LA INDUSTRIA PETROQUÍMICA (IPQ): SITUACIÓN ACTUAL Y PLANEACIÓN ESTRATÉGICA

Carlos E. Escobar Toledo

COMISIÓN DE ESPECIALIDAD EN INGENIERÍA DE SISTEMAS

Departamento de Ingeniería Química, UNAM

Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo

INTRODUCCIÓN

Los hidrocarburos son parte de un gran sistema complejo e interdependiente. Por lo tanto, **lo es también la Industria Petroquímica y, por ello, cuando ésta se analiza,**

NO debe olvidarse el paradigma de la teoría de sistemas: se trata de un conjunto de elementos en interrelación dinámica, en un entorno abierto, que tiene objetivos y que forma parte de un gran todo.

EA
Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo

ANÁLISIS

- El Gobierno ha obligado a PEMEX a concentrarse en la extracción y exportación de petróleo crudo.
- PEMEX se rezaga tecnológicamente y debilita la soberanía energética del país.
- La refinación sigue sin avanzar y la producción petroquímica para abastecer el mercado interno se reduce drásticamente.

Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo

ANÁLISIS

- La IPQ ya no juega el papel relevante que tuvo anteriormente.
- Ya no ha habido una estrategia consistente de desarrollo industrial y mucho menos científico y tecnológico.
- Los crecimientos en el sector industrial están por debajo de los de LA o los países asiáticos.

Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo

JUSTIFICACIÓN

- *El Estado debiera tener claramente concebido el Plan y el Programa de Desarrollo Industrial y no seguir con la ingrata filosofía de dejar que "las libres fuerzas del mercado" los definan. La IPQ, debiera tener en este plan una enorme importancia.*

- *En un entorno globalizado y regido cada vez más por la era de la economía del conocimiento, la fuerza directriz de nuestro desarrollo y de su expansión y competitividad debieran ser la investigación científica, el desarrollo tecnológico y la innovación de productos y procesos.*

Estado del Arte
Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo

JUSTIFICACIÓN

- *La IPQ se encuentra en la interfase entre la política energética y la del desarrollo industrial. Debe, por lo tanto, definirse claramente la utilización de nuestros recursos en hidrocarburos que no sea solamente la exportación de éstos.*
- *En virtud de que los hidrocarburos son la base y el punto de partida de la IPQ, la política energética está, entonces, ligada directamente a su planificación.*

Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo

OBJETIVO

Es NECESARIO establecer para la Industria Petroquímica un rol estratégico concediéndole un carácter prioritario, en base a la oportunidad que ésta representa para aprovechar nuestros recursos naturales, generar valor agregado y fortalecer la integración industrial del país.

Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo

Petróleos Mexicanos: interrelaciones de la cadena industrial

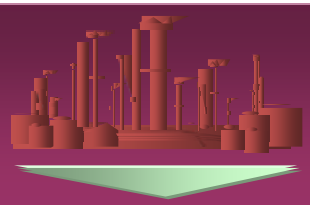
PEP

Producción de crudo

Producción de gas

- Refinación
- Exportación

PR



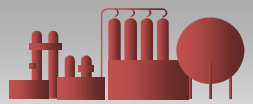
- Combustóleo
- Gasolinas
- Gas licuado

Importación

- Clientes
- Exportación

Proceso de gas y líquidos

PGPB

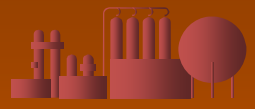


- Gas seco
- Etano
- Gas Licuado
- Gasolinas naturales

Importación

- Pemex-Petroquímica
- Clientes
- Exportación

PPQ



- Derivados de metano
- Derivados de etano
- Aromáticos y derivados
- Derivados de propileno
- Otros

Importación

- Clientes
- Exportación

Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo

PETROQUÍMICA

- La IPQ es una extensa red formada por un gran número de compuestos químicos en cadenas entrelazadas que elabora productos diversos, demandados por la economía.
- *Estas cadenas inician con los productos obtenidos de la refinación del petróleo y del procesamiento del gas natural asociado y no asociado.*
- En esta red, un mismo compuesto puede ser producido a través de diferentes cadenas, mediante procesos diferentes e incluso partiendo de distintos conjuntos de materias primas.

Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo

PROCESOS PETROQUÍMICOS

- La petroquímica básica consiste en procesos químicos o físicos para elaborar compuestos, a partir del gas natural (productos licuables) o de hidrocarburos que sean producto o subproducto de las operaciones de refinación.

- La Industria Petroquímica intermedia se compone de una amplia gama de sustancias químicas que son derivadas de los petroquímicos básicos; estos productos a su vez, se utilizan como insumos para la elaboración de otros petroquímicos, comúnmente de uso final.

Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo

Algunas Definiciones Útiles

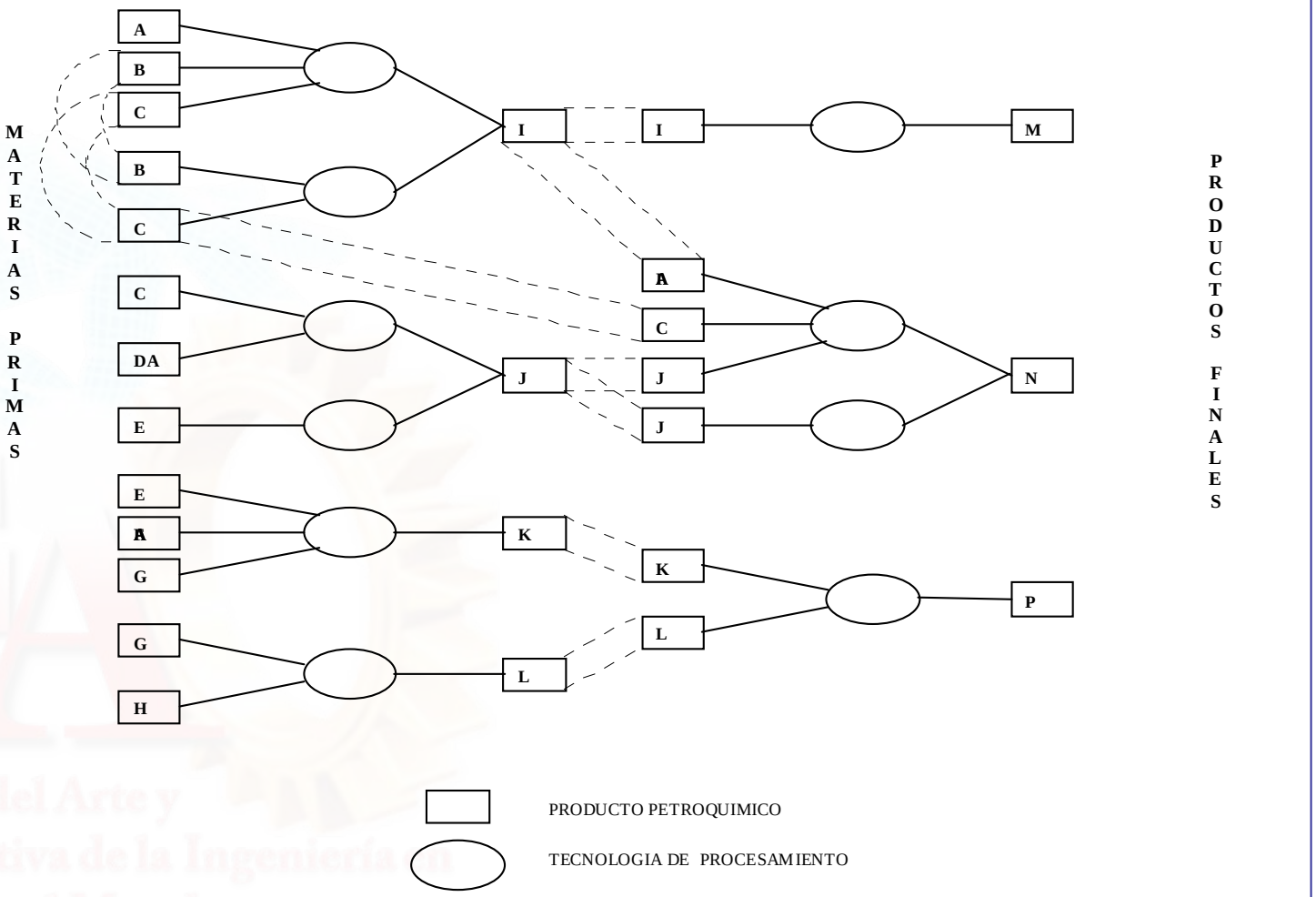
- ***Cadena de producción.*** **Es el conjunto de productos y procesos que a partir de una materia prima dada, conducen a un producto específico de forma integrada. Una cadena de producción se forma cuando los productos de un proceso resultan ser la materia prima de otros.**

- ***Rutas tecnológicas.*** **Son la secuencia de procesos que sirven para obtener un producto deseado. Pueden encontrarse alternativas para procesar el mismo producto final. Debido a que esta diversidad de posibles "caminos", se combinan para formar una compleja red de varios compuestos intermedios, se generan las rutas tecnológicas.**

- ***Tecnología.*** **Una tecnología se define como el conjunto completo de reacciones químicas y operaciones físicas necesarias para fabricar cierto producto a partir de determinada materia prima, a través de un proceso.**

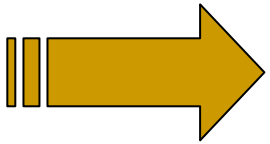
Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo

ESQUEMA DE CADENAS PETROQUÍMICAS



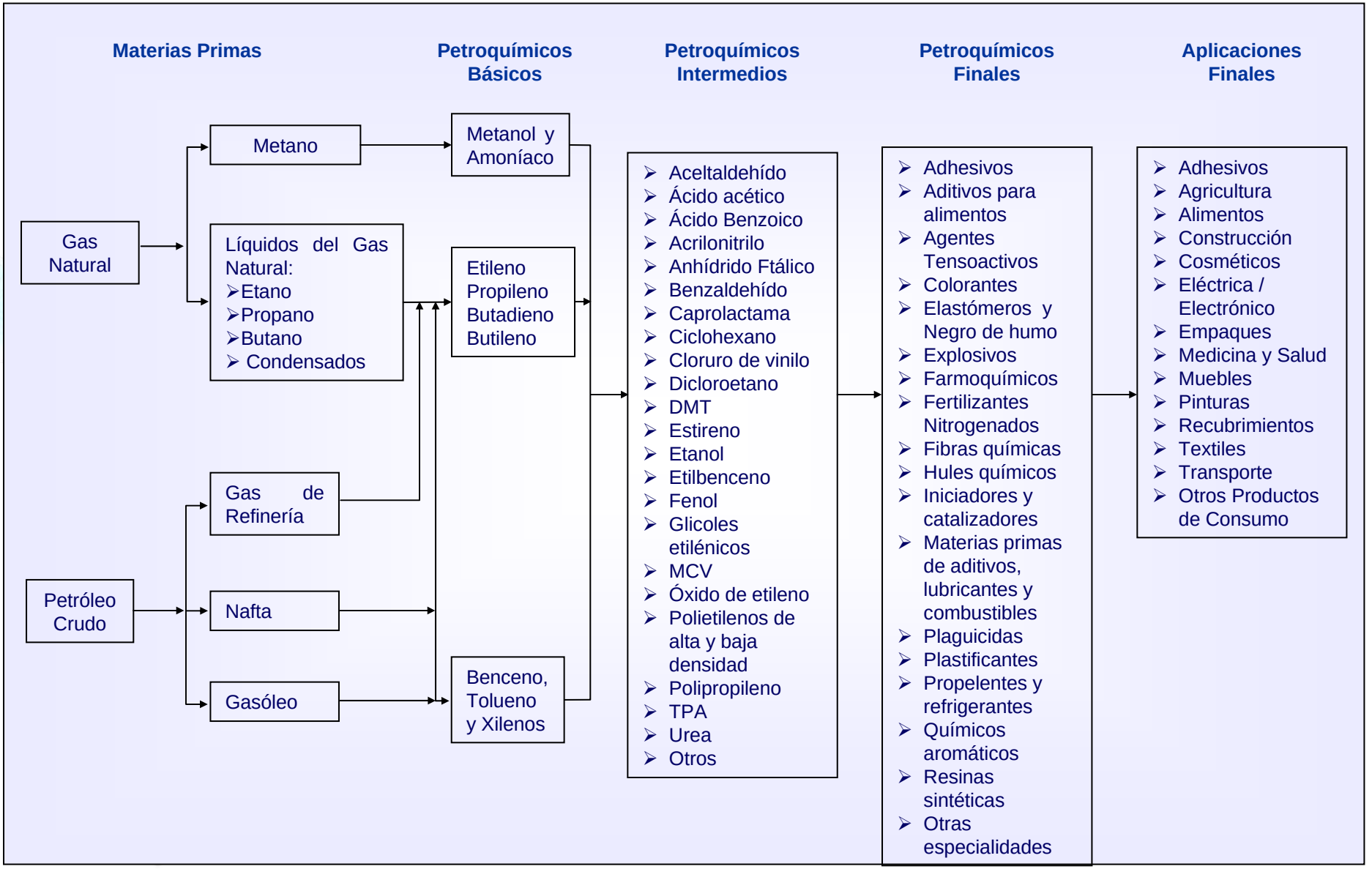
CADENAS PETROQUÍMICAS

Básicos	Finales
Metano (CH_4)	Plásticos
Etileno (C_2H_4)	Elastómeros
Propileno (C_3H_6)	Fibras químicas
Benceno (C_6H_6)	Resinas sintéticas
Tolueno ($C_6H_5CH_3$)	Fertilizantes
Xilenos ($C_6H_4(CH_3)_2$)	Pinturas
	Detergentes
	Adhesivos
	Otras especialidades



EA
Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo

ESQUEMA DE LA PETROQUÍMICA



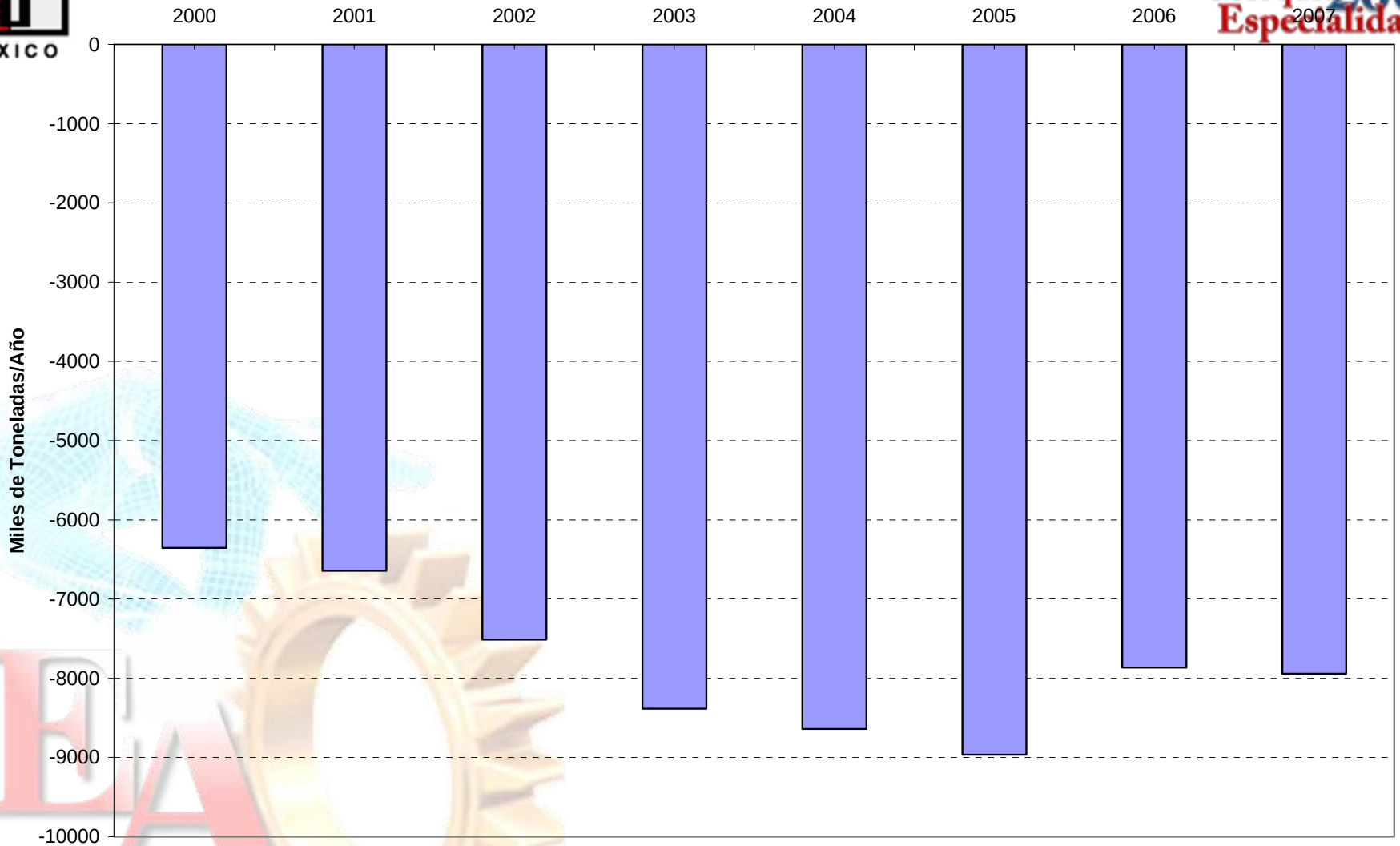
SITUACIÓN ACTUAL DE LA PETROQUÍMICA

Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo

LA INDUSTRIA PETROQUÍMICA

La IPQ mexicana ha sufrido un estancamiento, en los últimos años, observándose que:

- la producción y la utilización de la capacidad instalada se han reducido.
- la productividad por trabajador ocupado ha disminuido,
- la inversión no ha crecido,
- el resultado de la balanza comercial es negativo y creciente,
- el grado de autoabastecimiento del consumo se ha reducido.



Balanza comercial de la Industria Petroquímica

Fuente: Anuario Estadístico de la Industria Petroquímica

Estado del Arte
Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo

ANÁLISIS: PEMEX-Petroquímica: Producción de Petroquímicos

Miles de Toneladas

Año	1995	2003	2004	2005
Total	13,448	6,085	6,223	6,219
Derivados del metano	5,862	1,383	1,668	1,242
Aromáticos y derivados	1,738	795	1,222	1,187
Propileno y derivados	477	125	116	104
Otros	2,230	1,564	1,145	1,246

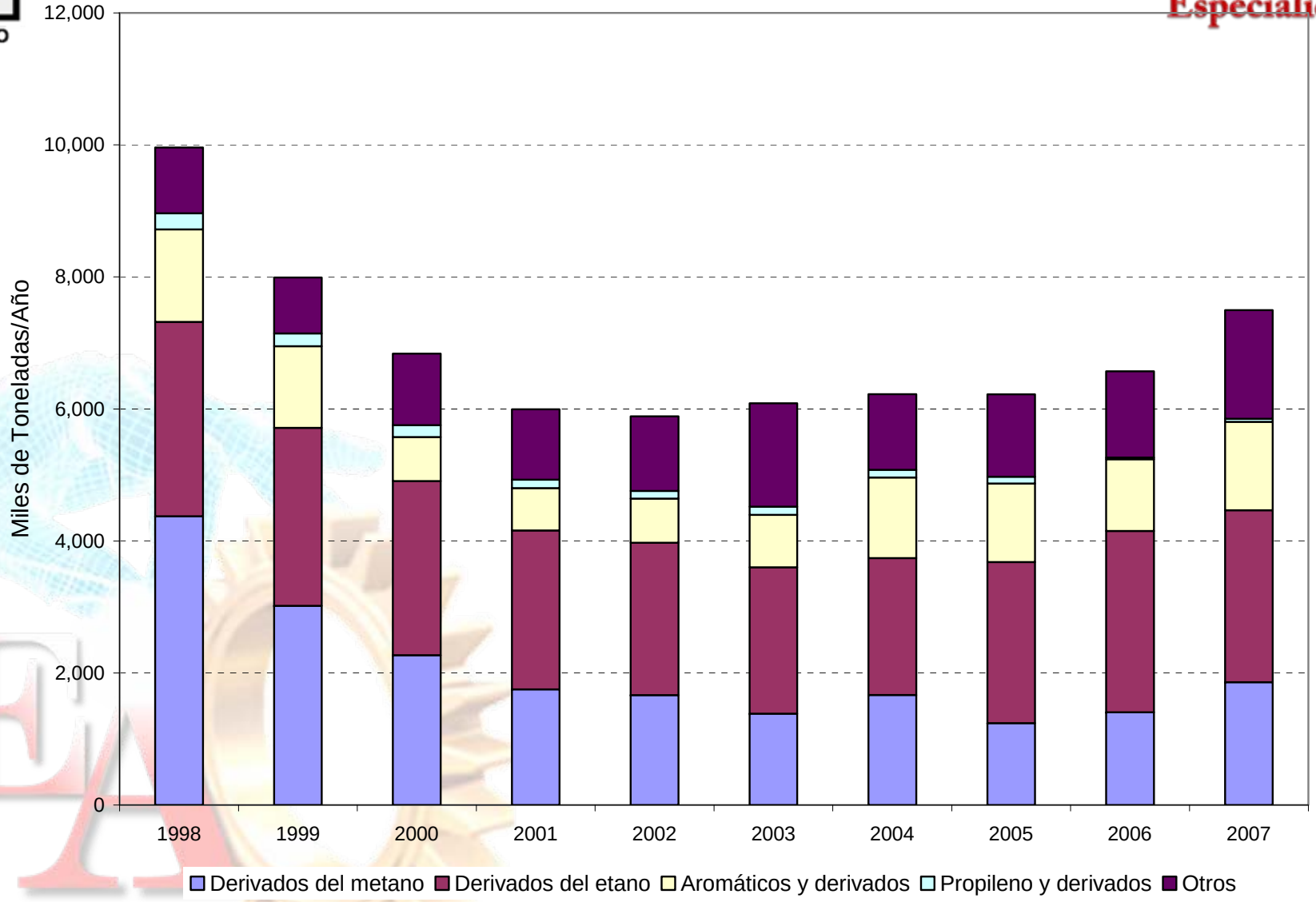
- **Disminución constante y en caída de nuestra petroquímica**

PRODUCCIÓN DE PETROQUÍMICOS

Producción de Petroquímicos (miles de toneladas)				
Producto	2005	2006	2007	
Derivados del metano	1 267.9	1 435.7	1 882.6	
Derivados del etano	2 440.0	2 747.7	2 606.7	
Aromáticos y derivados	1 187.3	1 089.0	1 337.6	
Propileno y derivados	462.0	349.0	391.7	
otros	2 154.5	2 292.6	2 400.0	

Fuente: Base de Datos Institucional

Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo



Producción agregada de productos petroquímicos

Fuente: Anuario Estadístico de PEMEX 2008

Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo

PARA MÉXICO: COSTOS DE OPORTUNIDAD; PARA OTRAS PARTES DEL MUNDO PRECIOS DE TRANSFERENCIA

Precios del gas natural en diferentes zonas del mundo (año 2005) Fuente: Fertecon Ammonia Futures.

Zona	Precio del gas (USD/MMBTU)
Ex-URSS	0.6
USA	4.45
México	4.07
Asia	1.2
Canadá	0.6
Trinidad y Tobago	1.25
Venezuela	0.6
Sudamérica	0.6
Comunidad Europea	3.0
Otros países europeos	3.0
África del Norte	0.4
Medio Oriente	0.6

Por la falta de una política clara de precios de los energéticos primarios (crudo y gas natural) y a la concepción errónea de la Comisión Reguladora de Energía de utilizar "*costos de oportunidad*" en lugar *de "precios de transferencia".*

El gas natural no tiene un precio como *metano*, materia prima para producir amoníaco y toda la gama de fertilizantes nitrogenados, se vende en términos de su valor energético, lo que distorsiona totalmente su uso no energético, poniendo en riesgo, aún más, nuestra independencia alimentaria, considerando los altos precios con que tales fertilizantes se importan

Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo

PLANEACIÓN DE LA PETROQUÍMICA

Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo

CARACTERISTICAS DE LOS PRODUCTORES LIDERES

OPERAN EFICIENTEMENTE CON ESCALAS COMPETITIVAS.

- ***MEJORAN SUS:***
  - ***CURVAS APRENDIZAJE***
  - ***TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN***

SELECCIONAN CUIDADOSAMENTE:

- ***LAS CADENAS DE PRODUCCIÓN DONDE INTERVENDRÁN DE ACUERDO A LA OFERTA Y DEMANDA EN EL BALANCE MUNDIAL.***
- ***SUS PRODUCTOS CORRIENTE ARRIBA Y CORRIENTE ABAJO***
- ***SU INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO PARA OBTENER MAYOR COMPETITIVIDAD.***

- ***MAXIMIZAN LOS VALORES AGREGADOS DE SUS PRODUCTOS.***

Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo

LA PLANEACIÓN DE LA IPQ: CARACTERISTICAS

La planificación de la IPQ es base para las siguientes transformaciones químicas y representa la interfase entre los requerimientos de energía secundaria y las materias primas para la elaboración de productos finales, que son a su vez la fuerza motriz de diversas industrias manufactureras.

EAO
Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo

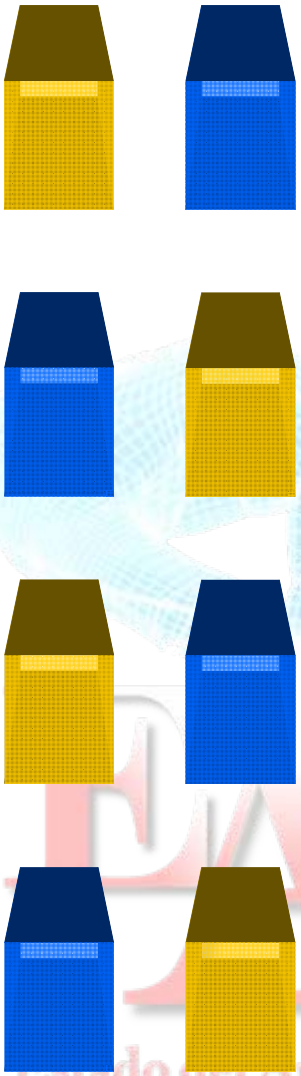
EVIDENCIAS SOBRE LA NECESIDAD DE MEJORES CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES EN LA IPQ

- Estructurar la IPQ por cadenas de producción completas, en lugar de truncarla arbitrariamente con fronteras injustificables.

- Dicha opción permite una planeación óptima y una articulación de inversiones interdependientes..

Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo

Objectivos Generales :

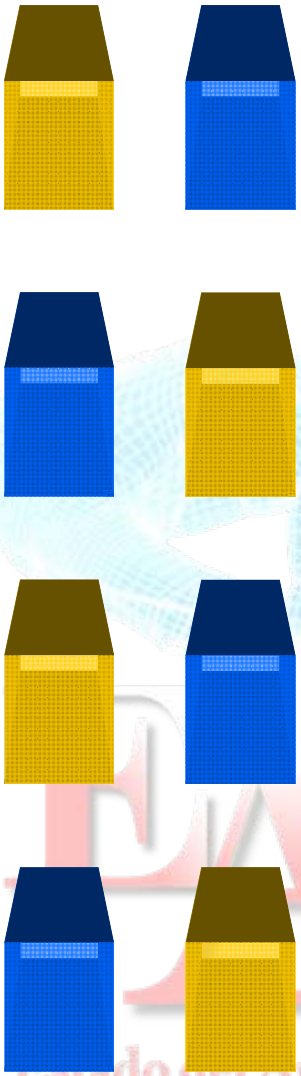


- Crear una metodología para resolver sistemas complejos a través de los sistemas multinivel descentralizados.

- **Utilizar diferentes herramientas como la teoría de redes, decisiones con múltiples criterios, programación matemática en números enteros, para resolver el problema combinatorio representado por la IPQ mexicana con un horizonte de planeación a 2030.**

Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo

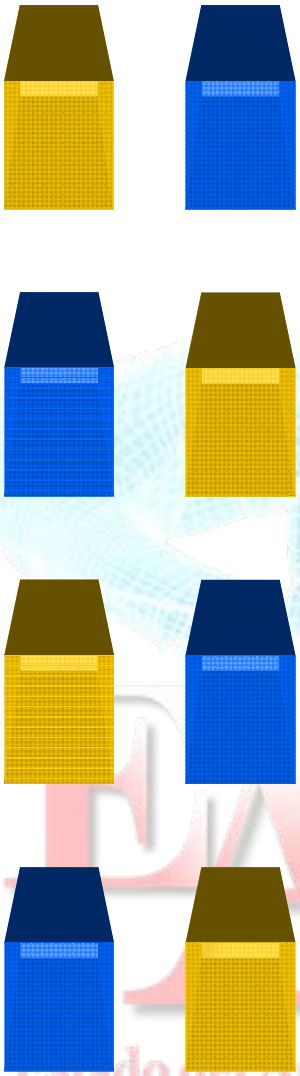
Objetivos Particulares :



- Desarrollar una metodología para desarrollar y seleccionar tecnologías, para desarrollar la IPQ teniendo como materia prima petróleo crudo.
- El modelo considera la demanda de los PQ finales como exógena.
- Investigar la forma de restituir el valor agregado de la industria.
- Mostrar la factibilidad de producir petroquímicos a partir de petróleo crudo destinado a la exportación de tal manera que el petroquímico final producido sea al menos equivalente al precio de exportación de crudo.

Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo

Herramientas matemáticas para desarrollar la metodología.



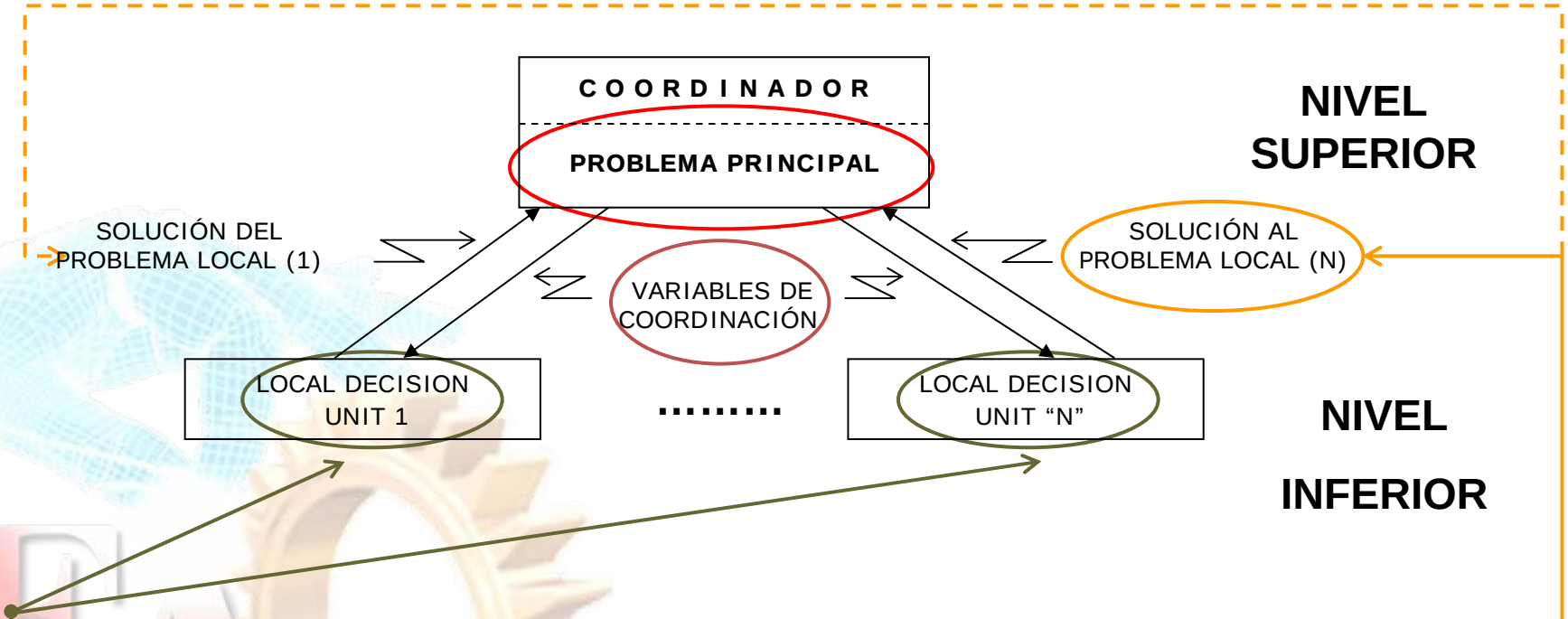
- **Modelo de coordinación multinivel.**

- **Ayuda a la toma de decisiones con criterios múltiples.**

- **Modelo de redes generalizadas (“algoritmo cruzando los arcos”) utilizando los principios de la metodología de Insumo-Producto de Leontieff.**

Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo

Marco de la metodología



Características del proceso:

- **Cada cadena se estructura por medio de una secuencia de procesos intermedios (unidades de proceso) para producir el producto final.**
- **La materia prima de cada unidad de proceso es transformada a un producto intermedio, el cual da lugar a la materia prima del siguiente proceso.**
- Cada proceso será modelado con la red generalizada.
- **La mejor secuencia de procesos para cada producto final será seleccionada por medio de los Métodos Multicriterio.**

Marco de referencia del problema

En el tiempo "t" (t=1,..,T) del horizonte de planeación:

Crude oil Availability

$S_a \quad \forall \; a = 1,\ldots,K$

Crude oil exportation

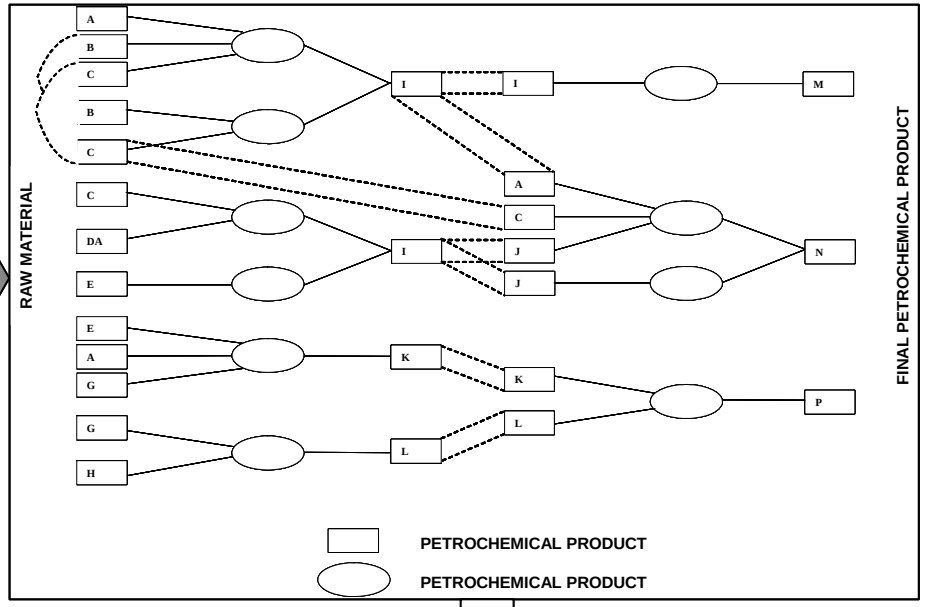
Refinery configuration:

Production of basic petrochemical inputs

And Refined (energy) products.

To energy meet pool demand

Different Routes for processing a petrochemical product



At time "t" (t=1,..,T) of the planning horizon

To the manufacturing industry

Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo

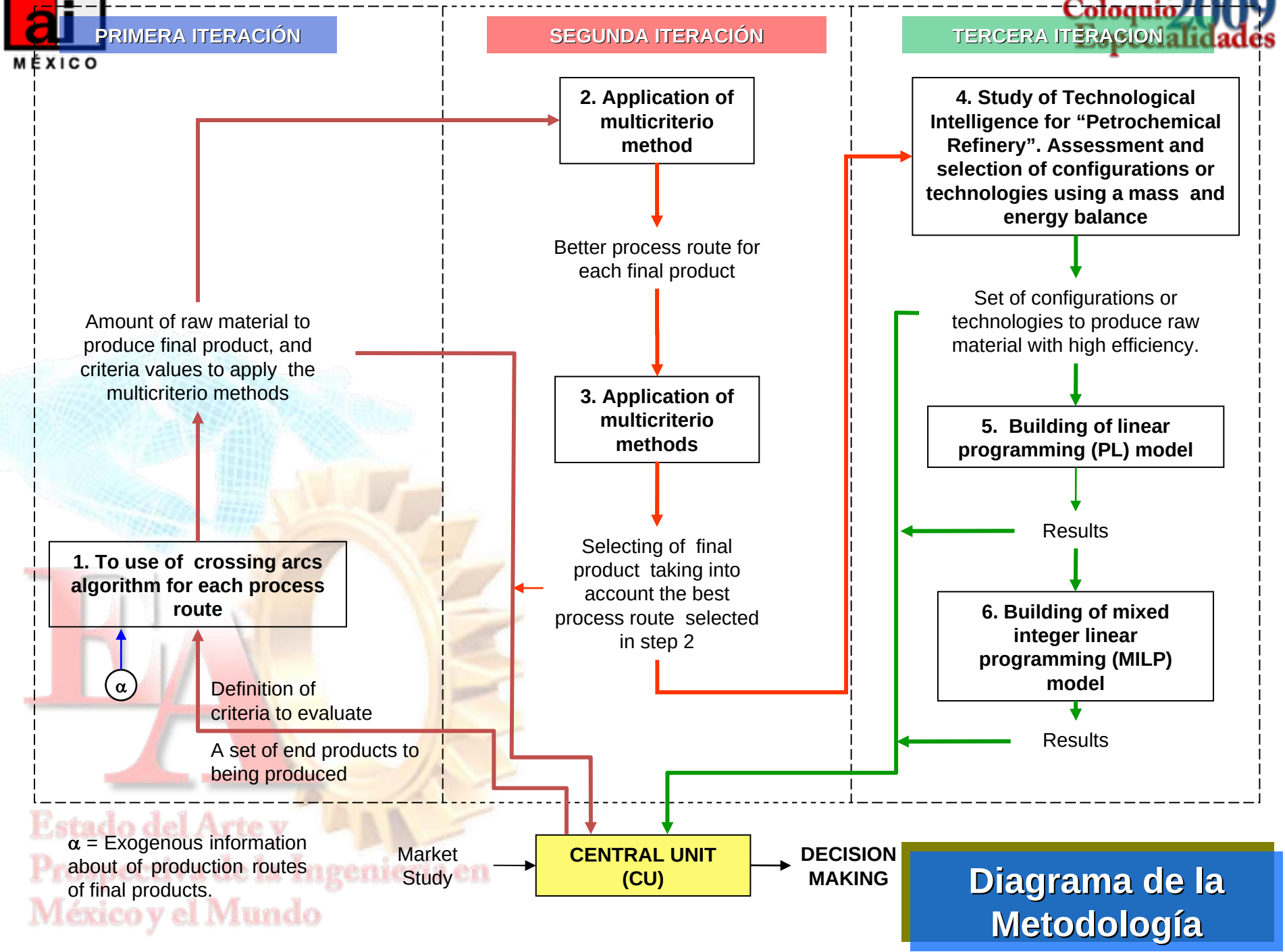


Diagrama de la Metodología

Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo

Criterios a evaluarse.

1. Valor agregado en todo el sistema petroquímico.

2. **Inversiones, a lo largo de todas las cadenas, considerando economías de escala.**

3. **Cantidad total de energía necesaria por cada proceso en todas las cadenas y estimación de la EXERGIA generada.**

4. **Índices de daño al ambiente y a la salud humana de todo producto a lo largo de todas las cadenas petroquímicas.**

Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo

Información adicional para la toma de decisiones.

- coeficientes reales de insumo-producto para toda planta de proceso con tecnología conocida.

$$\alpha_{i,l^* \in L,t} = \frac{Ton\ of\ \ basic\ \ petrochemical}{Ton\ of\ \ final\ \ petrochemical\ \ (l^* \in L)}$$

$$and: \quad PRFPQ_{i,l^* \in L} = all\ \ final\ \ petrochemical.$$

$$\therefore \quad \alpha_{i,l^* \in L,t}\ PRFPQ_{i,l^* \in L} - PRBPQ_{i,t} = 0$$

- Inversiones en la totalidad de las cadenas.
- Valor del producto de todo petroquímico: costo total - excluyendo el costo de los intermedios y finales- más i% de retorno de la inversión.
- Costos totales de producción y de mantenimiento para todos los procesos.

Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo

TECNOLOGÍA Y SUSTENTBILIDAD

- La sustentabilidad es sin duda un tópico multidisciplinario.
- Incluye retos tecnológicos, de manera que tecnologías desarrolladas para la producción de bienes y servicios, en este caso de productos petroquímicos, no ponga en riesgo la sustentabilidad de futuras generaciones.

Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo

TECNOLOGÍAS Y SUSTENTABILIDAD

- Las tecnologías que utilizan recursos no-renovables, deberán **evaluarse desde la óptica del agotamiento de éstos y de sus ciclo de vida.**
- Para medir las irreversibilidades y el uso eficiente, **la cuantificación de la exergia es una alternativa…**

Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo

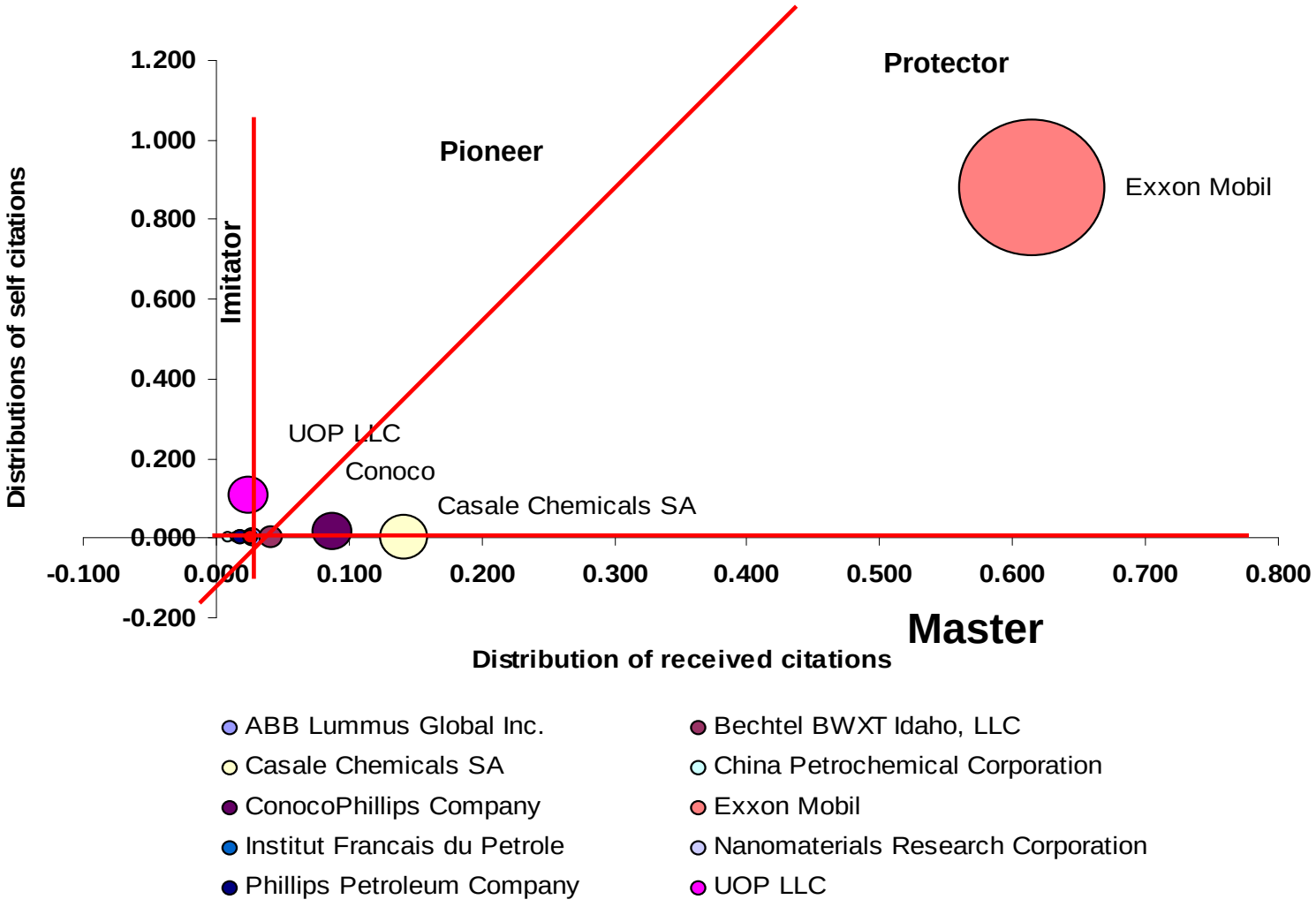
Procesos Químicos en la Industria de la Refinación

- Los productos tienen que cumplir con una serie de especificaciones que aseguren su comportamiento satisfactorio. Esto se logra con una serie de transformaciones químicas que ocurren en los diversos procesos que constituyen una refinería, donde se modifica la estructura de los hidrocarburos.

Descomposición	Rearreglo Molecular	Construcción Molecular
Desintegración Térmica	Reformación	Alquilación
Reducción de viscosidad	Isomerización	Eterificación
Hidrodesintegración	Hidrodesulfuración	Polimerización
Coquización	Hidrogenación de olefinas	Dimerización
Gasificación	Hidrogenación selectiva de di olefinas	
	Saturación de aromáticos	
	Deshidrogenación	

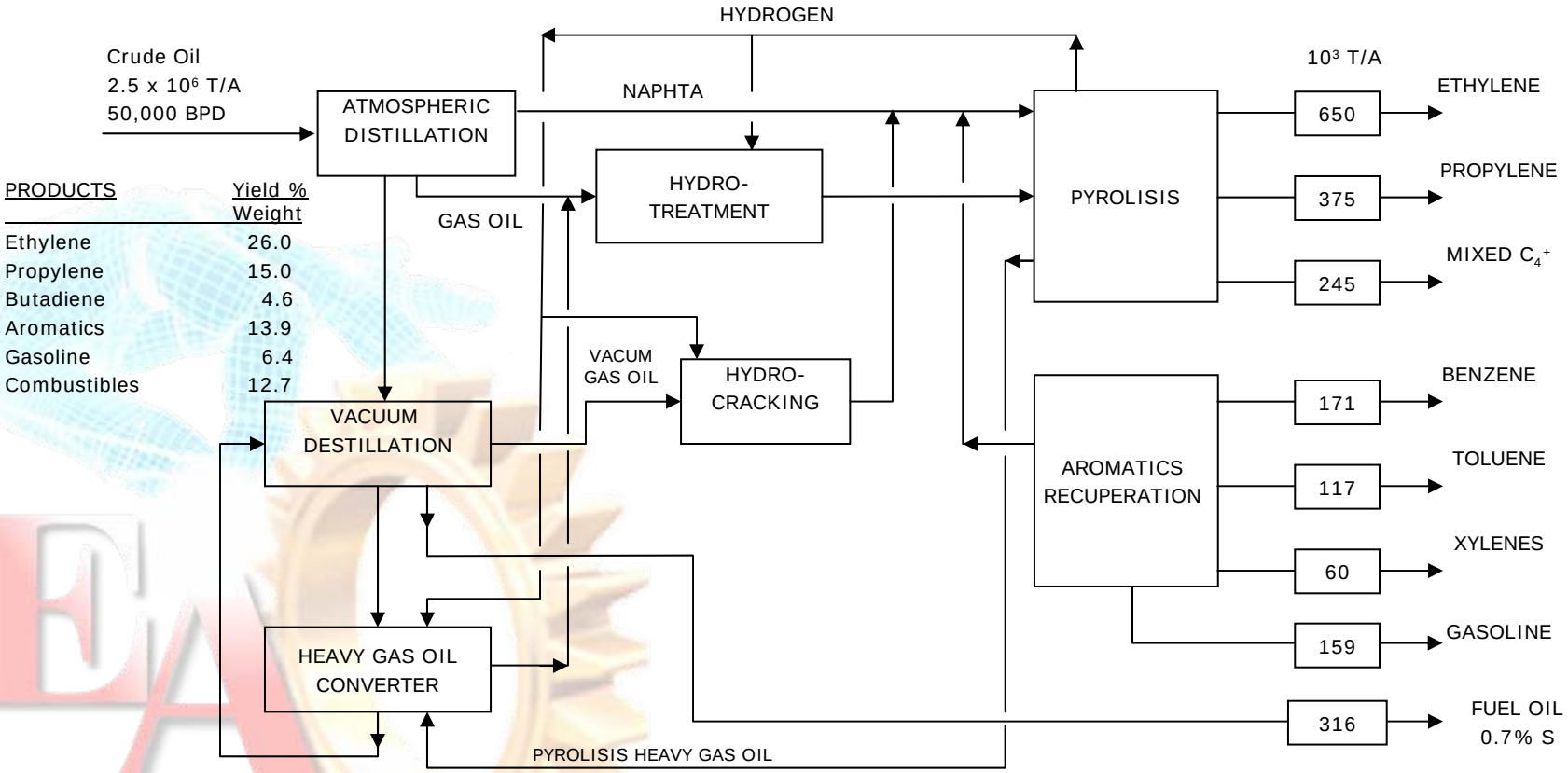
Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo

Estudio de Inteligencia Tecnológica (mapa de la producción de olefinas).



CONFIGURACIONES DE REFINERÍAS PETROQUÍMICAS

Configuración 6.



PRODUCTS	Yield % Weight
Ethylene	26.0
Propylene	15.0
Butadiene	4.6
Aromatics	13.9
Gasoline	6.4
Combustibles	12.7

Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo

Información técnico económica de las diferentes configuraciones de Refinerías

Refinery Configuration Weight, %	1	2	3	4	5	6
Ethylene	8.7	16.1	18.3	18.9	22.5	26.0
Propylene	4.6	9.1	11.0	12.9	12.8	15.0
Butadiene	1.5	2.8	3.4	3.1	3.9	4.6
Aromatics	4.9	8.2	9.7	14.4	12.0	13.9
Total basic petrochemicals	**19.7**	**36.2**	**42.4**	**49.3**	**51.2**	**59.5**
Gasoline	2.3	3.9	4.7	8.4	5.6	6.4
Other products	69.8	47.6	38.3	22.6	25.5	12.6
Total Investment 10^6 US$	**346.5**	**450.4**	**517.4**	**570.6**	**595.9**	**686.1**
Process Cost (US$ / Ton of crude oil)	56.64	76.70	90.18	95.55	103.17	118.00
(US$ / bbl of crude oil)	7.76	10.50	12.35	13.09	14.13	16.19

Resultados: Parámetros de Decisión:

¿El precio equivalente del crudo con sólamente la producción de productos finales, es mayor o igual que el precio del crudo en el mercado internacional?

El precio equivalente del crudo es en promedio 1.20 veces más grande que el del mercado internacional. Si se incluyen las refinerías también, el precio equivalente es en promedio 2.12 veces más grande que el del mercado internacional.

¿El consumo de energía total en el sistema es más pequeño que la demanda total equivalente de gas natural?

El total de la energía consumida en todo el HP es el 19% del consumo total del gas natural para 2009 y equivale 125,095.881 GJ, (1.369 millones de pies cúbicos/día.

Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo

Resultados: Parámetros de Decisión:

- **¿El Valor agregado total es mayor al 10% del PIB del subsector de la IQ?**

El VA del sistema total al finalizar el HP es de 9,223 Millones USD, que comparado con el PIB de la IQ representa 45% más del de 2006.

EAO
Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo

Resultados principales

Total values of the crude oil considering the production of Basic, Intermediate and Final Petrochemicals plus Refineries.

Period	Total PV USD/barrel	Calculated price USD/barrel	Total US$/barrel	Number of times greater than the export price of the Mexican mixture in October of 2007 (74 USD/barrel)
1	100.72	56.89	157.61	2.13
2	91.51	55.33	146.84	1.98
3	105.19	54.50	159.69	2.16
4	109.28	53.99	163.27	2.21
Average:	**101.68**	**55.18**	**156.85**	**2.12**

Total values of the crude oil considering the production of Basic, Intermediate and Final Petrochemicals with out Refineries.

Period	Total PV USD/barrel	Calculated price USD/barrel	Total US$/barrel	Number of times Greater than the export price of the Mexican mixture in October of 2007 (74 USD/barrel)
1	29.493	56.89	86.383	1.17
2	32.148	55.33	87.478	1.18
3	33.957	54.50	88.457	1.20
4	38.053	53.99	92.043	1.24
Average:	**33.41**	**55.18**	**88.59**	**1.20**

CONCLUSIONES

EAO
Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo

CONCLUSIONES

- Es necesario reconocer y aceptar la problemática de la IPQ, para fortalecerla como un sector eminentemente nacional y promover su desarrollo definitivo sobre bases cuantitativas y no meramente especulativas.
- La IPQ, para poder crecer y desarrollarse efectivamente, requiere de decisiones estratégicas por parte del Estado, no sólo para su planeación, también para la Política Nacional de Ciencia y Tecnología y la Política Energética Nacional, ligadas indefectiblemente a aquella.
- La IPQ requiere de políticas estratégicas consistentes y permanentes, con un proceso de toma de decisiones que determinen su operación y desarrollo competitivo, que depende, como condición sine qua non, del abasto suficiente y competitivo de insumos básicos: energía y materias primas.

Haber redefinido la concepción entre PQ "básicos" y "secundarios", no ha resuelto el problema de la competitividad.

Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo

CONCLUSIONES

- La estrategia para la IPQ, debe partir del fortalecimiento del mercado interno para construir la plataforma que restituya y mejore la producción petroquímica.
- Al tiempo, debe ampliarse su competitividad con metas de exportación realistas basadas en el comportamiento de los actores en el mercado internacional.
- La IPQ requiere de políticas estratégicas consistentes y permanentes, con un proceso de toma de decisiones que determinen su operación y desarrollo competitivo.

EA
Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo

CONCLUSIONES

Podría ser necesaria la reforma a la ley reglamentaria del artículo 27 constitucional, para definir el concepto de cadena petroquímica de producción, en lugar de definir "productos básicos y no básicos", advirtiendo cuáles de las cadenas deben seguir incorporadas a PEMEX

-) Considerar a las Refinerías Petroquímicas como una alternativa rentable para el desarrollo.

-) Poner en práctica los conceptos de *planeación a múltiples niveles* **con una Unidad Central coordinadora de las acciones de todos los demás actores y, por esta razón, debiendo estar representada por el Estado.**

Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo

¡¡¡GRACIAS!!!

DEFINICIÓN DE EXERGIA

- Es una función de estado termodinámica que proporciona una medida del trabajo aún disponible, como resultado de su condición de NO EQUILIBRIO respecto a condiciones termodinámicas definidas (P= 1 atm y T=298 K)
- Explícita a condiciones de régimen permanente. Puede calcularse en cualquier punto de un sistema a partir de las propiedades resultantes de un balance de energía.

Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo

Definición de exergia

- La exergia se define como el **máximo trabajo potencial** que puede realizarse de un material o de una forma de energía **en relación con su entorno**.
- La exergia de una sustancia se clasifica en dos: la **exergia física**, asociada con cambios de temperatura (exergia térmica), cambios en presión (exergia mecánica) y cambios en concentración (exergia de mezclado) y la **exergia química** asociada a cambios en la composición química de las sustancias.
- La exergia física puede calcularse con:

$$E_{ph} = H - H_0 - T_0(S - S_9)$$

donde H es la entalpía y S la entropía.

- Para componentes puros la exergia química puede determinarse por:

$$e_{ch} = -\Delta G_0 - \sum_i x_i e_{ch,i}^{\ entrada} - \sum_i x_i e_{ch,i}^{\ salida}$$

ΔG_0 es la función de energía libre de formación de Gibbs.

Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo

VASO DE POLIESTIRENO VERSUS TAZA DE PORCELANA

ESTUDIO EXÉRGICO DURANTE SU CICLO DE VIDA

EA
Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo

Producción y Utilización de una taza de porcelana (300 veces).

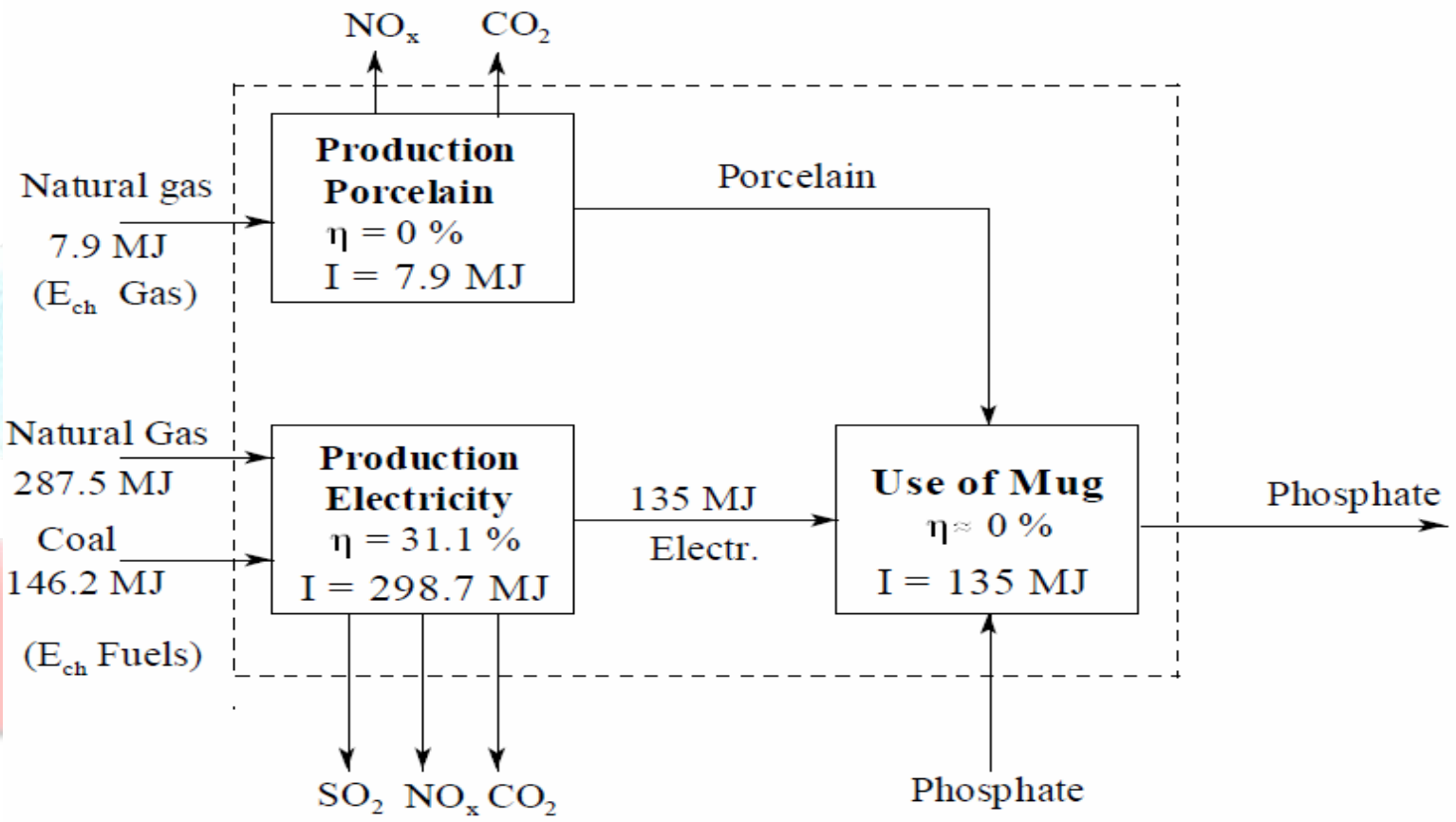


Figure 9.3 Exergy diagram of the life cycle of the porcelain mug

PRODUCCIÓN Y USO DE UN VASO DE POLIESTIRENO (300 VASOS).

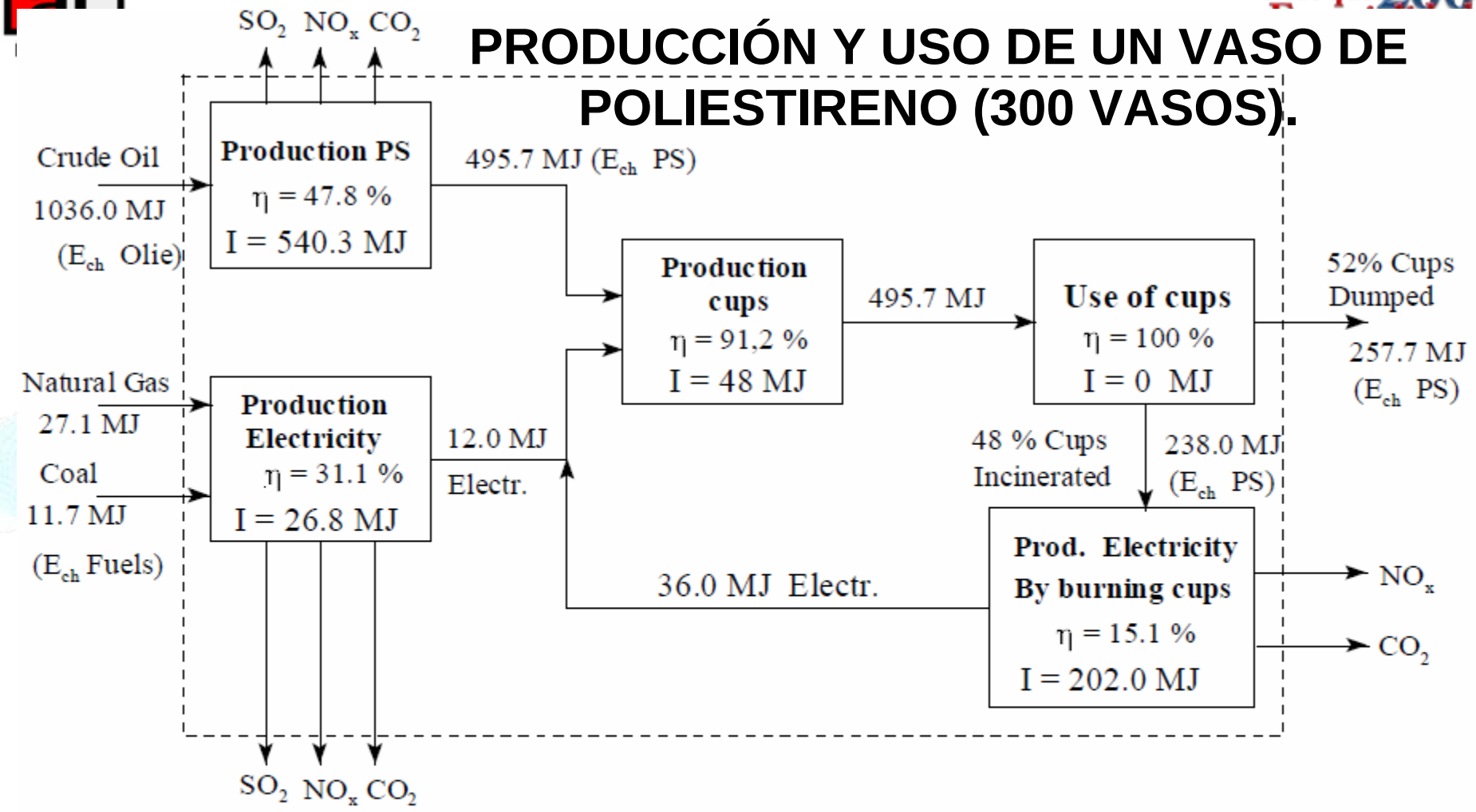


Figure 9.2 Exergy diagram of the life cycle of the 3000 disposable PS cups

Resultados

- La exergia perdida en el ciclo de vida de 3000 vasos de poliestireno es 817 MJ, mientras que la exergia perdida en el ciclo de vida de la taza de porcelana (utilizada 3000veces) es de 442 MJ, un factor de 1,85 menos, como puede verse en las figuras.

- Las principales causas de las pérdidas para los vasos son la producción de poliestireno y la quema de los residuos en una planta de incineración.

- Las pérdidas en el caso de la taza de porcelana se deben principalmente a la generación de electricidad y el lavavajillas.

- Fuente: Cornelissen, Reinerus Louwrentius, 1997, “Thermodynamics and sustainable development. The use of exergy analysis and the reduction of irreversibility”, P.hD Thesis, Netherlands

Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo

PRODUCCIÓN Y USO DE DOS PLÁSTICOS

- Polietileno y PET se evaluaron a lo largo de su producción teniendo como materia prima petróleo crudo y/o gas natural, su utilización y su disposición final.

Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo

CUANTIFICACIÓN DE LA EXERGIA del POLIETIENO

	Exergia acumulada desde la extracción de recursos hasta su producción: 86.00 G Joules/Kg de PE.		Contenido exérgico primario: 46.50 G Joules/Kg. de PE
	Exergia adicional para la conversión de residuos a un "segundo producto": GJ/Kg residuo Incineración*: 1.19 Relleno*: 0.33 Reciclamiento**: 7.19 (sólo 60%)		Contenido exérgico del 2º producto: GJ/Kg. de residuo Incineración: 20.86 Relleno: 0.41 Reciclamiento: 33.53

(*) Captación de Metano para obtener calor o electricidad.

(**) Para obtener el mismo producto excepto si una fracción no puede ser reciclada. Lo no reciclable se incinera para obtener calor o electricidad.

NUNCA SE DESECHA SIN LA OBTENCIÓN DEL "2º PRODUCTO"

CUANTIFICACIÓN DE LA EXERGIA del PET

	Exergia acumulada desde la extracción de recursos hasta su producción: 86.80 G Joules/Kg.		Contenido exérgico primario: 23.80 G Joules/Kg.
	Exergia adicional para la conversión de residuos a un "segundo producto" (GJ/Kg.) Incineración*: 1.19 Relleno*: 0.33 Reciclamiento**: 4.70 (sólo 60%)		Contenido exérgico (J) del 2º producto en base a 1 Kg. de residuo: Incineración: 13.13 Relleno: 0.14 Reciclamiento: 23.80

(*) Captación de Metano para obtener calor o electricidad.

(**) Para obtener el mismo producto excepto si una fracción no puede ser reciclada. Lo no reciclable se incinera para obtener calor o electricidad.

NUNCA SE DESECHA SIN LA OBTENCIÓN DEL "2º PRODUCTO"