico Braskem Idesa	Planta industrial Cryoinfra	Refinería Minatitlán	Planta Industrial Alpek Polyester	Administración del Sistema Portuario Nacional (ASIPONA)**. LIMITE: 35 Visitantes**

1:00 PM – 3:00 PM

Horario de comida.

TALLERES PRE-CONVENCIÓN SIMULTÁNEOS

3:00 PM – 7:00 PM

TALLER 1	TALLER 2	TALLER 3
Gestión Integral de la Corrosión: Evaluación de Riesgos, Inspección y Normativa. **Instructor:** Ing. Erich Gustavo Salazar. Especialista en Corrosión en Braskem Idesa. **Sede:** Auditorio Góngora de la Universidad Veracruzana.	**ChatGPT para el Cumplimiento Ambiental: Casos Prácticos para Analizar Leyes, NOM, Permisos y Obligaciones.** **Instructor:** M.C. Arturo Bruno Juárez León. Profesor-Investigador en la SEPI-ESIA-IPN y Gerente de Innovación y Desarrollo Tecnológico en PROCOMAR. **Sede:** Sala de Computo de la UV. **Cupo máximo: 26 participantes**	**Liderazgo para equipos de alto desempeño**. **Instructor:** Mtro. Alfredo Sayas Martínez. Director General de Alfredo Sayas Consultores y Asociados. **Sede:** Sala Audio Visual del TecNM de Minatitlán **Cupo máximo: 22 participantes**
TALLER 4	**TALLER 5**	**TALLER 6**
Principios básicos de simulación HYSYS. **Instructor:** Mtro. Tomás E. Rodríguez Ramírez. Ingeniero Consultor Emerson / AspenTech **Sede:** Sala de Usos Múltiples del TecNM de Minatitlán.	**Seguridad 2 en 1 (EPP y extintores)** **Instructor:** Ing. Omar Domínguez López. Ing. en Mantto. Industrial UTSV **Sede:** Sala de Usos Múltiples de la Universidad Tecnológica del Sureste de Veracruz (UTSV). **Cupo máximo: 25 participantes**	**Separación de hidrocarburos aromáticos de la nafta: simulación en Aspen Plus** **Instructor:** Dr. Jesús Alonso Cruz Valdez **Sede: Centro de Computo 1** del TecNM de Coatzacoalcos **Cupo máximo: 25 participantes**

TALLER ESPECIAL: DISEÑO DE DÉCIMAS – 2ª SESIÓN DE 2

Instructor: Dr. en Ing. Ambiental Alejandro Barradas Rebolledo – Escritor y Poeta
Sede: Sala de la Facultad de Ciencias Química de la Universidad Veracruzana

EVENTO CULTURAL

7:30 PM – 9:00 PM

Primicia de la obra: Quetzalcóatl (Historia de Coatzacoalcos).

Lugar: Casa de la Cultura Coatzacoalcos. (John Spark SN, Centro, Coatzacoalcos, Ver.

MIÉRCOLES (11 DE NOVIEMBRE)	
8:00 AM – 8:30 AM	Registro de convencionistas.
8:30 AM – 9:00 AM	Honores a nuestro Lábaro Patrio / evento cultural de bienvenida
9:00 AM – 9:45 AM	Mensaje de autoridades / Ceremonia de inauguración
CONFERENCIAS MAGISTRALES	
9:45 AM – 10:30 AM	**Conferencia magistral 1 –** Eficiencia energética operativa: reducción de costos y ruta hacia la transición energética **Ponente:** Ing. Carlos Morales Mar - Director General de la Agencia Estatal de Energía del Estado de Veracruz (AEEV). **Sede:** Teatro de la Ciudad del Centro de Convenciones.
10:30 AM – 11:30 AM	Coffee break y recorrido por la Expo Industrial.
11:30 AM – 12:15 PM	**Conferencia magistral 2 –** Situación actual de la Industria Química en México. **Ponente:** Ing. Dieter Femfert Mateos - Director Comercial de Cryoinfra **Sede:** Teatro de la Ciudad del Centro de Convenciones.
12:15 PM – 1:00 PM	**Conferencia magistral 3 –** Transición energética en la industria química: estrategias técnicas para competitividad y sostenibilidad **Ponente:** Dra. Elizabeth Mar Juárez - Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) **Sede:** Teatro de la Ciudad del Centro de Convenciones.
1:00 PM – 1:45 PM	**Conferencia magistral 4 –** "Desarrollo industrial y sustentabilidad: retos y oportunidades para el futuro de Veracruz" **Ponente:** Ing. Luz Mariela Zaleta Mendoza – Titular de la Secretaría de Medio Ambiente del Estado de Veracruz. (Por confirmar) **Sede:** Teatro de la Ciudad del Centro de Convenciones.
1:45 PM – 3:00 PM	Horario de comida.
3:00 PM – 3:45 PM	**Conferencia magistral 5 –** Hidrógeno verde: rutas de producción y aplicaciones para la industria química **Ponente:** Mtra. Lorena Espinosa Flores - Asesora técnica del Programa Internacional de Fomento al Hidrógeno, H2Uppp de GIZ. Colaboración Alemana de GEI. **Sede:** Teatro de la Ciudad del Centro de Convenciones.
3:45 PM – 4:30 PM	**Conferencia magistral 6 –** La Refinación como impulsor de la Soberanía Energética **Ponente:** Ing. José Manuel Rocha Vallejo – Subdirección de Producción de Petrolíferos (Pemex Transformación Industrial) **Sede:** Teatro de la Ciudad del Centro de Convenciones.
4:30 PM – 5:15 PM	**Conferencia magistral 7 –** Importancia de Veracruz en la Autosuficiencia de Fertilizantes Nitrogenados. **Ponente**: Ing. Manuel Chávez Guerra - Director de Mota Engil México **Sede:** Teatro de la Ciudad del Centro de Convenciones.
EVENTO ARTÍSTICO	
7:00 PM – 09:30 PM	**Concierto de rock por la paz.** **Lugar:** Teatro al aire libre de la Casa d la Cultura (John Spark SN, Centro, Coatzacoalcos, Ver.)

JUEVES (12 DE NOVIEMBRE)	
8:00 AM – 8:30 AM	Registro de convencionistas.
CONFERENCIAS MAGISTRALES	
8:30 AM – 9:15 AM	**Conferencia magistral 1 –** Vinculación, posgrado e innovación: mecanismos de financiamiento para proyectos industriales **Ponente:** Instituto Mexicano del Petróleo (IMP). **Sede:** Auditorio Ahualulco del Centro de Convenciones
9:15 AM – 10:00 AM	**Conferencia magistral 2 –** Economía Circular del PET: Impulsando la Competitividad de la Industria Química. **Ponente**: Ing. Hipólito Flores Ramírez - Alpek Polyester México. **Sede:** Auditorio Ahualulco del Centro de Convenciones
10:00 AM – 11:00 AM	Coffee break y recorrido por los stands.
11:00 AM – 11:45 AM	**Conferencia magistral 3 –** La Importancia de los Grupos de Ayuda Mutua, en casos de Emergencias Químicas. **Ponente:** Ing. José Oscar Oliva García – Presidente del Colegio Nacional de Ingenieros Químicos y de Químicos (CONIQQ) **Sede:** Auditorio Ahualulco del Centro de Convenciones
11:45 AM – 12:30 PM	**Conferencia magistral 4 –** Acuerdos Internacionales Ambientales y su impacto en la Política Pública **Ponente**: Ing. Azucena Olivares Ángeles. Subdirección de Movimientos Transfronterizos de Residuos (SEMARNAT) **Sede:** Auditorio Ahualulco del Centro de Convenciones
12:30 PM – 1:15 PM	**Conferencia magistral 5 –** Afectaciones en la cadena de suministro y logística por problemas geopolíticos **Ponente**: Mtra. Iris Alvarado Vergara – Vicepresidenta de Compras y Distribución, Innophos **Sede:** Auditorio Ahualulco del Centro de Convenciones
1:15 PM – 2:00 PM	**Conferencia magistral 6 –** Presentación del programa de Excelencia Operacional 360 de Braskem Idesa: en implementación para garantizar la seguridad, confiabilidad y eficiencia de los procesos. **Ponente:** Ing. Roberto Rodríguez - Gerente de Operaciones de Etileno & Servicios de Braskem Idesa. **Sede:** Auditorio Ahualulco del Centro de Convenciones
09:00 AM – 2:30 PM / 3:30 PM – 6:00 PM	**Sesiones técnicas / Presentación de Trabajos Técnicos** **Sede:** Salón Olmeca 1 / **Moderador:** Ing. José Luis Mayorga Delgado
2:30 PM – 3:30 PM	Horario de comida.
3:30 PM – 4:15 PM	**Conferencia magistral 7 –** Laboratorio de Inteligencia Artificial y Transferencia Tecnológica para la Industria de Procesos. **Sede:** Auditorio Ahualulco del Centro de Convenciones
4:15 PM – 5:00 PM	**Conferencia magistral 8 –** La eficiencia energética como estrategia de competitividad **Ponente:** M. en I. Israel Jauregui Nares – Director General en Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) **Sede:** Auditorio Ahualulco del Centro de Convenciones

5:00 PM – 6:00 PM	**Mesa de diálogo –** Formación dual Industria-Universidad: talento técnico para la competitividad química **Moderador:** Lic. Sergio Plata Azpilcueta. Presidente de la Asociación de Industriales del Estado de Veracruz (AIEVAC). **Participantes:** • Dra. Georgina Hernández Ríos. Vicerrectora de la Universidad Veracruzana, Campus Coatzacoalcos. • M. en C. Alicia Pérez Yebra. Directora del TecNM Coatzacoalcos. • Dr. Gilberto Rodríguez Montufar. Director del TecNM Minatitlán. • Lic. Gabriel Ángel Sumano Vázquez. Rector de la Universidad Tecnológica del Sureste de Veracruz **Sede:** Auditorio Ahualulco del Centro de Convenciones
EVENTO ARTÍSTICO	
7:30 PM – 10:00 PM	**Noche bohemia.** **Lugar:** Chantli, "La Casa del Pueblo". Calle Lerdo de Tejada 300, Centro, Coatzacoalcos, Ver.

VIERNES (13 DE NOVIEMBRE)	
8:00 AM – 8:45 AM	Registro de convencionistas.
CONFERENCIAS MAGISTRALES	
8:45 AM – 9:30 AM	**Conferencia magistral 1 –** Gas Natural como combustible de transición **Ponente:** Ing. José Napoleón Ruiz Pons – Dirección de Transformación Energética, Subdirector de Procesos de Gas y Derivados, Subgerente de Servicios Principales de Petróleos Mexicanos (PEMEX) **Sede:** Auditorio Ahualulco del Centro de Convenciones.
9:30 AM – 10:15 AM	Coffee break y recorrido por los stands
10:15 AM – 11:15 AM	**Mesa Redonda –** Estrés hídrico y gestión de riesgos para la continuidad operativa industrial **Moderador:** Ing. Roberto Velasco Gutiérrez **Participantes:** • Ing. J. Pablo Davila Navarro. Area Manager IS_F&B Water Treatment México • Ing. Roberto González. Application Manager - IWT F&B Mex y Centro América • Ing. Daniel Orozco Meraz. Business Development Manager – Water Reuse and Recycle – LATAM **Sede:** Auditorio Ahualulco del Centro de Convenciones
11:15 AM – 12:15 AM	**Mesa de diálogo –** El Ingeniero Químico en el desarrollo responsable de la industria Petroquímica **Moderador:** Ing. Juan de Dios Mastachi Pérez **Participantes:** • Ing. Rodolfo Torres Barrera **–** Presidente Comité Técnico de Protección Ambiental IMIQ A.C.) • Ing. Pedro Laguna Cabaña – Gerente del Complejo Petroquímico Alpeck Polyester • Ing. Daniel Edmundo Lira Ponce – Gerente de la Refinería Minatitlán – Petróleos Mexicanos **Sede:** Auditorio Ahualulco del Centro de Convenciones
09:00 AM – 01:45 PM	**Sesiones técnicas simultaneas / Presentación de Trabajos Técnicos** **Sala 1:** (Salón Olmeca 1) Moderador: Ing. José Luis Mayorga Delgado

12:15 AM – 1:15 PM	**Panel de la Industria Petroquímica** **Moderador**: Ing. Luis Puig Lara – Exdirector de PEMEX Petroquímica **Panelistas:** • Ing. Mauricio Angeles – Experto en Servicios Técnicos & Desarrollo e la división de Soluciones Integrales para América Latina Down Chemical • Ing. Manuel Chávez Guerra – Director de Proyectos Oil and Gas de Grupo Fénix en la Ciudad de México • Ing. Alejandro Valadez Urrutia – Exsubdirector Comercial PQ Cangrejera. • Arturo Martínez Manilla – Director General en ASTREA CS. **Sede:** Auditorio Ahualulco del Centro de Convenciones
1:15 PM – 2:15 PM	**Conferencia magistral 3 –** Corredor Interoceánico del Istmo de Tehuantepec: El Modelo de los Polos de Desarrollo como motor de Integración Industrial y Competitividad Internacional. **Ponente:** Mtro. Emmanuel Neri Reyes - Titular de la Unidad de Desarrollo Regional CIIT. **Sede:** Auditorio Ahualulco del Centro de Convenciones
2:15 PM – 2:45 PM	Evento cultural y ceremonia de clausura.
EVENTO SOCIAL	
7:00 PM – 12:00 AM	**Evento:** Cena baile de gala y premios IMIQ. **Lugar:** Salón de eventos Club Britania

SÁBADO (14 DE NOVIEMBRE)	
PASEOS ECOTURÍSTICOS	
8:30 AM – 3:00 PM	Paseos ecoturísticos / Paseo gastronómico

SANIC

SANIC México

Distribuidor en México de soluciones Spartan

Potencia industrial para el sector petróleo y gas

Desengrasantes industriales y fluidos de corte IPG de Spartan, disponibles en México a través de Sanic, para operaciones más limpias, eficientes y confiables.

www.sanic.com.mx →

Desengrasantes industriales

La línea industrial de Spartan ofrece soluciones de alto desempeño para remover grasa, aceite, hollín, fluidos de corte y suciedad pesada en maquinaria, motores, herramientas, superficies metálicas y áreas de proceso. Dentro del portafolio destacan opciones como All Safe, Green Solutions Industrial Cleaner, Aqueous NB, Orange Tough 40 y 90, SC-200, Safe Spray LF, Metal Spray LF y THE Degreaser 6.

Línea IPG de aceites y fluidos de corte

La línea IPG está diseñada para operaciones de mecanizado y rectificado con exigencia industrial. Productos como CoolSpar, SemiCut, SemiSpar HD, SynSpar GP, The Cutter, SparCut NC y Maxim VHP ayudan a extender la vida útil de la herramienta, mejorar el acabado superficial, controlar la espuma, proteger contra la corrosión y mantener estabilidad en tanque.

Beneficios clave

- Alto poder de limpieza y desengrase
- Opciones biodegradables, sin solventes y de baja espuma
- Protección anticorrosiva para metales ferrosos y no ferrosos
- Mejor acabado superficial y mayor vida útil de herramienta
- Soluciones para mantenimiento industrial, lavado de piezas y procesos de mecanizado

"Rendimiento químico confiable para entornos de alta exigencia."



LÍDERES EN SOLUCIONES PARA UN FUTURO MÁS LIMPIO Y PRODUCTIVO

Solicita asesoría industrial en México

sanic@sanic.com.mx

+52 656 395 4095

OPERACIONES MÁS LIMPIAS

MAYOR CONFIABILIDAD

MÁXIMA PRODUCTIVIDAD

SOLUCIONES PARA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL Y MECANIZADO