

REVISTA ENERGETICA ENERGY MAGAZINE

Año 13 número 1

YEAR 13 NUMBER 1

enero- abril 1989

JANUARY - APRIL 1989



INTEGRACION DE AMERICA LATINA Y EL CARIBE A TRAVES
DE RECURSOS ENERGETICOS COMPARTIDOS
LATIN AMERICA AND CARIBBEAN INTEGRATION BASED
ON SHARED ENERGY RESOURCES

EVOLUCION DE LOS INSUMOS ENERGETICOS Y RACIONALIZACION DEL SECTOR TRANSPORTE EN BRASIL

Arnaldo Vieira de Carvalho **

RESUMEN

El trabajo analiza la evolución de la estructura energética del sector transporte brasileño en las dos últimas décadas, enfatizando los procesos de dieselización de los vehículos de carga y la alcoholización de los vehículos de pasajeros. La combinación de estos dos procesos dio por resultado el desplazamiento de la gasolina de su papel de combustible principal en el sector transporte en términos de consumo final, primero por el diesel (en 1979) y posteriormente por el alcohol etílico (1986). Ambos procesos implicaron un aumento de la eficiencia energética. En general, los motores de ciclo diesel y los de ciclo Otto, movidos por diesel y alcohol, respectivamente, ofrecían mayor rendimiento energético que los motores de ciclo Otto a gasolina desplazados en cada uno de los dos procesos citados. Mientras tanto, la reducción del consumo de gasolina implicó dificultades crecientes en el sector de refinación para atender la transformación del perfil de la demanda de combustibles. Además, causó dificultades a la política de precios de los combustibles porque esta utilizaba los ingresos obtenidos con la venta de la gasolina para mantener más bajos los precios de los otros combustibles con mayor impacto social (GLP para la preparación de alimentos y diesel para el transporte colectivo de pasajeros y cargas).

En el presente trabajo también se presenta un panorama de los cambios ocurridos en la situación energética brasileña, en la política de precios de los combustibles, en las posibilidades de los combustibles alternativos al diesel y en las perspectivas de corto y mediano plazo para minimizar los impactos de esta transformación de la estructura energética. Asimismo,

incluye una evaluación resumida de los programas de rationalización energética implantados en el sector transporte.

1. INTRODUCCION

En estos últimos treinta años la economía brasileña experimentó transformaciones profundas en el sentido de una creciente industrialización.

Un hecho importante fue la implantación de la industria automotriz al final de la década de los 50 y sus innumerables implicaciones en términos de infraestructura e insumos.

El proceso de industrialización admitía, entre otras premisas, que el precio del petróleo importado permaneciera estable. La producción nacional de este insumo era pequeña y prácticamente sin perspectivas de crecimiento.

El crecimiento de la economía en términos de PIB (Producto Interno Bruto) alcanzó una media anual de 9% a lo largo de la década de los 70. Por ello se retrasó el efecto de la primera crisis del petróleo, en 1973, sin resultados inmediatos en cuanto a transformaciones en la economía del país. Sin embargo, después de la segunda crisis, en 1979, durante dos años (de 1981 a 1983) hubo una variación negativa del PIB; recién en 1984 se recuperó su valor de 1980. El sector transporte no pasó indemne por este período: hasta hoy la industria automotriz no ha vuelto a alcanzar los niveles de producción de vehículos obtenido en 1979 (1 millón de vehículos anuales). El Programa Nacional de Alcohol (Proálcool), 1/ fue creado en 1975 y expan-

* Ponencia presentada en el Foro Ventajas y Desventajas de la Dieselización del Sector Transporte en América Latina, co-patrocinado por el Ministerio de Energía y Minas de Colombia y la Organización Latinoamericana de Energía y

realizada en Bogotá, Colombia, 31 de agosto - 3 de septiembre de 1988.

** El autor pertenece a PROMON ENGENHARIA S.A., Brasil.

dido después de la segunda crisis del petróleo. Entre otros beneficios, ayudó a minimizar los efectos negativos de las dificultades causadas por el petróleo en el sector transporte, y fue responsable de una significativa transformación en la estructura energética de este sector.

Respecto al uso del diesel en el transporte es importante destacar que la política brasileña sobre combustibles no permite su utilización para vehículos de pasajeros o de uso mixto. Solo los vehículos comerciales están autorizados a operar con diesel, por ello el proceso de dieselización que se discutirá no se refiere a automóviles sino básicamente a camiones.

En el contexto de escasez de recursos energéticos y financieros se crearon varios programas de conservación y racionalización en el uso de la energía en varios sectores de la economía. En el sector transporte los resultados fueron significativos, pero en el Brasil aún no alcanzan los valores que han logrado en los países desarrollados. Todavía queda mucho espacio para la ampliación de los programas existentes y la creación de otros nuevos.

2. LA SITUACION ENERGETICA BRASILEÑA Y EL SECTOR TRANSPORTE 2/

En 1986 el consumo total de fuentes primarias de energía en Brasil alcanzó alrededor de 177 millones tep (toneladas equivalentes de petróleo). La evolución de la oferta total de estas fuentes se indica en la Figura 1 para el período 1972-1986. Allí se verifica que la oferta creció a una tasa promedio anual de 6% en dicho período, a pesar de la recesión económica y la crisis energética mundial. Es interesante señalar también el elevado crecimiento de la contribución de la hidroenergía y el hecho de que, incluso antes de la llamada primera "crisis" del petróleo, ocurrida en 1973, las fuentes renovables de energía ya eran responsables de más de la mitad del total del consumo energético del país.

El petróleo, que representaba el 40% del total del consumo de fuentes primarias en 1972, aumentó su participación, alcanzando un máximo de 43% en 1975, momento en que la producción doméstica de petróleo era inferior a la de diez años antes. La producción nacional de petróleo continuó reduciéndose hasta 1979, mientras que su consumo total seguía creciendo. En ese año se llegó a un máximo de dependencia externa del petróleo de cerca del 85%, tal como se indica en el cuadro 1. En ese mismo año se alcanzó también, en términos absolutos, el máximo de importación líquida de petróleo y derivados; en promedio se importaron diariamente cerca de 1 000 000 barriles equivalentes de petróleo.

El sector transporte, vital para el desarrollo integrado del país, considerando su extensa dimensión territorial, dependía mucho del petróleo: 97% del consumo energético del sector estaba representado por derivados del petróleo, tal como se indica en el cuadro 2. Además, también era el principal responsable del

consumo de petróleo en el país. Cerca del 58.5% del consumo final de los principales derivados energéticos del petróleo se desviaba al sector transporte en 1972, tal como se indica en el cuadro 3.

Esas circunstancias de extrema dependencia del sector transporte en relación con el petróleo y del Brasil respecto al petróleo importado, precisamente en una época en que hubo grandes aumentos de sus precios en el mercado internacional eran relevantes 3/, abrieron espacio, en 1975, para la creación de Proálcool y para la implementación de diversos programas de racionalización en el sector transporte, tal como se presenta en la sección 3.

Para ilustrar el impacto del aumento del precio del petróleo importado por Brasil, puede citarse que los gastos necesarios para su importación pasaron de un nivel de US\$ 500 millones en 1972 a US\$ 2,6 mil millones en 1975 y a US\$ 9,7 mil millones en 1981, representando respectivamente el 12%, 30% y 41% de las exportaciones del país en aquellos años. Ese aumento prácticamente anuló los grandes esfuerzos realizados para mejorar la balanza comercial: las exportaciones brasileñas pasaron de US\$ 4 mil millones en 1972 a US\$ 24 mil millones en 1981 sin aliviar sustancialmente, la presión sobre la balanza comercial.

La situación energética actual de Brasil, en lo que se refiere al sector transporte, presenta características muy diferentes de las de hace 10 a 15 años atrás:

- El petróleo aún es responsable por una parte relevante del consumo total de fuentes primarias del país (33% en 1986), sin embargo la dependencia externa se redujo al 45.5% en 1986 como resultado de significativos progresos en la producción doméstica de petróleo (600 000 barriles/día en 1987).

- El petróleo importado no tiene la misma significación que en el pasado, puesto que, además de que la producción interna ha aumentado, su precio en el mercado internacional se redujo (alcanzando en promedio US\$ 15,13/barril CIF, Brasil, en 1986 y cerca de US\$ 18/barril CIF, Brasil, en 1988), disminuyendo el gasto líquido en importaciones de petróleo y derivados (US\$ 2,2 mil millones en 1986). Asimismo, la balanza comercial viene obteniendo niveles considerables de superávit (US\$ 13 mil millones previstos para 1988).

- Los resultados de Proálcool fueron relevantes, contribuyendo en 1986 con el 23% del consumo total de energía del sector transporte y superando el consumo de gasolina que había sido durante muchos años el principal combustible para el sector. Desde 1979, cedió su lugar al diesel, responsable del 44% del consumo final del sector en 1986. Detalles sobre esta marcada modificación en el sector transporte, en términos energéticos, se presentan en la sección 4.

3. PROGRAMAS DE RACIONALIZACION ENERGETICA EN EL SECTOR TRANSPORTE

Habiendo transcurrido una década y media desde el inicio de la primera crisis del petróleo, y de haberse logrado un acuerdo social sobre el uso indiscriminado de recursos naturales, en ciclos distintos de los de su regeneración, es interesante evaluar lo que fue y aún puede ser realizado en Brasil para minimizar el problema. El sector transporte fue especialmente afectado por esta crisis, según se describió en la sección 2.

En este contexto, agravado severamente por la crisis económica, simultánea con la crisis energética, se desarrollaron estrategias y programas de racionalización, de mayor o menor éxito, que se engloban en los puntos siguientes:

- conservación de la energía
- uso de fuentes alternativas
- racionalización modal y operacional
- políticas de costo real de la energía

En los programas relativos a la conservación de la energía y la racionalización modal/operacional se buscaba, básicamente, la reducción del gasto energético por tonelada de carga o pasajero transportado. Cabe señalar que la relación Energía/PIB del sector transporte evolucionó de 1972 a 1986, de cerca de 1970 tep/Cz\$ 10^3 a 1 400 tep/Cz\$ 10^3 , en moneda de 1970 [MME, 1987].

A continuación presentamos algunas de las iniciativas tomadas en busca de conservar la energía. No todas presentan resultados compensadores por razones políticas, económicas, de comportamiento social, etc.

Transporte de pasajeros

- Restricciones en el uso del transporte individual; estímulo al transporte colectivo.
- Reducción de frecuencia de los ómnibus intermunicipales buscando alcanzar índices de 75-80% de ocupación.
- Revisión de frecuencias/itinerarios de ómnibus urbanos.
- Reestructuración del sistema de transporte colectivo urbano (vial, ferroviario, metro).
- Renovación de la flota de ómnibus, acelerando el retiro de vehículos con más de 10 años de vida útil.
- Modernización del sistema de control de tránsito.
- Establecimiento de vías urbanas rápidas para colectivos.
- Incentivo al desarrollo de vehículos más eficientes.
- Limitación de la velocidad máxima en las rutas (80 km/h).
- Limitación de la circulación de vehículos particulares en áreas congestionadas.
- Implantación, en algunas ciudades, de sistemas de ómnibus eléctricos (tranvías).

De las iniciativas señaladas anteriormente, la restricción en el uso del transporte individual no encontró apoyo en la población, y la obtención de resultados dependerá de amplias y continuas campañas.

Las otras iniciativas obtuvieron éxitos localizados, sin alcanzar valores globales en la reducción del consumo. Son necesarios nuevos esfuerzos en la implementación de metodologías administrativas y de concientización pública y empresarial adecuadas.

Transporte de cargas

- Preferencia por modalidades de transporte energéticamente más eficientes. Este tipo de programa se basa principalmente en políticas de precios de los combustibles e incentivos fiscales y de crédito, ya que el pensamiento empresarial tiende a maximizar el beneficio económico. Las campañas de concientización ofrecen efectos relativamente limitados.
- Desarrollo del transporte intermodal (aplicación de "containers", "piggy-back", navíos "roll-on/roll-off", adaptación de los puertos), capacidad de almacenamiento, uniones intermodales,etc. Esta actividad cuenta con un considerable desarrollo en Brasil. El desenvolvimiento del cabotaje y la navegación fluvial es parte de este proceso. Debemos recordar que el transporte de carga por vías fluviales, energéticamente muy eficiente, obviamente tiene aplicaciones localizadas (el porcentaje de carga transportada por vías fluviales pasó de 12.5% en 1979 a 18.6% en 1985 [GEIPO 1986])
- Modernización y ampliación de la red ferroviaria para dotarla de condiciones tales que sirvan mejor al transporte de carga: eficiencia, capacidad, velocidad; construcción de nuevos ramales, como el de Ferrovía do Aço (unión de los tres centros industriales mayores del país) y la Ferrovía da Soja (salida de la producción agrícola de Paraná), proyectos iniciados y no terminados por problemas financieros.
- Creación de centrales de carga e información sobre fletes, que viabilice el planeamiento de la distribución de cargas, la disminución de la capacidad ociosa del transporte y la mejor distribución de carga urbana e interurbana. El desarrollo de cooperativas y "pool" de empresas se presentan también como opciones que deben ser incentivadas.
- Conservación de la red vial. El mantenimiento de las rutas puede aumentar hasta un 30% el consumo de combustible [SEVERO 1983]. El control del exceso de carga por eje (necesidad de poner balanzas) es parte de un programa de conservación vial. Entrenamiento e información a los motoristas. Según datos del Departamento Nacio-

3. PROGRAMAS DE RACIONALIZACIÓN ENERGÉTICA EN EL SECTOR TRANSPORTE

Habiendo transcurrido una década y media desde el inicio de la primera crisis del petróleo, y de haberse logrado un acuerdo social sobre el uso indiscriminado de recursos naturales, en ciclos distintos de los de su regeneración, es interesante evaluar lo que fue y aún puede ser realizado en Brasil para minimizar el problema. El sector transporte fue especialmente afectado por esta crisis, según se describió en la sección 2.

En este contexto, agravado severamente por la crisis económica, simultánea con la crisis energética, se desarrollaron estrategias y programas de racionalización, de mayor o menor éxito, que se engloban en los puntos siguientes:

- conservación de la energía
- uso de fuentes alternativas
- racionalización modal y operacional
- políticas de costo real de la energía

En los programas relativos a la conservación de la energía y la racionalización modal/operacional se buscaba, básicamente, la reducción del gasto energético por tonelada de carga o pasajero transportado. Cabe señalar que la relación Energía/PIB del sector transporte evolucionó de 1972 a 1986, de cerca de 1970 tep/Cz\$ 10^3 a 1 400 tep/Cz\$ 10^3 , en moneda de 1970 [MME, 1987].

A continuación presentamos algunas de las iniciativas tomadas en busca de conservar la energía. No todas presentan resultados compensadores por razones políticas, económicas, de comportamiento social, etc.

Transporte de pasajeros

- Restricciones en el uso del transporte individual; estímulo al transporte colectivo.
- Reducción de frecuencia de los ómnibus intermunicipales buscando alcanzar índices de 75-80% de ocupación.
- Revisión de frecuencias/itinerarios de ómnibus urbanos.
- Reestructuración del sistema de transporte colectivo urbano (vial, ferroviario, metro).
- Renovación de la flota de ómnibus, acelerando el retiro de vehículos con más de 10 años de vida útil.
- Modernización del sistema de control de tránsito.
- Establecimiento de vías urbanas rápidas para colectivos.
- Incentivo al desarrollo de vehículos más eficientes.
- Limitación de la velocidad máxima en las rutas (80 km/h).
- Limitación de la circulación de vehículos particulares en áreas congestionadas.
- Implantación, en algunas ciudades, de sistemas de ómnibus eléctricos (tranvías).

De las iniciativas señaladas anteriormente, la restricción en el uso del transporte individual no encontró apoyo en la población, y la obtención de resultados dependerá de amplias y continuas campañas.

Las otras iniciativas obtuvieron éxitos localizados, sin alcanzar valores globales en la reducción del consumo. Son necesarios nuevos esfuerzos en la implementación de metodologías administrativas y de concientización pública y empresarial adecuadas.

Transporte de cargas

- Preferencia por modalidades de transporte energéticamente más eficientes. Este tipo de programa se basa principalmente en políticas de precios de los combustibles e incentivos fiscales y de crédito, ya que el pensamiento empresarial tiende a maximizar el beneficio económico. Las campañas de concientización ofrecen efectos relativamente limitados.
- Desarrollo del transporte intermodal (aplicación de "containers", "piggy-back", navíos "roll-on/roll-off", adaptación de los puertos), capacidad de almacenamiento, uniones intermodales, etc. Esta actividad cuenta con un considerable desarrollo en Brasil. El desenvolvimiento del cabotaje y la navegación fluvial es parte de este proceso. Debemos recordar que el transporte de carga por vías fluviales, energéticamente muy eficiente, obviamente tiene aplicaciones localizadas (el porcentaje de carga transportada por vías fluviales pasó de 12.5% en 1979 a 18.6% en 1985 [GEIPO 1986]).
- Modernización y ampliación de la red ferroviaria para dotarla de condiciones tales que sirvan mejor al transporte de carga: eficiencia, capacidad, velocidad; construcción de nuevos ramales, como el de Ferrovía do Aço (unión de los tres centros industriales mayores del país) y la Ferrovía da Soja (salida de la producción agrícola de Paraná), proyectos iniciados y no terminados por problemas financieros.
- Creación de centrales de carga e información sobre fletes, que viabilice el planeamiento de la distribución de cargas, la disminución de la capacidad ociosa del transporte y la mejor distribución de carga urbana e interurbana. El desarrollo de cooperativas y "pool" de empresas se presentan también como opciones que deben ser incentivadas.
- Conservación de la red vial. El mantenimiento de las rutas puede aumentar hasta un 30% el consumo de combustible [SEVERO 1983]. El control del exceso de carga por eje (necesidad de poner balanzas) es parte de un programa de conservación vial.
- Entrenamiento e información a los motoristas. Según datos del Departamento Nacio-

- nal de Tránsito (DNER) y del Ministerio de Transporte (MT), el mantenimiento correcto de los vehículos y la manera de conducir proporcionan ganancias de un 7 a 12% en el consumo de combustibles [CNE,s.d.].
- Control del acceso de los camiones de carga a vías urbanas: normas de acceso, vías específicas, horarios apropiados, integración del transporte urbano liviano, transporte pesado interurbano, asociado con centrales de carga.
- Mejora en la eficiencia energética de los vehículos: el Programa Voluntario de Economía de Diesel y Lubricantes (PRO-DÉL) [CNE, s.d.], establecido en el ámbito del Ministerio del Transporte (MT) y la Comisión Nacional de Energía (CNE), divulgaron los resultados de los esfuerzos realizados para mejorar la eficiencia energética de los vehículos, tales como: uso de turbo-compresores, que alcanzan economías de combustible del 5 al 16% [CNE, s.d.] y reduce la emisión de humo; uso de neumáticos radiales, lográndose economía de combustible de hasta el 16% [CNE, s.d.] (se observó que el uso de neumáticos radiales en vehículos pesados aún es poco significativo), además de un aumento notorio en su vida útil (hasta el 100%); uso de deflectores aerodinámicos, economizándose combustible entre un 4% y 10% [CNE, s.d.] (se observó que solo el 4% de la flota nacional poseía características adecuadas para el uso de ese aparato); ventiladores con termostato, mejorando el consumo en 5% [CNE, s.d.] y prolongando la vida útil de los motores; otros dispositivos y sistemas (aceleradores de dos etapas, mejora de los lubricantes,etc.).

Todos estos programas dieron buenos resultados, comprobados por la reducción en las relaciones Energía/PIB y Energía/t.km.

Con los programas de uso de fuentes/combustibles alternativos, se buscaba actuar sobre los niveles de la oferta y la demanda, viabilizando la disminución de la dependencia de fuentes externas de energía, principalmente el petróleo. El ejemplo más importante es lo sucedido con Proálcool, al que aludimos en la sección anterior. Este programa, exitoso en la sustitución de gasolina en los automóviles, pasó, a partir de 1983 (Decretos CNP/DIRAB no 134 y 206), a ser implantado en la flota de camiones de transporte de la industria del sector azucarero-alcoholero, estimada hoy en cerca de 23 000 vehículos. Se espera que con la transformación de la flota en la mencionada industria, que usaría alcohol e incluso metano (proveniente de la fermentación anaeróbica de vinazas), se logre una sustitución de 60 000 barriles/diarios de diesel en 1995 [CNE, 1988 (b)].

Otros programas en estudio y desarrollo son el del uso de gas natural como sustituto del diesel en ómnibus urbanos (sustitución de 39 000 barriles/día de diesel en 1995 [CNE, 1988 (b)]), ya implementado en algunas capitales del país; la utilización de motores de ciclo diesel que operan con aceites vegetales (no viables económicamente en la actualidad por los precios vigentes del petróleo y de los aceites vegetales en el mercado internacional); motores de ciclo diesel de doble alimentación; motores de ciclo Otto a alcohol para vehículos medianos, pesados y otros, tal como se describe en la sección 6.

Los programas/estrategias de costo real de energía están fuertemente influenciados por variables económicas (principalmente políticas de control de la inflación), e intersectoriales. Las políticas de precios de los combustibles, asociadas con el uso de incentivos fiscales y créditos, son importantes instrumentos para dirigir el sector hacia metas previamente planeadas. La interferencia de variables extrasectoriales puede considerarse normal, dada la complejidad de la economía del Brasil, y debe ser trabajada políticamente, a los niveles de estrategia y planeamiento gubernamentales.

En la siguiente sección de este trabajo se presenta detalles de las influencias de las políticas de precios en las transformaciones de la estructura energética en el sector transporte.

Para concluir esta sección, cabe señalar que, a pesar de los resultados alcanzados, queda mucho por hacer en la racionalización energética del sector transporte. Es necesario establecer mecanismos gerenciales más eficaces e instrumentos auxiliares adecuados, teniendo presente las graves limitaciones en cuanto a las disponibilidades financieras del país.

4. INFLUENCIA DE LA POLITICA DE PRECIOS Y LAS TRANSFORMACIONES DE LA ESTRUCTURA ENERGETICA DEL SECTOR TRANSPORTE

De acuerdo con lo presentado en la sección 2, e ilustrado por el cuadro 2, la gasolina fue el combustible principal del sector transporte en Brasil hasta 1979, año en que fue superado por el diesel, y posteriormente también por el alcohol. Esto se debe al efecto combinado de políticas de precios de los combustibles (que en Brasil están totalmente regulados por el gobierno a través del Consejo Nacional del Petróleo, CNP) y los programas de racionalización implementados en el país en estas dos últimas décadas.

4.1 Evolución de los Precios de los Combustibles para el Transporte

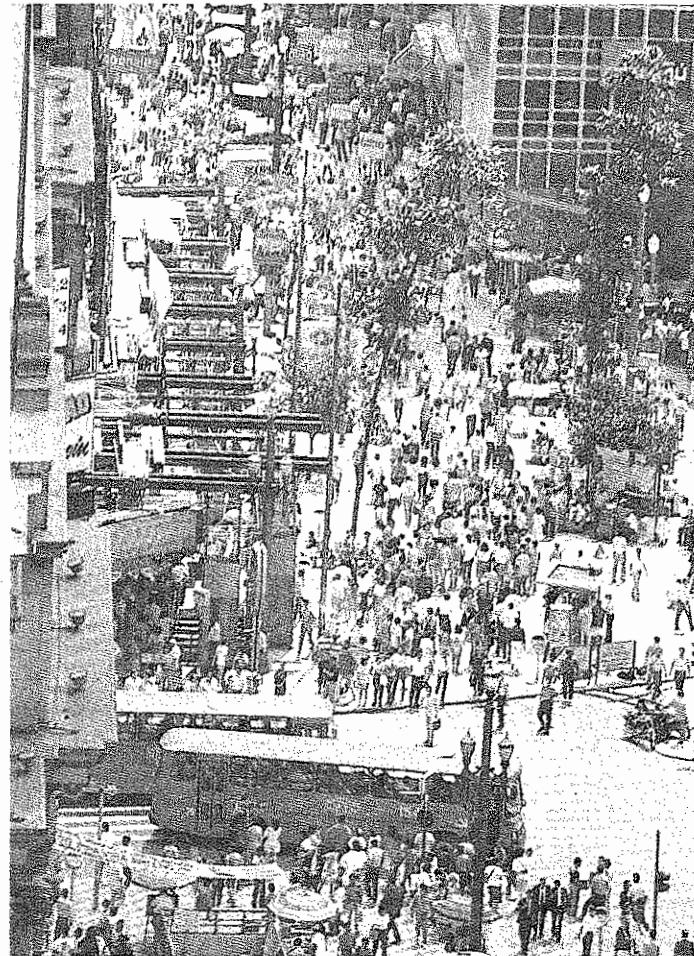
La reciente evolución de los precios de los tres combustibles principales para el sector transporte se presenta en la Figura 2, donde se verifica que, después de 1973, hubo tres fases claras en cuanto al compor-

tamiento de los precios [CNE, 1988 (b); Goldemberg, 1981]:

- La primera, hasta 1978. La gasolina duplicó su precio en términos reales con respecto a 1973, mientras que el diesel tuvo un aumento real moderado (sólo del 38%), mucho menor que el del petróleo, como consecuencia de la reducción de la alícuota del Impuesto Único sobre los Combustibles. Así, el precio de la gasolina subió muy por encima de los valores internacionales y el del diesel creció sólo hasta los niveles correspondientes a dichos valores. La política en este período fue de total desaliento para el uso de la gasolina, al mismo tiempo que la recaudación, obtenida con

inferior al del crecimiento del precio de la gasolina. En este período, el alcohol hidratado fue lanzado al mercado con precios que inicialmente oscilaban alrededor del de la gasolina, hasta que se definió la política de mantener una relación de 0.59 y posteriormente de 0.65 (el equivalente en razón del poder calorífico alcohol/gasolina) entre el precio final al consumidor de alcohol hidratado y el precio final de la gasolina, tal como se indica en la Figura 3.

Finalmente, la tercera fase, que corresponde al período 1985-86. Primero se congelaron por casi seis meses las tarifas y precios públicos como medio para reducir las expectativas inflacionarias al comienzo de 1985. Se deterioraron los precios



su venta, subsidiaba los precios de los otros derivados. El aumento de precios de estos últimos alimentaría la inflación por el traslado de ese aumento a los productos finales (caso del diesel, ya empleado ampliamente en los transportes de carga y pasajeros, y el aceite combustible en la industria en general).

- Una segunda fase, de 1979 a 1984. Al inicio se mantuvieron aumentos mayores para la gasolina (hasta 1980), aunque enseguida se corrigieron parcialmente las distorsiones provocadas por la primera fase: los precios del diesel subieron mucho más que los de la gasolina; sin embargo, su aumento acumulado, en relación con 1973, fue

de los combustibles en términos reales, lo que vino a coincidir, en 1986, con la caída del precio del petróleo en el mercado internacional. A finales de 1986, con la creación del empréstito obligatorio sobre la gasolina y el alcohol y de los impuestos sobre las operaciones de cambio (IOF), que fueron trasladados íntegramente al precio de la gasolina, se distorsionaron nuevamente los precios relativos, aumentó otra vez la distancia entre los precios de la gasolina, y los del alcohol y el diesel.

En la fase actual las tarifas y precios públicos inician su recuperación con aumentos por encima de los índices inflacionarios.

4.2 Evolución de la Estructura Energética del Sector Transporte

Las dos transformaciones principales ocurridas en la estructura energética del sector transporte brasileño fueron los procesos de "dieselización" y "alcoholización", que corresponden al ya citado fenómeno de desplazamiento de la gasolina primero por el diesel y posteriormente también por el alcohol, fenómeno ilustrado en el cuadro 2.

El análisis siguiente se centrará en el transporte vial, dado que éste representa la mayor parte del consumo energético; básicamente aún depende del petróleo. De acuerdo con lo mostrado en el cuadro 3, la estructura del consumo final de los principales derivados del petróleo en 1972 en el Brasil indicaba que el transporte vial era responsable por el 76% de todo el diesel consumido en el país y por el 90% del consumo de derivados del petróleo del sector. En 1986 el transporte vial era todavía el que consumía el 70% de todo el diesel en el país y 82% del consumo de derivados del petróleo del sector transporte. Cabe registrar aquí el elevado crecimiento del consumo de los subsectores de transporte aéreo y fluvial que duplicaron su contribución relativa alcanzando, respectivamente, cerca del 9% y 7%, del consumo de derivados en el sector.

Centrado así el análisis en el transporte vial, es interesante abordar el comportamiento del crecimiento de la flota de vehículos, recordando que en Brasil solo los vehículos comerciales (por encima de un peso determinado) pueden ser autorizados a utilizar motores a diesel.

La evolución de la flota brasileña de vehículos en el período 1960-85, aparece en la Figura 4, donde se puede verificar que en 1960 los vehículos a gasolina representaban el 70% de la flota total del país, estimada en cerca de 520 900 vehículos. Esta participación se redujo a un mínimo de 65% en 1964, volviendo a crecer hasta estabilizarse durante el período 1975-1979, a un nivel del 92% de la flota total, estimada en cerca de 8 millones de vehículos en 1979. En ese año se introdujeron en el mercado los vehículos movidos por alcohol hidratado, lo que provocó que la participación de los vehículos a gasolina en el total de la flota decreciera rápidamente, alcanzando en 1986 aproximadamente el 65% del total de la flota, estimada entonces en 11 500 000 vehículos. En 1986, la participación de los vehículos a alcohol hidratado en el total de la flota ya correspondía a cerca del 27%, i.e., aproximadamente 3 millones de vehículos. Actualmente (julio/88) se estima que la flota de vehículos a alcohol se aproxima a los 4 millones de unidades, correspondiendo a cerca de un tercio de la flota total del país; y la participación de los vehículos a gasolina representa poco más de la mitad de la flota total y el balance (cerca de 10%) se debe a los vehículos a diesel.

Esta acentuada penetración de los vehículos a alcohol puede ilustrarse también por su participación en el total de las ventas de automóviles de pasajeros en el

período 1979-1987, como se indica en la Figura 3. Puede notarse que esta introducción no fue lenta, sino que creció rápidamente después de la liberación de las venta al público en 1979 y 1980, cayó marcadamente en el año siguiente y volvió a recuperarse en 1982. Las oscilaciones de 1979-1981 fueron causadas básicamente por una euforia inicial de los consumidores combinada con el recelo generalizado debido al conflicto Irán-Irak (este último era entonces el principal proveedor de petróleo a Brasil). A esta euforia le siguió una inmediata desilusión por el desempeño de los vehículos a alcohol, por la indefinición de la política de precios de los combustibles, por informaciones contradictorias sobre Proálcool y sus reglamentaciones, incluyendo amenazas de falta de aprovisionamiento de alcohol, y por la no materialización de la escasez de petróleo.

Finalmente, estas indefiniciones fueron aclaradas en 1982. Se crearon nuevos incentivos para los vehículos a alcohol, su desempeño alcanzó progresos sustanciales, y sus ventas volvieron a niveles elevados vigentes hasta hoy. Debe notarse que este comportamiento se mantuvo a pesar del aumento relativo del precio del alcohol respecto al de la gasolina (de una relación de 0.59 a 0.65) ocurrido en 1984, como se indica en la Figura 3.

Las ventas totales de vehículos a alcohol para el mercado interno en 1987 representaron el 94 % del total de ventas de vehículos a alcohol y gasolina, lo que ilustra la preferencia de los usuarios [ANFAVEA, 1988].

Actualmente, los incentivos para tal comportamiento se limitan al establecimiento de una diferencia de precios entre el alcohol y la gasolina, y una pequeña ayuda impositiva (IPI e IPVA). Así, la diferencia en los costos fijos de operación entre un automóvil a alcohol y otro a gasolina, prácticamente no existe. En cambio, la diferencia en los costos variables, básicamente los gastos en combustibles, permitían, hasta el 22 de junio de 1988, un beneficio de casi el 20% para el usuario de un automóvil a alcohol respecto al de gasolina, considerando que el consumo volumétrico específico de combustible (litros/km) de un vehículo a alcohol sea 25% superior a la gasolina y que la relación de precios alcohol/gasolina sea 0.65. A pesar de la elevación de la relación de precios alcohol/gasolina, que pasó a 0.69, fortalecida a partir del 23 de junio de 1988, todavía se obtiene un beneficio de casi 14% favorable al alcohol, en términos de gastos en combustibles.

Esta situación ya no se da respecto a la competitividad del vehículo comercial a alcohol en relación con el comercial a diesel, principalmente por la diferencia de precios entre los dos combustibles. En períodos de precios más favorables, como en 1983-1984, las ventas de vehículos comerciales a alcohol, que desplazó al diesel, llegaron a representar una parte no despreciable (cerca del 6% del mercado de camiones, tal como se señala en el cuadro 4). Sin embargo, en las actuales condiciones no es competitivo frente a la elevada diferencia en los costos variables, en favor de los

vehículos a diesel, los que no compensan la diferencia de costos fijos:

- Los costos variables para un vehículo comercial a diesel representaban, incluso después del aumento de los precios establecido a partir del 23 de junio de 1988, sólo 40% de los costos variables para un vehículo a alcohol, considerando el consumo volumétrico de combustible del vehículo a alcohol como un 70% superior al del vehículo a diesel y una relación de precios alcohol/diesel de 1.45.

Un proceso similar causó la "dieselización" de la flota de camiones de Brasil, desplazando a la gasolina, iniciada incluso antes de las denominadas crisis del petróleo. Este proceso aparece bien representado en la Figura 5 que muestra el comportamiento estimado de la evolución de la flota de camiones a gasolina y diesel en el periodo 1957-1985. Análisis hechos [PINHEIRO, 1983] sobre estos procesos de dieselización indican que la preferencia de los consumidores por los camiones a diesel guardaba una estrecha relación con la variación de los costos totales de operación de los vehículos (costos fijos y variables).

En otras palabras, los análisis de regresión y los modelos muestran que la decisión final respecto a la elección del tipo de camión en Brasil se hizo efectivamente en función de la extensión del uso previsto para el vehículo. Como en general los costos fijos de un camión a diesel son más elevados que los de gasolina y los costos variables se comportan de manera opuesta (por la política de precios de los combustibles que se practica), la preferencia por los vehículos a diesel se dio efectivamente cuando el kilometraje previsto para el vehículo superaba un determinado punto de equilibrio, donde los costos totales de ambos vehículos fueran idénticos ("break-even point", ver Figura 6). Tal evidencia se ve cuando se analiza las correlaciones del comportamiento de la flota y las ventas con variables como por ejemplo la razón entre los precios de la gasolina/diesel, y cuando se verifica que las regresiones no son tan significativas como las relacionadas con la diferencia de gastos efectivos en combustibles, los que tienen en cuenta también el precio absoluto del combustible y el consumo de combustible por vehículo [PINHEIRO, 1983]. 4/

Las series históricas que se muestran en el cuadro 5 indican que la variación de la razón de precios (Pd/Pg) fue mucho menor que la variación de la diferencia de gastos efectivos en combustible $egPg - edPd$.

$$CFg + BE \cdot CVg = CFd + BE \cdot CVd$$

$$BE(CVg - CVd) = CFd - CFg$$

$$\begin{aligned} BE &= \frac{CFd - CFg}{CVg - CVd} = \frac{CFd - CFg}{CCg - CCd} = \frac{CFd - CFg}{egPg - edPd} \\ &= \frac{CFd - CFg}{Pg(eg - ed) \frac{Pd}{Pg}} \end{aligned}$$

Donde:

BE	= kilometraje promedio en el período que iguala el desempeño económico de ambos camiones (km/mes, km/año)
CFg	= costo fijo de un camión a gasolina (\$/mes, \$/año,...)
CFd	= idem diesel
CVg	= costo variable de un camión a gasolina (\$/km)
CVd	= idem diesel
CCg	= costo de combustible de un camión a gasolina (\$/km)
CCd	= idem diesel
eg	= consumo promedio de combustible del camión a gasolina (litro/km)
ed	= idem diesel
Pg	= precio de la gasolina (\$/litro)
Pd	= idem diesel

Este análisis es importante, pues si se quisiera invertir tal tendencia del mercado, no basta con alterar un poco la razón entre los precios, regresando por ejemplo, a la razón de precios de 1973, sin alteraciones significativas. Una política más eficaz sería combinar esa acción con modificaciones en los costos fijos de los vehículos para alcanzar resultados más concretos. A título de ejemplo, aumentos en los precios de los camiones livianos y medianos a diesel de 47% y 67% respectivamente, tendría, en 1983, el mismo efecto sobre el valor "break-even" del kilometraje que una elevación de 139% en el precio del diesel, manteniéndose constante los correspondientes parámetros para los camiones a gasolina.

De forma similar, se puede observar que la razón de 0.65 para los precios del alcohol/gasolina ofrecía un beneficio financiero al usuario del modelo a alcohol respecto al de gasolina equivalente a cerca de 3%-8% del valor de adquisición del vehículo, dependiendo del modelo [FERREIRA, 1986]. Así, a través de un aumento de 3%-8% en el precio de los automóviles a alcohol respecto a los de gasolina se podrían dirigir las ventas de nuevos automóviles a alcohol hacia aquellos usuarios con kilometraje por encima del promedio.

5. ESTRUCTURA DE REFINACION: LIMITACIONES PARA ACOPLARSE A LA DEMANDA

Hasta el inicio de los años 50, la capacidad de refinación instalada en el país representaba cerca del 10% de la demanda nacional de derivados de petróleo. A partir de la creación de Petrobras (1953/1954) la capacidad de refinación pasó a experimentar incrementos anuales significativos (35% en 1955, 70% en 1960, 100% a mediados de los años 70) hasta lograr autonomía en la refinación de derivados [PETROBRAS, 1986]. La capacidad brasileña de refinación alcanza hoy cerca de 1 400 000 barriles/día [MME, 1987].

La estructura de refinación privilegió, en su fase inicial (1954-1965), la producción de fracciones pesadas de petróleo, concomitantemente con la expansión

del parque industrial brasileño (bienes de capital), a través de unidades de destilación atmosférica y craqueo térmico. A mediados de los años 60, a partir de la expansión acentuada de la flota de vehículos a gasolina, la demanda por este derivado obligó a modificaciones en la estructura de refinación, entrando así en su segunda fase, que apuntaba a una mayor producción de fracciones livianas. Para ello, se implantaron unidades de destilación al vacío y craqueo catalítico en lecho o cauce fluido (FCC). La demanda de derivados pasó a experimentar una fuerte y continua alteración con el aumento del consumo de fracciones medias de petróleo a partir de la crisis del petróleo en 1973, de la influencia de las políticas de precios de los derivados (influenciados por políticas de combate a la inflación), de la aceleración del proceso de dieselización de la flota de vehículos de carga livianos y medianos, de la creciente mecanización (a diesel) de la agricultura y la creación de Proálcool.

La Figura 7 ilustra la evolución de la estructura de refinación brasileña, caracterizando las tres fases de las transformaciones del perfil de refinación.

A continuación se detalla la última fase de la evolución del parque de refinación brasileño, la del énfasis en el aumento de la producción de fracciones medias, principalmente el diesel.

La flexibilidad alcanzada en la segunda fase, con la implantación de unidades FCC y la destilación al vacío, permitió atender, en el inicio de la tercera fase (1973-1979), las modificaciones en la demanda, con algunas transformaciones en los equipamientos y procesos. En esta época, la demanda de fracciones pesadas todavía era superior a la de fracciones livianas y medianas, siendo estas dos últimas iguales.

Con la publicación del Modelo Energético Brasileño por parte del gobierno, en 1979, con miras al planeamiento energético de los años 80, surgieron expectativas que obligaron a la programación de grandes modificaciones en el parque de refinación brasileño. Las modificaciones que se presentaron entonces, sea bajo el prisma de programas de conservación de la energía, o bajo el prisma de la sustitución de derivados del petróleo (principalmente por alcohol y carbón) permiten inferir para el año 1985, una estructura de demanda de 36% para el diesel, 16% para el fuel oil y 14% para la gasolina. En resumen, las acciones complementarias aplicadas a la producción y demanda de derivados del petróleo en la tercera fase fueron las siguientes [PETROBRAS, 1986]:

Producción:

- modificación de las especificaciones:
 - diesel:
 - contenido de azufre
 - índice de cetano
 - faja de destilación
 - punto de brillo
 - viscosidad

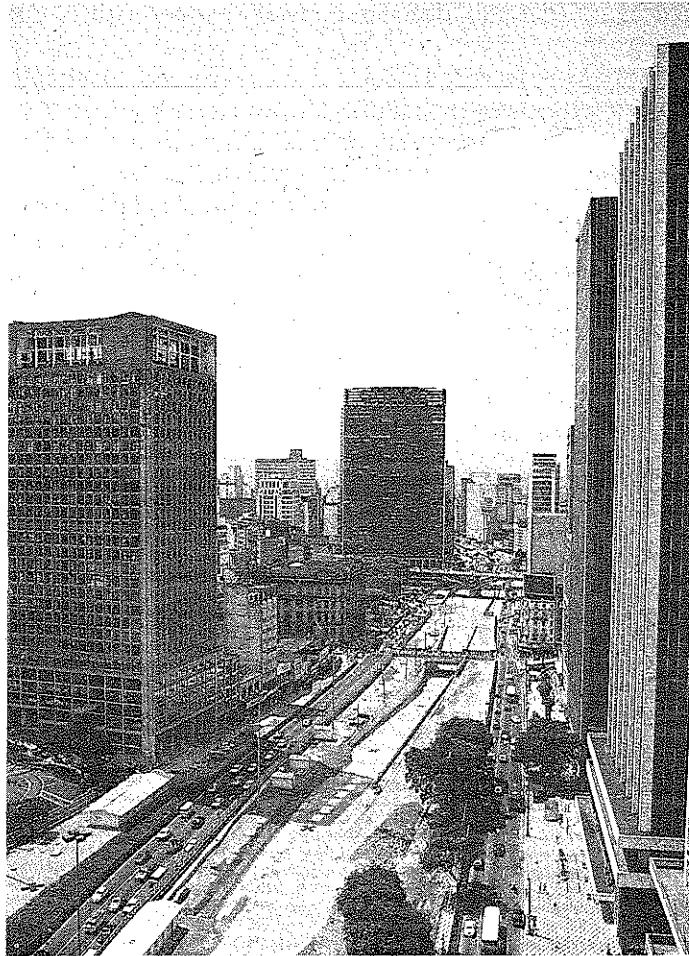
- aceite combustible:
 - contenido de azufre
 - viscosidad
 - gasolina:
 - índice de octano
 - asfalto:
 - penetración
 - GLP:
 - impermeabilidad
 - aceites lubricantes:
 - viscosidad
 - refinación:
 - modificación de las condiciones de operación
 - modificación del proyecto de unidades existentes
 - implantación de nuevas unidades y procesos
 - selección en la compra de petróleo
 - exportación e importación de derivados
- Demandas:
- políticas de precios
 - sistemas de cuotas con incentivos (fuel-oil ultraviscosos, diesel B, etc.)
 - cambio de equipamientos (vehículos, calderas, etc.)
 - implementación de sustitución de derivados:
 - alcohol
 - electricidad
 - biomasa
 - etc.

En el ítem "selección en la compra de petróleo" existen fuertes barreras para su ejecución eficiente, como son :

- mayor valorización de los petróleos livianos en el mercado internacional
- creciente participación del petróleo nacional, caracterizado por ser un petróleo "pesado" (especialmente el de Campos, Río de Janeiro)
- compra de petróleo por trueque con mercaderías exportadas

En el ítem "importación/exportación" existen limitaciones estacionales y de concentración de las exportaciones en unos pocos países (principalmente EEUU y Nigeria [PETROBRAS, 1986]), en un contexto mundial de autosuficiencia en la refinación, que probablemente se agravará en el futuro próximo por la implantación de grandes unidades en el Oriente Medio [DIAS, 1985].

Las modificaciones en las especificaciones de los derivados tuvieron como objetivos principales el "alargamiento" de la faja de diesel, por la incorporación de fracciones más livianas y más pesadas, y el aumento de flexibilidad de las unidades FCC. Tales modificaciones resultaron en derivados de características diferentes, principalmente en cuanto al contenido



de azufre, brillantez, viscosidad e índice de cetano.

Se posibilita entonces la incorporación al diesel de las corrientes LCO (corriente inestable de FCC utilizada para diluir el fuel-oil), gas-oil (originario de la destilación al vacío y altamente inestable), nafta craqueada (corriente de FCC desviada para la gasolina y el diesel - baja el índice de cetano), gas-oil de destilación (originario de la destilación atmosférica y generalmente inestable, con alto contenido de azufre), y gas-oil de coquización (corriente originaria de coquización de residuos al vacío y altamente inestable) [DIAS, 1985].

Las modificaciones en las especificaciones de los derivados están ligadas a los cambios en el proceso y equipamiento de refinación, con la implantación de unidades de hidrotratamiento, que permiten la inclusión de corrientes inestables de diesel, de unidades de hidrodesulfurización y otras.

En el área de optimización de la estructura de refinación, los programas implantados, o que se están implantando, son los siguientes:

- Programa de construcción de nuevas unidades
- Programa de craqueo de cargas pesadas
- Programa de minimización de residuos al vacío
- Programa de lubricantes y parafinas

En apoyo a estos programas, en el ámbito de la producción de derivados, se desarrollaron programas de

conservación de energía, seguridad, medio ambiente y calidad.

Todos estos programas están relacionados entre sí y con la necesidad de flexibilización del parque de refinación, sobre todo para promover la conversión de residuos pesados a través, principalmente, de procesos de FCC - fracciones pesadas (modificaciones mecánicas de los equipamientos y cambios de catalizadores), reducción de la viscosidad, coquización, desasfaltado e hidrocraqueo. Este último, aunque el más eficiente, no ha sido aplicado hasta el momento, en función de su alto costo de implementación y por falta de dominio tecnológico en Brasil. Además de las unidades de conversión de residuos, es muy importante la implantación de unidades de hidrotratamiento e hidrodesulfurización, lo que hace viable la incorporación de las corrientes obtenidas en los procesos sobre los derivados producidos.

Es importante destacar que las inversiones necesarias para la ampliación/modificación del parque de refinación son considerables, principalmente en un momento en que la economía brasileña y mundial pasan por un proceso delicado. Las inversiones en el sector petrolero, hoy volcadas casi exclusivamente hacia la exploración y producción (89% en 1985 [DIAS, 1986]), deben ser nuevamente jerarquizadas.

Los límites de atención a las necesidades del mercado por parte de la estructura de refinación no pueden ser considerados absolutos por cuanto dependen de las características de la materia prima básica y de la viabilidad de colocación de los derivados excedentes en el mercado. Sin embargo, dada la adopción de valores promedios, puede anticiparse problemas para mediados de la próxima década, incluso con la eventual ampliación del parque de refinación. El Programa de Acción Gubernamental (PAG), anticipando problemas para mediados de la próxima década, estableció metas para la capacidad/estructura de refinación, las que se tratarán en la sección 7.

Con base en previsiones hechas para 1990/1995 por Petrobrás, se puede llegar a la estructura de demanda a seguir [DIAS, 1986]:

	1990	1995
GLP	11,4 %	12,1 %
Livianos	21,0 %	16,3 %
Medianos	47,9 %	53,1 %
Pesados	19,1 %	17,5 %

De esta forma, se prevé, para 1993, la importación de 2 millones de m³ de GLP y 5 millones de m³ de diesel y la exportación de 3,5 millones de m³ de gasolina y 3,7 millones de m³ de fuel-oil.

En este contexto, es importante la acción sobre la demanda, sea con los programas de racionalización, o por el desplazamiento/sustitución de energéticos (reorientación de Proálcool, sustitución de diesel por alcohol, gasolina, aceites vegetales, gas natural, etc.).

Se debe destacar también que la planificación de la estructura de producción y demanda de derivados debe insertarse en una planificación energética integrada a la sociedad, con jerarquías definidas para maximizar el alcance socioeconómico de los recursos naturales y dotada de instrumentos eficaces de ayuda. Así mismo deben analizarse las inversiones del sector petrolero en conjunto con las de los sectores energéticos competitivos.

6. COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS PARA EL SECTOR TRANSPORTE

De acuerdo con lo presentado en las secciones anteriores, además de los combustibles "convencionales" del sector transporte, usados en todo el mundo (gasolina y diesel), en Brasil el alcohol etílico ha sido utilizado como combustible a escala comercial: su consumo estimado a lo largo del año 1987 alcanzó un promedio diario de 184 000 barriles equivalentes de gasolina, comparado con un consumo de gasolina propiamente dicha de 122 000 barriles/día en el mismo período.

El alcohol ha sido utilizado básicamente bajo dos formas: anhidro (prácticamente exento de humedad) e hidratado (equivalente a la mezcla azeotrópica, que contiene cerca de 4% vol. de agua).

El alcohol anhidro ya se utilizaba en mezclas con gasolina en diversos países, varias décadas antes de la crisis del petróleo de 1973. En Brasil, las primeras legislaciones sobre alcohol datan de la época del Imperio con el decreto No. 8363 del 31 de diciembre de 1881, relacionado con la concesión de privilegios e incentivos para los equipamientos utilizados en la producción de alcohol de azúcar de caña. En 1931 el decreto No. 19717 del 20 de febrero establecía que en un plazo de 4 meses el derecho de importación de gasolina solo podía ser ejercido después de que el importador hubiera comprobado la compra de alcohol de procedencia nacional en una proporción mínima de 5 % respecto a la gasolina a ser importada. Descripciones de 1934 [OLIVEIRA, s.d.] resumen ensayos efectuados en motores de combustión interna durante 14 meses, tanto en bancos de ensayos como en rutas, relacionados con la determinación del porcentaje más indicado de alcohol anhidro para agregar a la gasolina (cerca de 15%), teniendo en cuenta el efecto en el consumo de combustible, la estabilidad de la mezcla, etc. Eduardo Sabino de Oliveira, Fonseca Costa y Souza Mattos, pioneros de los trabajos sobre el alcohol combustible en Brasil tomaron parte en campañas, a fines de 1932, que llevaron a la adopción de mezclas de 60-40 en Río de Janeiro y a la conversión de casi 3 000 motores.

Durante el período 1942-1956 el contenido de alcohol en la mezcla alcohol-gasolina llegó a alcanzar 42% en el Nordeste del país. El agregado de alcohol anhidro a la gasolina se hacía como forma de absorber los excedentes del sector azucarero en caso de situaciones desfavorables en el mercado internacional de

azúcar, utilizando destilerías anexas a las usinas de azúcar.

Debido a la retracción del mercado internacional del azúcar como por ejemplo, durante el período 1966-1967, el agregado de alcohol anhidro a la gasolina alcanzó niveles elevados, equivalentes a 14% de la demanda de gasolina en el estado de São Paulo y 6% de la demanda en el país en su conjunto.

Después de la crisis del petróleo de 1973 y con la creación de Proálcool, hubo un aumento sustancial en la capacidad instalada de destilerías de alcohol, inicialmente anexadas a las usinas de azúcar y luego totalmente independientes de la producción azucarera. El agregado de alcohol anhidro a la gasolina pasó a hacerse en forma independiente del comportamiento del mercado del azúcar y sí con el objetivo de reducir la dependencia del petróleo importado. El agregado de alcohol anhidro a la gasolina fue creciente y desde 1983 toda la gasolina comercializada en el país contiene 22% de este alcohol.

Con la segunda crisis del petróleo en 1979, Proálcool se expandió y el alcohol hidratado fue lanzado como combustible de motores especialmente fabricados (o convertidos) para uso exclusivo de este combustible, sin necesidad de mezclarlo con gasolina. La red de distribución (puestos de abastecimiento) fue rápidamente ampliada en cerca de 3 000 puestos en 1980 y casi 17 000 en 1985.

Mientras tanto, esa penetración solo se dio efectivamente en el mercado de automóviles de pasajeros y de uso mixto, equipados con motores de ciclo Otto, desplazando a la gasolina, la que, tal como dijéramos antes, contenía 22% de alcohol anhidro. En el mercado de vehículos comerciales, que incluye camionetas de uso mixto y de carga, camiones y ómnibus, en los que se permite el uso de diesel, la penetración del alcohol hidratado fue regular para los vehículos livianos (camionetas y furgonetas) pero muy pequeña en los vehículos pesados (camiones y ómnibus), tal como lo muestran las ventas de vehículos en años seleccionados, ver cuadro 4. Las razones de esta menor penetración se relacionan básicamente con los precios de los combustibles y de los vehículos, los que determinaban que la preferencia de los usuarios de vehículos pesados recayera en los motores a diesel, tal como se presentó en la sección 5.

Dado que esta situación llevó a problemas crecientes en cuanto al aprovisionamiento de diesel, se han investigado diversos combustibles y concepciones como alternativas de sustitución del diesel.

Dentro de las alternativas del alcohol como sustituto del diesel, indicadas en la Figura 8, solo el uso del alcohol con aditivo, el empleo de inyección doble y de motores de ciclo Otto tuvieron aplicación comercial, en especial este último. La alternativa de mezcla de alcohol-diesel, que aparentemente sería la más simple, encontró dificultades debido a la estabilidad de la mezcla que es muy dependiente de la composición del diesel. En ciertos casos puede haber necesidad de emplear aditivos para evitar la reducción del índice de

cetano o para mantener la estabilidad de la mezcla, o ambas cosas.

De cualquier forma, independientemente de la alternativa, la sustitución de diesel por alcohol se verá dificultada si la política de precios de los combustibles no se cambia. En el caso de los vehículos comerciales livianos el reemplazo del diesel por alcohol hidratado deberá aumentar frente a las recientes resoluciones de elevar los impuestos sobre los precios de estos vehículos cuando están equipados con motores diesel y de reducirlos cuando son movidos a alcohol o gasolina [CNE, 1988, a].

Entre los demás combustibles indicados en la Figura 8 como eventuales alternativas para el diesel, el que se presenta con mejores perspectivas es el gas metano o gas natural comprimido (GNC). Una de sus limitaciones por el momento es la red de distribución (puestos de abastecimiento) debido a la necesidad de contar con estaciones de compresión que requieren inversiones muy superiores a las que se necesitaron para la expansión de la red de abastecimiento del alcohol hidratado, que es básicamente convencional.

La experiencia internacional en el uso de GNC [CARVALHO, 1985] es amplia. Se puede citar a diversos países en los cuales se implementaron proyectos relevantes como, por ejemplo, los Estados Unidos de Norteamérica, Canadá, Nueva Zelandia y también en América Latina, como es el caso de Argentina. Se destaca el caso de Italia donde ya en 1981 existían 220 puestos de abastecimiento y cerca de 330 000 vehículos movidos a GNC, en su mayoría automóviles de pasajeros.

En Brasil, inicialmente se está enfatizando el uso de GNC en aplicaciones en ómnibus urbanos, debido a una mayor facilidad en cuanto al abastecimiento y a los beneficios relativos a la emisión de contaminantes especialmente partículas y compuestos de azufre, en centros urbanos. Significativas experiencias están en marcha desde hace 4 años, con casi 30 ómnibus, en las ciudades de Río de Janeiro, São Paulo y Natal, entre otras. En una sola de estas experiencias, la de Natal, ya se acumulaba en junio de 1987, casi 240 000 km, habiéndose transportado 1 250 000 pasajeros [ABREU, 1987].

Asimismo hay experiencias importantes con automóviles de pasajeros como el programa de GNC para taxis en la ciudad de Río de Janeiro. Se debe mencionar también las experiencias pioneras con flotas de diversos vehículos conducidas por la Compañía de Saneamiento de Paraná (SANEPAR), Compañía de Saneamiento Básico del Estado de São Paulo (SABESP), Prefectura de São Paulo (LIMPURB), Compañía Estadual de Gas de Río de Janeiro (CEG), y Petrobrás, entre otras empresas.

Las primeras experiencias en Brasil estuvieron asociadas con el uso de metano producido en rellenos sanitarios o biodegradantes (incluso usando vinazas de destilerías de alcohol), pero la mayor utilización prevista sería de gas natural. Esto se debe al volumen creciente de reservas en varios lugares del país,

además de la posibilidad de aprovisionamiento de casi 30 millones m³/día de gas de Argentina, Bolivia y Argelia. Para efectos de planificación se estableció [CNE, 1986] para 1995 una meta de consumo de aproximadamente 6 millones m³/día de gas natural para el sector de transporte, equivalente a 12% del total del consumo de gas natural en ese año en Brasil. Se considera que hasta 1995 será posible una sustitución anual de 2,3 millones m³ (39 000 barriles/día) de diesel, utilizando GNC en 80 000 vehículos.

Se debe subrayar que en general todos los vehículos movidos a GNC son de tipo dual, o sea de operación alternativa gas/combustible líquido, siendo este último normalmente la gasolina. En Brasil, el segundo combustible es el alcohol hidratado que igual que el GNC, permite el uso de una tasa de compresión más elevada que la de la gasolina, optimizando así el desempeño del motor. Esta ventaja no se da en países donde el compromiso debe hacerse con las características de la gasolina y no del alcohol.

Otro combustible alternativo al diesel, motivo de una amplia investigación en Brasil, fue el grupo de aceites vegetales. Sin embargo, sus perspectivas promisorias no se materializaron por diversos motivos tanto técnicos como económicos. A nivel internacional este comportamiento no fue distinto, aunque el interés por la utilización de aceites vegetales como combustible de motores de ciclo diesel fuera tan antiguo como el mismo motor diesel, según lo registrado en numerosas publicaciones. Más recientemente, se realizaron varios esfuerzos con miras al uso de aceites vegetales de distinto origen como combustible de motores diesel en diferentes países, como por ejemplo: Australia (girasol), Malasia (dendé), Filipinas (coco), África del Sur (girasol), EUA (algodón, maní) y Zimbabwe (girasol) [TRINDADE, 1984].

En Brasil se investigaron aceites vegetales de diversos orígenes; sin embargo el aceite de soya mereció mayor atención, dado el elevado nivel de la producción nacional.

En general, el uso directo de aceites vegetales "in natura" ha sido impracticable (a no ser en mezclas de hasta con 20%-30% de aceites vegetales), por diversas razones, especialmente por su viscosidad que puede alcanzar niveles de 2 a 10 veces superiores al del diesel, dependiendo de la temperatura. La adecuada viscosidad del combustible de motores de ciclo diesel es esencial para el buen funcionamiento del proceso de inyección y de los filtros. Dificultades con la contaminación del aceite lubricante también han ocasionado barreras técnicas.

Así, propuestas de modificaciones de los aceites vegetales por medio de transesterificación y craqueo termocatalítico han sido investigadas con mayor detalle, por resultar productos con características más adecuadas para el uso como combustible de motores de ciclo diesel.

Entre las experiencias brasileñas sobre modificaciones de los aceites vegetales, se destaca el llamado "Programa OVEG I", coordinado por la Secretaría de

Tecnología Industrial (STI) e integrado por representantes de la industria automotriz, fabricantes de aceites lubricantes y la industria química, entre otros [FONSECA, 1985].

Se evaluó el empleo de 3 tipos de combustibles, todos basados en el aceite de soya:

- mezcla de 70% diesel/30% ester etílico
- 100% ester metílico
- 100% ester etílico

Se utilizaron cerca de 20 vehículos operados por unas 12 empresas, consumiendo aproximadamente 238 000 litros de la mezcla y 226 000 litros de ésteres, totalizando 660 000 km con mezcla y 490 000 km con los ésteres. Los resultados de las pruebas, en resumen, indicaron que había necesidad de compatibilizar los materiales que entran en contacto con el combustible, en función de la pérdida de potencia debido a la obstrucción progresiva de los inyectores, y un consecuente aumento en el mantenimiento; pero el problema más crítico es el de la dilución del aceite lubricante. En general, los problemas técnicos de desempeño y operación que fueron identificados pueden solucionarse económicamente. Sin embargo, aún queda la cuestión del costo de producción del aceite vegetal en relación con el costo del diesel. Históricamente los precios de los aceites vegetales han sido superiores a los del diesel - del orden de 5 veces en 1979, decreciendo hasta cerca del doble en 1988 y volviendo a subir después de la reciente caída del precio del petróleo. A esta situación debe añadirse el hecho de que el proceso de transesterificación debe causar un incremento de casi US\$ 200/t en el producto final. Además, este proceso resulta en una elevada producción de glicerina como subproducto, cuyo destino deberá preverse a tiempo. En la hipótesis de una sustitución efectiva del volumen del diesel consumido en Brasil en 1983 [TRINIDAD, 1984] por aceites vegetales transesterificados, el volumen de producción de glicerina sería equivalente al mercado mundial de este producto.

En relación con los otros combustibles alternativos al diesel para transporte, se debe señalar los esfuerzos hechos en Brasil durante el periodo 1979-1984, para desarrollar el gas pobre y el metanol, a partir de leña y el carbón vegetal como materias primas, aunque estos se han reducido sustancialmente en la actualidad.

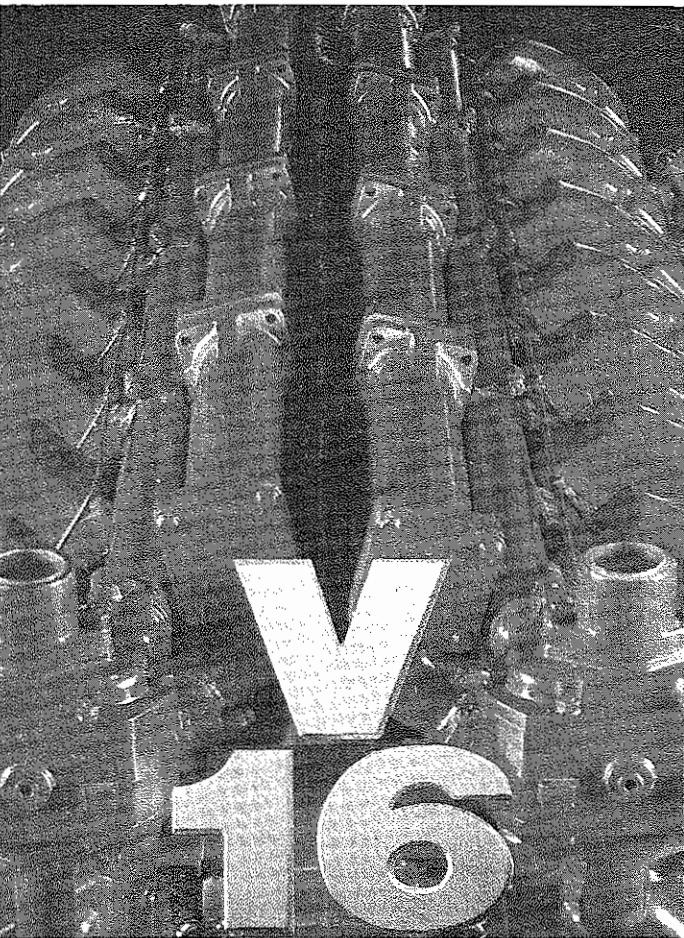
7. ANALISIS PROSPECTIVO

En las secciones anteriores se presentaron los contextos actual e históricos de la energía en el sector transporte de Brasil, así como las medidas de racionalización, las influencias de las políticas de precios, los programas de sustitución de derivados de petróleo, etc.

En esta sección cabe discutir las tendencias actual y futura del consumo y de la estructura energética en el sector transporte (en especial las relaciones con el diesel), englobando los siguientes items:

- competición alcohol-gasolina, diesel-gasolina
- políticas de precios e incentivos
- evolución de la estructura de refinación
- sustitución de derivados del petróleo
- programas de racionalización/conservación de energía

La extrapolación de la tendencia de crecimiento de la flota de vehículos de pasajeros a alcohol y gasolina, manteniendo las políticas vigentes, se puede ver en el cuadro 6 [DIAS, 1986] utilizando la curva de retiro que diferencia la vida útil de los vehículos por año de fabricación.



La concretización del escenario anterior implicaría la ampliación y reformas drásticas en el parque de refinación, generación de grandes excedentes de determinados derivados, además de exigir cambios en la estructura de precios de los energéticos, que, en la actualidad, subsidia los precios de algunos (GPL, diesel, nafta, alcohol hidratado) y pone sobreprecios a otros (gasolina, alcohol anhidro). Debe considerarse también que el alcohol hidratado no se produce todavía a costos competitivos con el del petróleo, a los niveles de precio de este energético en el mercado internacional. Este hecho, a pesar de las ventajas sociales (creación de empleos, retención del hombre en el campo, desarrollo agro-económico, etc.) y estratégicas de Proálcool, implica entre otras desventajas subsidios

pagados por los contribuyentes, mayor inflación y pérdida de la competitividad de la economía brasileña.

Sin embargo, es importante una modificación de la política del sector, incentivando el aumento de la productividad agro-industrial del sector azucarero-alcoholero, estudiando nuevamente la política de precios alcohol-gasolina, y la de impuestos (IPI) que inciden sobre los vehículos. De esta forma, se debe montar una estructura costo fijo-costo variable que segmente el mercado por kilometraje promedio anual.

Esta política ya comenzó a ser implantada a través del aumento de los precios de los combustibles del 23 de junio de 1988, que modificó la relación de precios alcohol/gasolina a 0.69 en lugar del 0.65 anterior (relación entre el poder calorífico de los combustibles). Se podrá seguir modificando esta relación en forma gradual.

Otras políticas del sector se refieren a la posible mezcla de un 3% de gasolina al alcohol hidratado (se estudiarán porcentajes mayores) y la disminución del porcentaje de alcohol anhidro en la gasolina (22% actualmente).

La extrapolación de la tendencia de crecimiento de la flota de vehículos de carga, presentada en la Figura 5, a partir de una curva lineal de retiro, nos muestra un probable agravamiento de los problemas con la estructura de refinación y con la dependencia energética del petróleo.

Se deberá implementar programas con miras a disminuir el porcentaje de vehículos de carga y transporte colectivo a diesel, sin dejar por eso de privilegiar el transporte en su forma energética más eficiente. Recordemos que la evolución de la flota de carga en el pasado reciente había privilegiado los vehículos pesados, de menor consumo energético por t.km. Los programas a seguir están previstos para ser implementados en el corto plazo [CNE, 1988 (a)]:

- Elevar la alícuota del IPI de los vehículos livianos de carga movidos a diesel.
- Prohibir la conversión de vehículos ciclo Otto a ciclo diesel.
- Disminuir proporcionalmente el IPI de los vehículos de carga de ciclo Otto.
- Actuar conjuntamente con el sector azucarero-alcoholero para sustituir el diesel en los vehículos de carga del sector.
- Promover la evaluación de las investigaciones sobre el motor de ciclo Otto para vehículos pesados.
- Ayudar a los proyectos en marcha en algunas ciudades para la utilización de vehículos movidos a GNC (ómnibus y camiones) y expandirlos a otras ciudades.

En lo que respecta a la estructura de refinación, el Plan de Acción Gubernamental (PAG) prevé la ampliación/modificación de la estructura de refinación

y otras acciones, conforme a los descrito en la sección 5. Las proyecciones del PAG para la producción y presentan en el cuadro 7 [CNE, 1988, (b)].

Las políticas y acciones a realizarse en el corto plazo se relacionan, en su mayoría, con la conservación de los programas en vigor para ampliaciones y reformas del parque de refinación, privilegiando los procesos con mayor producción de fracciones medias de petróleo (coquización, hidrotratamiento, FCC, cargas pesadas, hidrocraqueo, etc.). Se deben hacer esfuerzos considerables para diversificar los países compradores (hoy la exportación se concentra en gran parte en los EE.UU. y Nigeria). Las modificaciones en las especificaciones de los combustibles deben tener en cuenta los efectos sobre el medio ambiente.

Con relación a los programas de racionalización/conservación de energía deben reactivarse los existentes y desarrollar instrumentos para un mejor control de los resultados. Se debe dar atención especial a la administración adecuada del transporte de cargas..

Se podría implementar incentivos fiscales para los vehículos con tecnologías más económicas (motores a turbina, inyección electrónica, etc.).

La ampliación y mejoras en la red ferroviaria, no implementadas por falta de recursos financieros, deberían continuar como prioridades de la acción gubernamental, eligiendo aquellas cuyos beneficios sociales y financieros sean más rápidos y eficaces, así como también debe desarrollarse el transporte fluvial e intermodal en general.

8. CONCLUSION

Estuvo dirigido el proceso de dieselización en Brasil? No se puede afirmar que hubo un "programa" de dieselización. Observamos que desde el final de los años 50 la relación flota de camiones a gasolina/flota de camiones a diesel ha venido disminuyendo (ver figura 5). Este proceso experimentó una aceleración a mediados de los años 70, fruto de políticas que buscaban la reducción del consumo de gasolina, derivado que dominaba la refinación del Brasil, en ese entonces no existía la dieselización como objetivo. La racionalización económica de los transportistas provocó la dieselización de la flota.

La dieselización en el transporte de carga se juntó con la alcoholización de los vehículos de pasajeros, dejando la estructura de refinación en situación delicada. Se alcanzó la autosuficiencia en refinación en la década del 70. Actualmente el país ve la necesidad de grandes inversiones para la ampliación/reforma del parque de refinación, con miras a atender el crecimiento y la nueva estructura de demanda de derivados. Como alternativa y acción complementaria, el país ha realizado programas de racionalización energética y desarrollado otros de sustitución de derivados del petróleo. Se obtuvo un gran éxito, aunque todavía quedan grandes márgenes de desperdicios que deben evitarse y espacio para el desarrollo tecnológico que

viabilizará técnica y económicamente los combustibles alternativos (GNC, aceites vegetales, metanol, etc.). En la actual crisis económica, mundial y brasileña, se vuelve extremadamente importante la optimización de los recursos.

La búsqueda de soluciones energéticamente más eficientes deberá ser una meta permanente.

NOTAS

1. El Proálcool buscaba aumentar, con fines de sustitución de los derivados del petróleo, la producción de alcohol etílico (etanol), denominado simplemente "alcohol" a lo largo de este trabajo. El alcohol puede ser usado de diversas formas como combustible de motores de ciclo Otto o diesel, tal como se aclara más adelante en la sección 6. Cuando se lo utiliza mezclado con gasolina es necesario que sea bajo la forma de anhídrido (prácticamente exento de humedad) para minimizar los problemas de estabilidad de la mezcla. Para uso sin agregados de gasolina u otro combustible, puede ser empleado en forma hidratada (mezcla azeotrópica, por ejemplo).

Se estima que en 1987 se consumieron cerca de 1,6 millones de m³ de alcohol anhídrido (en mezclas de 22% de alcohol/78% de gasolina) y 11 millones de m³ de alcohol hidratado como combustibles en Brasil para 6,5 y 3,5 millones de vehículos, respectivamente.

Detalles sobre el efecto de estos valores en la estructura energética del sector se presentan en la sección 4.

2. Ver MME, 1987

3. Los precios del petróleo aumentaron, en términos CIF, Brasil, de US\$3,88/barril en 1973 a US\$12,55/barril en 1975; de US\$18,36/barril en 1979 a US\$36,59/barril en 1981.

4. Es conveniente subrayar que el valor "break-even" (además de otras variables) se calcula no solo en función del precio relativo, i.e., la razón precio gasolina/precio diesel (Pd/Pg), sino también de la diferencia de gastos efectivos en combustibles (eg Pg - ed Pd): [PINHEIRO, 1983].

BIBLIOGRAFIA

Abreu, Ricardo Simoes y Ferreira, Antonio Eustaquio S. Desenvolvimento de Omnibus Urbanos Mercedes-Benz a Gas Natural (en portugués). IV Simposio de Ingeniería Automotriz, Sao Paulo Asociación Brasileña de Ingeniería Automotriz (AEA), 1987.

ANFAVEA, Asociación Nacional de Fabricantes de Vehículos Automotrices. Estadísticas de Producción, Venta y Mercado Interno de Exportación de Vehículos, por Clase, por Combustible, (en portugués), 1988.

Carvalho Jr., Arnaldo Vieira de. Natural Gas and other Alternative Fuels for Transportation Purpose. Energy, Great Britain, Pergamon Press, 1985. p. 187-215

CNE, Comisión Nacional de Energía. Análisis y Propuestas para Uso de Gas Natural (en portugués).

Brasilia, 1986. 1V.

— Información al Plenario (en portugués), No. 01/20a, s.l. 1988. 6p. (a).

— Política de Combustibles Líquidos para Automóviles (en portugués). Brasilia, 1988. p.1-25. (b).

— PRODEL-Programa Voluntario de Economía de Diesel y Lubricantes (en portugués). s.l. s.d. 1V.

CNP,Consejo Nacional de Petróleo. Anuario Estadístico, año 1987 (en portugués). Brasilia, 1987. 1V.

Dias, Danilo de Souza. Estructura de Refinación y Posibilidades de Sustitución por Diésel (en portugués). s.l. COPPE/UFRJ, 1985, 33p.

— Perspectivas Futuras del Mercado Brasileño de Combustibles Líquidos: Estructura de Refinación de Petróleo y Alternativas para el Problema del Diesel (en portugués). Encuentro Perspectivas Energéticas Años 90. Río de Janeiro, 1986. p. 1-34.

Ferreira, Leo Rocha y Motta, Ronaldo Seroa d.

Revalorización Económica y Nuevos Ajustes para Proálcool (en portugués). Río de Janeiro, IPEA/-INPES, 1986, 28p.

Fonseca, Max Aurelio Negreiros. Investigación de Aceite Vegetal como Combustible en Motores a Diesel (en portugués) - Programa OVEG I. Simposio de Ingeniería Automotriz y XII Encuentro de Centros de Apoyo Tecnológico. Brasilia. MIC/STI, 1985 p.23-4.

GEIPOT, Empresa Brasileña de Planificación de Transporte, MT. Anuario Estadístico de Transportes (en portugués), s.l., 1986, p. 418-23.

Goldemberg, José. Combustibles Líquidos en Brasil: Una Evaluación (en portugués), 1981, 1V.

MME, Ministerio de Minas y Energía. Balance Energético Nacional (en portugués), Brasilia, 1987, 155 p.

MT, Ministerio de Transportes. Los Transportes en Brasil y la Crisis Energética (en portugués). Tokio, 1980, 1V.

Oliveira, Eduardo Sabino de. Alcohol - Motor y Motores a Explosión (en portugués). Ministerio de Trabajo, Industria y Comercio. s.d.

PETROBRAS, Adecuación de la Estructura de Refinación en Brasil. Evaluación del Consumo de Derivados de Petróleo (en portugués). Río de Janeiro, 1986, 42p.

Pimentel, Rosalina Chedian y Santos, Joao Alberto Vieira y Jochmek, Abraham Awiw. Escenarios de Demanda de Combustibles Alternativos (en portugués). IV Simposio de Ingeniería Automotriz. Sao Paulo. Asociación Brasileña de Ingeniería Automotriz, 1987, p.261-8.

Pinheiro, Armando Castelar. Sobre la Dieselización de la Flota Brasileña de Camiones (en portugués). Río de Janeiro. IPEA/INPES, 1986, 87p.

Ramos, Lauro R.A. Escenarios de Demanda de Derivados de Petróleo (en portugués). Río de Janeiro, IPEA/INPES, 1983, 87p.

Resende, Eliseu. Contribuciones Sectoriales al Modelo Energético Brasileño - Transportes (en portugués). Brasilia, 1979, 1V.

Racionalización de los Transportes con Miras a la Sustitución del Diesel y la Gasolina (en portugués). Río de Janeiro. Ministerio de Transporte, 1979, 1V.

Severo, Cloraldino. La Política de Transportes y el Problema Energético (en portugués). Energía. São Paulo. s.ed.1983, p.27-40.

Souza, Jose Carlos de Jesus. Evolución del Comercio Internacional del Petróleo (en portugués). s.l. PETROBRAS, 1984, 1V.

Trindade, Sergio C. y Carvalho Jr., Arnaldo Vieira de. Transportation Fuels Policy Issues and Options: The Case of Ethanol Fuels in Brazil, Tokio, ISAF 1988 (A).

— The Case of Ethanol Fuels in Brazil, Conference on Alternative Transportation Fuels in the 1990s and Beyond. Asilomar, USA, 1988 (B).

Trindade, Sergio C. Alternative Transport Fuels, Supply, Consumption and Conservation, Energy Research Group (ERG), United Nations University (UNU), USA, 1984

FIGURA 1. ESTRUCTURA DE LA OFERTA DE ENERGIA PRIMARIA Y % DE INDEPENDENCIA ENERGETICA

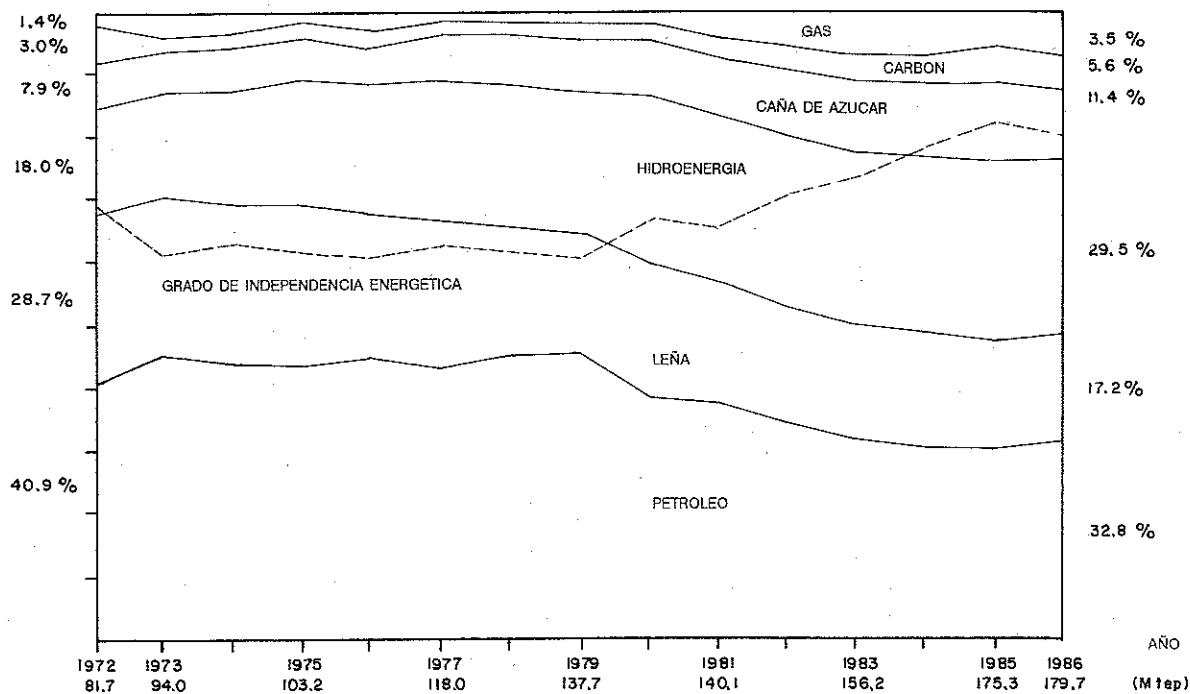


FIGURA 2. EVOLUCION DE LOS PRECIOS DE LOS ENERGETICOS Cz\$/m³
(MME, 1987) (MONEDA DE 1973)

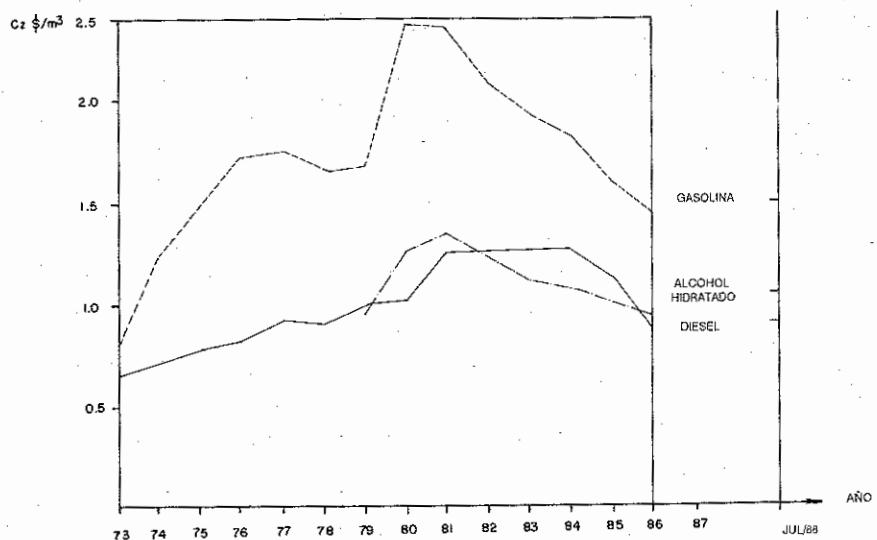


FIGURA 3. VENTA DE VEHICULOS A ALCOHOL COMO PORCENTAJE DE LA VENTA TOTAL DE VEHICULOS DE PASAJEROS [TRINIDAD, 1988, (A)]

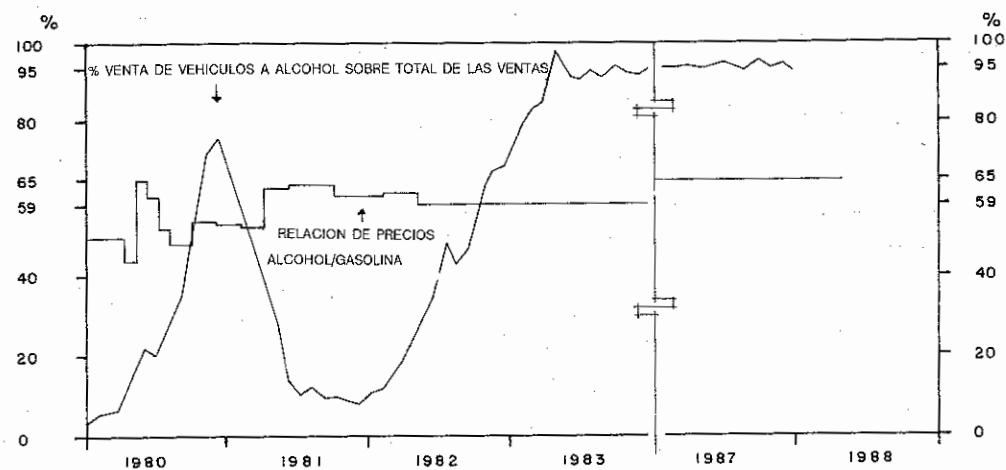


FIGURA 4. EVOLUCION DE LA FLOTA NACIONAL, POR COMBUSTIBLE
(PIMENTEL, 1987)

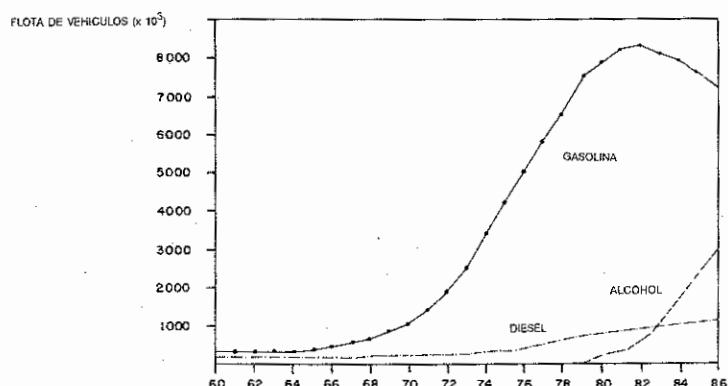


FIGURA 5. EVOLUCION DE LA FLOTA DE CAMIONES DE CICLO OTTO x
CICLO DIESEL
(PINHEIRO, 1983) 1957-1979
(GEIPOT, 1986) 1980-1985

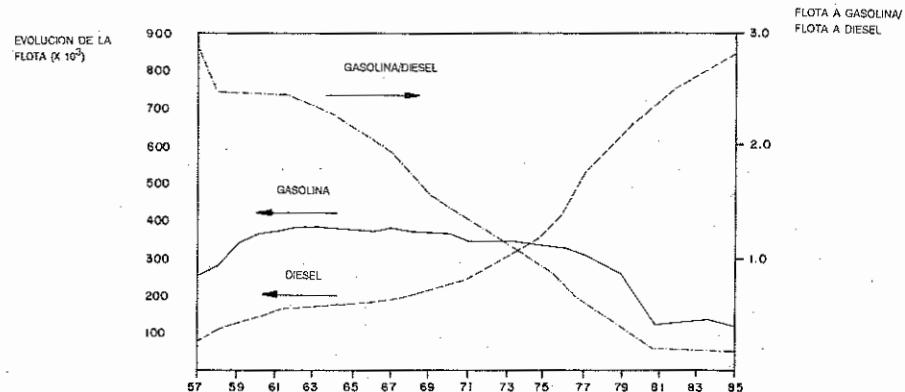


FIGURA 6. EVOLUCION DEL 'BREAK-EVEN' PARA CAMIONES LIVIANOS Y MEDIANOS (PINHEIRO, 1983)

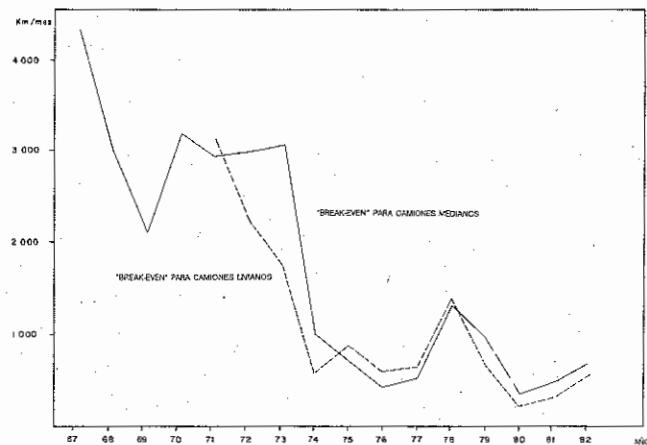
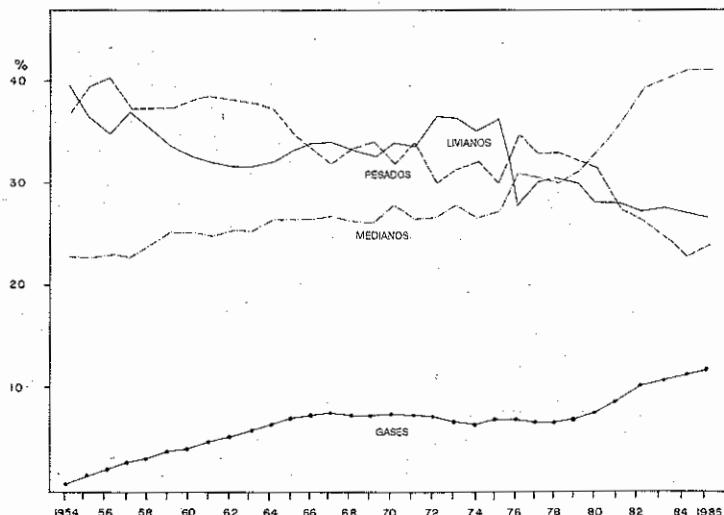


FIGURA 7. EVOLUCION DE LA PARTICIPACION DEL CONSUMO DE CADA GRUPO DE DERIVADOS CON RELACION AL CONSUMO TOTAL DE BRASIL (RAMOS, 1983; PETROBRAS, 1986)



CUADRO 1

EVOLUCION DE LA DEPENDENCIA EXTERNA DEL PETROLEO, BRASIL, AÑOS SELECCIONADOS

AÑO	DEMANDA DE DERIVADOS DE PETROLEO (INCL. PERDIDA) (1 000 BARRILES/DIA)	IMPORTACION NETA DE PETROLEO Y DERIVADOS (1 000 BARRILES/DIA)	DEPENDENCIA EXTERNA (CONSIDERANDO VARIA- CIONES DE STOCKS) (%)
1972	621	474	73.3
1975	863	760	80.2
1979	1 118	997	85.0
1981	1 007	777	78.3
1985	984	417	43.5
1986	1 076	516	45.5

(MME, 1987)

CUADRO 2

EVOLUCION DEL CONSUMO DEL SECTOR TRANSPORTES, BRASIL, AÑOS SELECCIONADOS (%)

AÑO	DIESEL	ACEITE COMBUSTIBLE	GASOLINA	QUEROSENE	ALCOHOL ETILICO	OTROS	(%)	TOTAL (1000 TEP)
1972	33.8	3.0	55.4	4.7	1.8	1.3	100.0	15 960
1975	35.4	5.7	51.7	5.7	0.6	0.9	100.0	21 236
1979	41.7	5.3	39.2	6.4	6.5	0.9	100.0	25 574
1981	45.2	5.5	33.7	7.5	7.0	1.1	100.0	24 532
1985	45.3	5.9	21.3	6.3	19.9	1.3	100.0	27 905
1986	44.0	4.1	21.0	6.8	23.0	1.1	100.0	31 697

(MME, 1987)

CUADRO 3 CONSUMO FINAL ENERGETICO DE LOS PRINCIPALES DERIVADOS DEL PETROLEO, BRASIL, 1972 (% VOL/VOL)

COMBUSTIBLE	TOTAL		TRANSPORTES		INDUSTRIAL	RESIDENCIAL	GENERACION ELECTRICA	OTROS
	VIAL	FERROVIARIO	FLUVIAL	AEREO				
GASOLINA	34.9	34.6		0.3				
ACEITE COMBUSTIBLE	28.6		0.1	1.5				
DIESEL	23.7	17.9	1.3					
GLP	7.9					0.3		0.1
QUEROSENE	4.9				2.8	0.1	1.2	
TOTAL	100.0	52.5	1.4	1.5	3.1	25.3	8.7	3.8
			58.5%					

NOTA: El consumo final no energético de petróleo en 1972 corresponde solo a 1 723 000 TEP, equivalente al 6.2% del consumo final energético de petróleo, que alcanzó 27 647 000 TEP en ese año.

(MME, 1987)

CUADRO 4

VENTA DE VEHICULOS EN EL MERCADO DOMESTICO, BRASIL (10³ VEHICULOS POR COMBUSTIBLE)

ANO	AUTOMOVILES			COMERCIALES LIVIANOS			COMERCIALES PESADOS		
	GASOLINAS	ALCOHOL	DIESEL	GASOLINA	ALCOHOL	DIESEL	GASOLINA	ALCOHOL	DIESEL
1973	558.	.	.	106.	.	1.	26.	.	45.
1975	661.	.	.	118.	.	1.	17.	.	62.
1979	828.	2.	.	79.	1.	16.	1.	0.	89.
1980	567.	226.	.	60.	14.	20.	1.	.	93.
1981	319.	129.	.	25.	8.	35.	0.	1.	64.
1982	344.	212.	.	21.	21.	44.	0.	1.	48.
1983	70.	478.	.	9.	41.	29.	2.	2.	40.
1984	29.	484.	.	3.	51.	42.	0.	3.	46.
1985	24.	578.	.	5.	67.	26.	0.	2.	61.
1986	53.	619.	.	9.	78.	28.	0.	2.	79.
1987	23.	387.	.	8.	72.	24.	0.	1.	66.

(TRINIDADE, 1988)

CUADRO 6

CUADRO 5

FLOTA DE VEHICULOS DE PASAJEROS (10 UNIDADES)

COSTOS DEL COMBUSTIBLE: RAZON DE LOS PRECIOS Y DIFERENCIA DE GASTOS ENTRE LA GASOLINA Y EL DIESEL

ANO	LIVIANOS		MEDIANOS
	RAZON (PG) PD	GASTO C/COMB. (Cr\$/km)*	
1957	1 653	4 604	6 604
1958	1 681	4 529	6 495
1959	1 420	4 205	6 040
1960	1 427	3 380	4 855
1961	1 365	4 437	6 378
1962	1 292	3 527	5 073
1963	1 290	3 542	5 095
1964	1 250	3 582	5 155
1965	1 271	4 421	6 301
1966	1 256	3 909	5 625
1967	1 216	3 510	5 053
1968	1 211	3 666	5 279
1969	1 213	4 069	5 858
1970	1 205	3 965	5 709
1971	1 203	4 091	5 892
1972	1 177	4 258	6 135
1973	1 216	4 456	6 415
1974	1 729	8 661	12 419
1975	1 879	10 935	15 670
1976	2 082	13 427	19 229
1977	1 878	13 150	18 843
1978	1 822	12 168	17 440
1979	1 672	11 882	17 041
1980	2 316	19 472	27 872
1981	1 908	17 812	25 525
1982	1 703	14 881	21 340

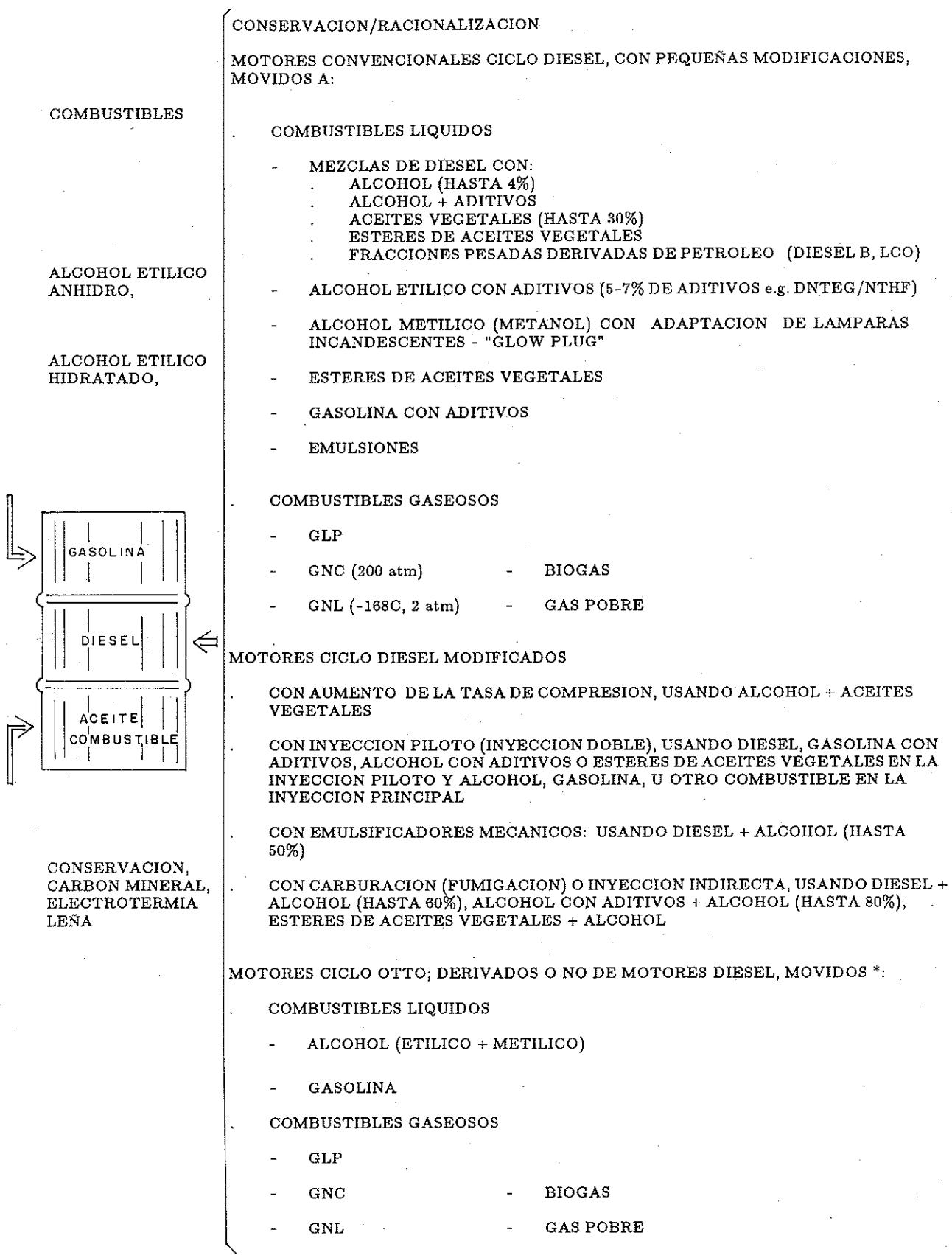
CUADRO 7

PROYECCIONES DEL PAG PARA LA PRODUCCION Y CONSUMO DE DERIVADOS DEL PETROLEO ANIO 1985

DERIVADOS	PRODUCCION (%)	CONSUMO (%)
DIESEL	37.	40.
GASOLINA	10.	8.
FUEL OIL	18.	18.
GLP	8.	12.
NAFTA	10.	10.
OTROS	17.	12.

* Cr\$ de 1981 ; deflactor IGP-DI
(PINHEIRO, 1983)

FIGURA 8
ALTERNATIVAS PARA LA SUSTITUCION DEL DIESEL EN EL SECTOR TRANSPORTES



EVOLUTION OF ENERGY INPUTS AND RATIONALIZATION EFFORTS IN THE BRAZILIAN TRANSPORTATION SECTOR

Arnaldo Vieira de Carvalho **

SUMMARY

This paper analyzes the evolution of the energy structure in the Brazilian transportation sector over the last two decades, stressing the processes of "dieselization" (conversion to diesel) in freight vehicles and "alcoholization" (conversion to alcohol) in passenger vehicles. The combination of these two processes meant that gasoline was dethroned as the number-one fuel in the transportation sector in terms of final consumption: first by diesel (in 1979) and later by ethyl alcohol (in 1986). Both processes entailed an increase in energy efficiency, because the diesel-cycle engines and Otto-cycle engines run on diesel and alcohol, respectively, usually had better energy performance than the gasoline-run Otto-cycle engines displaced in each one of the processes mentioned. Meanwhile, the reduction in gasoline consumption led to growing difficulties in the refining sector, in order to respond to the changing profile of fuel demand. It also caused difficulties for the fuel pricing policy, which used the earnings obtained from gasoline sales to keep the prices of other fuels having greater social impact lower (LPG for cooking and diesel for the collective transport of passengers and cargo).

The paper thus presents an overview of the changes which have occurred in the Brazilian energy situation, in terms of fuel pricing policy, possibilities for fuels other than diesel, and short- and medium-term prospects for minimizing the impact of this energy structure transformation. It also provides a brief assessment of the energy rationalization programs implemented in the transportation sector.

1. INTRODUCTION

Over the last 30 years, the Brazilian economy has undergone a profound transformation based on growing industrialization.

One important factor in this was the implantation of the automotive industry in the late 1950's, and its innumerable implications in terms of infrastructure and inputs.

Among other premises, the industrialization process assumed that the price of imported oil would remain stable. The national production of this commodity was small and had practically no prospects for growth.

Economic growth in terms of GDP (gross domestic product) reached an annual average of 9% during the 1970's. The effects of the first oil crisis, in 1973, thus had no immediate results in terms of economic transformations in the country. Nevertheless, after the second crisis, in 1979, for two years (1981-83) there was a negative trend in the GDP, and its 1980 figures were only regained in 1984. The transportation sector could not remain untouched by this period: even today the automotive industry has not returned to the vehicle production levels obtained in 1979 (1 million vehicles per year).

The National Alcohol Program (PROALCOOL)^{1/} was created in 1975 and expanded after the second oil crisis. Among other benefits, it aided in minimizing the negative effects of the difficulties caused by oil in the transportation sector and was responsible for significant transformations in the sector's energy structure.

It is worthwhile to note that the Brazilian fuel policy does not permit the use of diesel in passenger or multi-purpose vehicles. Since only commercial vehicles are authorized to operate with diesel, the dieselization process discussed herein does not refer to cars, but rather basically to trucks.

In light of the shortage of energy and financial resources, programs for rationalization of the use and conservation of energy were created in various economic sectors. In the transportation sector, the results

* Paper presented at the Forum on Advantages and Disadvantages of Dieselization in the Latin American Transportation Sector, co-sponsored by the Ministry of Mines and Energy of Colombia and the

Latin American Energy Organization, Bogota, Colombia, August 31-September 3, 1988.

** The author is employed by the Brazilian firm PROMON ENGENHARIA S.A.

have been notable, but they still do not equal the values attained in the developed countries. There is still much room for expanding existing programs and for creating new ones.

2. THE BRAZILIAN ENERGY SITUATION AND THE TRANSPORTATION SECTOR 2/

In 1986, the total consumption of primary energy sources in Brazil reached nearly 177 million toe (tons of oil equivalent). The evolution of this consumption is indicated in Figure 1 for the 1972-86 period. There it can be seen that consumption grew at an average annual rate of 6% for the period, despite the economic recession and the world energy crisis. It is interesting to note also the high growth rate of hydroenergy and the fact that, even before the first so-called "oil crisis," in 1973, renewable sources of energy already accounted for more than half of the country's total energy consumption.

The share of oil in the total consumption of primary sources, which was 40% in 1972, increased to a maximum of 43% in 1975, when domestic oil production was lower than it had been ten years before. Domestic oil production continued to decline until 1979, whereas total oil consumption continued to grow, thus causing maximum reliance on oil from abroad, nearly 85% that year, as indicated in Table 1. In that same year (1979) the maximum for net imports of oil and its derivatives was also reached in absolute terms: on average, nearly 1 000 000 barrels of oil equivalent were imported per day.

Considering the expanse of Brazilian territory, the transportation sector is vital for the country's integrated development. However, it used to be heavily dependent on oil: in fact, 97% of the sector's energy consumption was covered by oil derivatives, as can be seen in Table 2. Furthermore, it was the major oil consumer in the country. Nearly 58.5% of the final consumption of the principal oil derivatives were earmarked for the transportation sector in 1972, as can be seen in Table 3.

The transportation sector's extreme dependence on oil, and Brazil's dependence on imported oil, precisely at a time in which there were large price hikes on the international market, 3/ led to the creation of PROALCOOL in 1975 and to the implementation of various rationalization programs in the transportation sector, as can be seen in Section 3.

To illustrate the impact of increases in the price of imported oil, it is sufficient to cite that the expenditures entailed by the importation of oil went from a level of US\$ 500 million in 1972 to US\$ 2.6 billion in 1975 and to US\$ 9.7 billion in 1981, representing 12%, 30% and 41% of the country's exports in those years, respectively. This increase practically annulled the major efforts made to improve the balance of trade. Brazilian exports went from US\$ 4 billion in 1972 to US\$ 24 billion in 1981, without substantially relieving

the pressure on the balance of trade.

Brazil's current energy situation, insofar as the transportation sector is concerned, has very different features from those of 10 to 15 years ago:

- Oil is still responsible for a good deal of the country's total consumption of primary energy sources (33% in 1986); however, the external dependence has declined (to 45.5% in that same year), as a result of significant progress in domestic oil production (600 000 barrels/day in 1987).
- Imported oil is not as significant as in the past, since, besides the fact that domestic production has increased, its price on the international market has dropped (reaching an average of US\$ 15.13/barrel CIF-Brazil in 1986 and nearly US\$ 18/barrel CIF-Brazil in 1988), thus reducing net expenses for the imports of oil and oil derivatives (US\$ 2.2 billion in 1986). Furthermore, the balance of trade has been attaining notable surpluses (US\$ 13 billion foreseen for 1988).
- PROALCOOL has had significant results: alcohol covered 23% of the transportation sector's total energy consumption in 1986 and its figures exceeded those for the consumption of gasoline, which for many years had been the sector's principal fuel. As of 1979, the sector's principal fuel became diesel, which was responsible for 44% of the sector's final consumption in 1986. Details on this important modification in the transportation sector, in energy terms, are presented in Section 4.

3. ENERGY RATIONALIZATION PROGRAMS IN THE TRANSPORTATION SECTOR

A decade and a half have elapsed since the onset of the first oil crisis, and society at large has reached an agreement on the indiscriminate use of natural resources, especially depletable ones. It therefore becomes interesting to assess what was and can still be done in Brazil in order to minimize the problem. The transportation sector has been especially affected, as described in Section 2.

In this context of an economic crisis alongside an energy crisis, rationalization strategies and programs were developed, with a greater or lesser degree of success, encompassing the following items:

- energy conservation
- use of alternative energy sources
- rationalization of modes of transportation and operations
- real-cost energy policies

In the programs related to energy conservation and modal/operational rationalization, what was basically

sought was the reduction of energy costs per ton of freight or passengers transported. The energy/GDP ratio for the transportation sector went from nearly 1 970 toe/ 10^3 Cz in 1972 to 1 400 toe/ 10^3 Cz in 1986, in 1970 currency [MME, 1987].

Some of the initiatives taken in the pursuit of energy conservation are presented below; not all of them have yielded positive results-- for political, economic, social reasons, etc.

Passenger transport

- Restrictions in the use of individual transportation; incentives for collective transport.
- Reduction in the frequency of inter-municipal buses, seeking utilization indexes of 75-80%.
- Revision of frequencies/itineraries of urban bus services.
- Re-structuring of the urban mass-transit system (roads, railroads, subways).
- Renewal of the bus fleet, accelerating the retirement of vehicles over 10 years old.
- Modernization of the traffic control system.
- Establishment of fast lanes for buses in urban areas.
- Incentives to the development of more efficient vehicles.
- Maximum speed limits on roads (80 km/h).
- Limitations on the circulation of privately owned vehicles in congested areas.
- Implementation of trolleys in some cities.

Since the restrictions on the use of privately owned transportation have not been supported by the public at large, their results will depend on widespread, continuous campaigns.

The other initiatives listed above obtained localized success, without achieving major consumption decreases. New efforts are needed to implement administrative methodologies and suitable consciousness-raising efforts among the public and business firms.

Freight transport

- Preference for more energy-efficient modes of transportation. This program is based mainly on fuel pricing policies and fiscal and credit incentives, since the entrepreneurial mentality tends to maximize economic benefits; awareness campaigns offer relatively limited effects.
- Development of intermodal transportation (application of containers, piggybacks, roll-on/roll-off ships; adaptation of ports); storage capacity, intermodal connections, etc. This activity has been developed considerably in Brazil, and the development of ocean and river shipping is part of this process. It should be recalled that the transport of freight by river is very energy-efficient, but obviously localized (the



percentage of freight transported by riverways went from 12.5% in 1979 to 18.6% in 1985 [GEIPOT, 1986]).

- Modernization and expansion of the railway system, so as to provide the conditions to better serve freight transport: efficiency, capacity, speed; construction of new branches, such as the Aco Railway (joining the three major industrial centers) and the Soja Railway (providing an outlet for agricultural production from Paraná), projects begun and not finished due to financial problems.
- Creation of loading stations and fleet information, to make viable the planning of load distribution; reduction in the idle transportation capacity and better distribution of urban/interurban loads. The development of cooperatives and pools of firms is also an option to be encouraged.
- Conservation of the road system. Adequate maintenance can increase fuel consumption by up to 30% [SEVERO, 1983]. The control of excessive cargos (need for weighing stations) is part of a road conservation program.
- Training and information for motorists. According to data from the National Transit Department (DNER) and the Ministry of Transportation (MT), adequate vehicle maintenance and appropriate driving tech-

- niques can yield earnings of 7 to 12% in fuel consumption [CNE, n.d.].
- Control of truck access to urban streets: regulations, specific lanes, schedules, integration of light urban and heavy inter-urban transport associated with loading stations.
- Improvements in vehicle energy-efficiency. The Program for Voluntary Economizing of Diesel and Lubricants (PRODEL) [CNE, n.d.], established under the Ministry of Transportation (MT) and the National Energy Commission (CNE), disseminated the results of the efforts made to improve the energy efficiency of vehicles; for example: use of turbocompressors, which attained fuel economies of 5 to 16% [CNE, n.d.] and reduced smoke emission; use of radial tires, which attained fuel economies of up to 16% [CNE, n.d.] and a significant increase in their lifetime (up to 100%), although it can be seen that the use of radial tires in heavy vehicles is still negligible; use of aerodynamic deflectors, which attained fuel economies of 4 to 10% [CNE, n.d.] (but only 4% of the national fleet had characteristics suitable for using this device); ventilators which yielded 5% improvements in consumption [CNE, n.d.] and in the useful lifetime of engines; other devices and systems (two-stage accelerators, improved lubricants, etc.).

All of these programs had good results, as proven by the reduction in the energy/GDP and energy/t.km ratios.

With the programs for use of alternative fuels and energy sources, what was sought was to act on the levels of supply and demand, making it possible to reduce the dependence on outside sources of energy, mainly oil. The most important example is PRO-ALCOOL, referred to in the previous section. As of 1983 (CNP/DIRAB Decrees nos. 134 and 206), this program, which had been successful in substituting for automotive gasoline, was implanted in the truck fleet of the sugar-alcohol sector, estimated as some 23 000 vehicles. It is expected that, with the transformation of the fleet in this industry, which will use alcohol and even methane (from the anaerobic fermentation of wine), that it will be possible to substitute for 60 000 barrels of diesel per day in 1995. [CNE, 1988(b)]

Other programs under study or development are for the use of natural gas as a substitute for diesel in urban buses (substitution of 39 000 barrels of diesel per day in 1995 [CNE, 1988(b)]) --which has already been done in the capitals of some of the country's provinces; the use of diesel-cycle engines operating on vegetable oil (currently not economically viable, due to the prices for oil and vegetable oil on the international market); dual-feed, diesel-cycle engines; alcohol-run

Otto-cycle engines for medium- and heavy-weight vehicles; and others, as described in Section 6.

The following section of this paper provides details on the influences of pricing policies on the energy structure transformation in the transportation sector.

To conclude this section, however, it is necessary to say that, despite the results attained, much is left to be done in terms of energy rationalization in the transportation sector. It is necessary to establish more efficient management mechanisms and suitable auxiliary instruments, bearing in mind the country's serious financial constraints.

4. INFLUENCE OF PRICING POLICY AND ENERGY STRUCTURE TRANSFORMATIONS IN THE TRANSPORTATION SECTOR

As discussed in Section 2 and illustrated in Table 2, gasoline was the principal fuel in the Brazilian transportation sector until 1979, when it was displaced by diesel and later also by alcohol. This was due to the combined effect of fuel pricing policies, which in Brazil are established and regulated solely by the government, through the National Petroleum Council (CNP), and the rationalization programs implemented in the country over the last two decades.

4.1 Evolution of Fuel Prices in Transportation

The recent evolution of the prices for the transportation sector's three main fuels is shown in Figure 2, where it can be seen that, after 1973, there were three clear phases of price behavior [CNE, 1988 (b); Goldemberg, 1981]:

- The first, until 1978, when gasoline prices doubled in real terms over 1973, whereas diesel had only a moderate real increase (38%), much lower than that of oil, as a result of the reduction in its quota in the fuel tax. Thus, the price of gasoline rose above international values while diesel only equaled them. The policy in this period was total discouragement of the use of gasoline, even though the earnings from its sales subsidized the prices of other derivatives whose increase would feed inflation by transferring the higher price to end products (the case of diesel, already widely used in the transport of freight and passengers, and vegetable oils in industry in general).
- A second phase, from 1979 to 1984, when there were initially larger increases for gasoline (until 1980) followed by partial corrections in the distortions brought on by the first phase. Then, diesel prices rose much more than those of gasoline, but nonetheless maintained less of a cumulative increase (over 1973) than the growth in the price of gasoline. In this period, hydrated alcohol was launched on the market with prices that initially fluctuated around those for gasoline, until the policy of maintaining a ratio of 0.59 and then 0.65 between the consumer price of hydrated alcohol and

of gasoline was defined (the equivalent according to the ratio between the calorific values of alcohol and gasoline), as indicated in Figure 3.

- Finally, the third phase, which corresponds to the period 1985-86, when public tariffs and prices were frozen for almost six months, as a means of reducing the inflationary expectations at the beginning of 1985. Fuel prices deteriorated in real terms, coinciding in 1986 with the drop in oil prices on the international market. In late 1986, with the creation of sales taxes (IOF), which were fully transferred to the price of gasoline, relative prices again became distorted and the distance between the prices of gasoline and alcohol and diesel once again increased.
- In the current phase, tariffs and prices to the public are beginning to recover, with increases higher than indexes of inflation.

4.2 Evolution of the Energy Structure in the Transportation Sector

The two major transformations which occurred in the energy structure of the Brazilian transportation sector were the processes of dieselization and alcoholization, which correspond to the previously mentioned phenomenon of displacement of gasoline first by diesel and then later also by alcohol, as shown in Table 2.

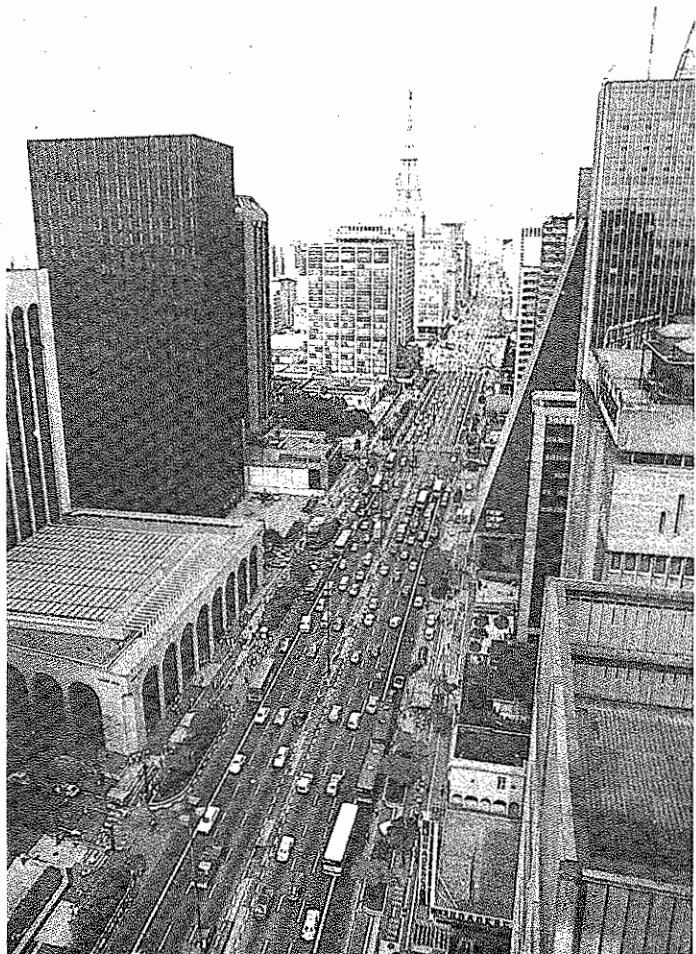
The following analysis will center on road transportation, since it represents the bulk of energy consumption and basically depends still on oil. According to Table 3, the structure of Brazil's final consumption of the principal oil derivatives in 1972 indicated that road transportation was responsible for 76% of all of the diesel consumed in the country, and for 90% of the consumption of oil derivatives by the sector. In 1986, road transportation was still responsible for 70% of all of the diesel consumed in the country and 82% of the consumption of oil derivatives by the transportation sector. Special note should be made here of the rapid growth in the consumption of the air and river transportation subsectors, which doubled their relative shares, reaching 9% and 7% of the sector's consumption of derivatives, respectively.

Focusing the analysis on road transportation, it is interesting to look at the behavior of growth in the vehicle park, recalling that in Brazil only commercial vehicles (over a certain weight) may be authorized to use diesel engines.

The evolution of the Brazilian vehicle park in the 1960-85 period can be seen in Figure 4, which shows that in 1960 gasoline-run vehicles accounted for 70% of the total national vehicle park, estimated as some 520 900 units. The share of the gasoline-run park dropped to a minimum of 65% in 1964, before resuming its growth and then stabilizing in the period 1975-79, at a level of 92% of the total vehicle park, estimated as some 8 million vehicles in 1979. In that year, the vehicles run on hydrated alcohol were introduced onto

the market, making the share of gasoline-run vehicles decrease rapidly. In 1986 they reached approximately 65% of the total vehicle park, then estimated as some 11.5 million vehicles. The participation of vehicles run on hydrated alcohol in 1986 corresponded to nearly 27%, i.e. approximately 3 million vehicles. In July 1988, it was estimated that the alcohol-run vehicle park was approximately 4 million, corresponding to nearly one third of the country's entire vehicle park. The share of gasoline-run vehicles represented just over half of the total park and the balance (some 10%) belonged to diesel-run vehicles.

This notable penetration of alcohol-run vehicles can also be illustrated by their share in the total sales of passenger vehicles during the 1979-87 period, as indicated in Figure 3. It can be seen that this penetration was not slow; it grew rapidly after the opening up of sales to the public between 1979 and 1980, fell sharply the next year, and recovered in 1982. The fluctuations in 1979-81 were basically caused by an initial consumer euphoria, combined with a widespread uneasiness created by the Iran-Iraq conflict (the latter was then the major supplier of oil to Brazil). The euphoria was followed by immediate disappointment due to the performance of the alcoholrun vehicles; the lack of definition in fuel pricing policy; the contradictory information on PROALCOOL and its regulations, including threats of an alcohol supply shortage; and



the failure of the oil supply shortage to materialize.

Ultimately, the lack of definition was cleared up in 1982; new incentives were created for alcohol-run vehicles; their performance was substantially improved; and their sales returned to high levels, where they remain today. It is worthwhile to note that this behavior has been maintained despite the relative increase in the price of alcohol with respect to the price of gasoline in 1984: from a ratio of 0.59 to 0.65, as indicated in Figure 3.

The total sales of alcohol-run vehicles on the domestic market represented 94% of the total sales of both alcohol- and gasoline-run vehicles, thus illustrating user preference [ANFAVEA, 1988].

Currently, the incentives are limited to the establishment of a difference in prices between alcohol and gasoline and a small tax incentive (IPI and IPVA). Thus, the difference in the fixed operating costs of an alcohol-run vehicle as opposed to a gasoline-run vehicle is practically non-existent. On the other hand, at June 22, 1988, the difference in the variable costs, basically fuel costs, provided an almost 20% benefit for the user of an alcohol-run vehicle, considering that the specific volumetric consumption of fuel (liters/km) of an alcohol-run vehicle was 25% higher than for gasoline and that the alcohol/gasoline price ratio was 0.65. Despite the increase in the ratio of alcohol/gasoline prices, which went to 0.69 as of June 23, 1988, there is still a benefit of almost 14% in favor of alcohol, in terms of fuel expenses.

This situation no longer occurs with respect to the competitiveness of an alcohol-run commercial vehicle versus a diesel-run commercial vehicle, mainly due to the difference in prices between the two fuels. In periods of more favorable prices, as in 1983-84, the sales of commercial alcohol-run vehicles to displace diesel-run vehicles were somewhat significant (nearly 6% of the truck market, as can be seen in Table 4). However, under current conditions, they are not competitive due to the large difference in variable costs, in favor of diesel-run vehicles, which does not compensate for the difference in fixed costs:

- The variable costs for a diesel-run commercial vehicle even after the price increase established on June 23, 1988, represented only 40% of the variable costs of an alcohol-run vehicle, if the volumetric fuel consumption of the alcohol-run vehicle is taken as 70% higher than that of a diesel-run vehicle and a 1.45 ratio is taken for alcohol/diesel prices.

A similar process led to the dieselization of the truck fleet in Brazil, displacing gasoline, initiated even prior to the so-called oil crises. This process seems to be illustrated well in Figure 5, which shows the estimated behavior of the evolution of the gasoline- and diesel-run truck fleets during the period 1957-1985. Analyses done on the dieselization processes [PINHEIRO, 1983] indicate that the consumer preference for diesel-run trucks was closely related to the varia-

tion in total vehicle operating costs (fixed and variable).

In other words, the regression analyses and models show that the final decision with respect to the choice of trucks in Brazil was in fact made as a function of the foreseen length of vehicle use. Since in general the fixed costs for a diesel-run truck are higher than those for a gasoline-run truck and the variable costs are opposite (due to the fuel pricing policy in effect), the preference for diesel-run vehicles appeared when the expected mileage for the vehicle exceeded a given point of equilibrium where the total costs of the two vehicles were identical ("break-even" point, see Figure 6). This fact appears when the correlations for the behavior of the fleet are correlated with sales, using variables such as the gasoline/diesel price ratio, and when it is seen that the regressions are not as explanatory as those related to the difference in effective fuel costs, which also take into account absolute fuel price and vehicle fuel consumption [PINHEIRO, 1983]. 4/

The time series shown in Table 5 indicates that the variation in the price ratio (P_d/P_g) was much lower than the variation in the difference in effective fuel costs ($e_g P_g - e_d P_d$).

$$CF_g + BE \cdot CV_g = CF_d + BE \cdot CV_d$$

$$BE(CV_g - CV_d) = CF_d - CF_g$$

$$\begin{aligned} BE &= \frac{CF_d - CF_g}{CV_g - CV_d} = \frac{CF_d - CF_g}{CC_g - CC_d} = \frac{CF_d - CF_g}{e_g P_g - e_d P_d} \\ &= \frac{CF_d - CF_g}{P_g(e_g - e_d) \frac{P_d}{P_g}} \end{aligned}$$

where:

BE = average mileage in the period where the economic performance of the two trucks is equal (km/month, km/year)

CF_g = fixed cost of a gasoline-run truck (\$/month, \$/year...)

CF_d = idem diesel

CV_g = variable costs for a gasoline-run truck (\$/km)

CV_d = idem diesel

CC_g = fuel costs for a gasoline-run truck (\$/km)

CC_d = idem diesel

e_g = average fuel consumption of a gasoline-run truck (liters/km)

e_d = idem diesel

P_g = price of gasoline (\$/liter)

P_d = idem diesel

This analysis is important since, if market trends are to be reversed, it is not sufficient to alter the ratio between prices by just a little, returning, for

example, to the 1973 ratio. A more effective policy would be to combine this action with modifications in the fixed costs of the vehicles in order to attain concrete results. For instance, increases in the price of light-weight and medium-weight diesel-run trucks from 47% and 67%, respectively, in 1983 would have had the same effect on the break-even mileage value as a 139% increase in the price of diesel, if the corresponding parameters for gasoline-run trucks had been kept constant.

Similarly, it can be seen that the ratio of 0.65 for alcohol/gasoline prices offered a financial benefit to the user of the alcohol-run model with respect to the gasoline-run model, equivalent to 3-8% of the vehicle purchase cost, depending on the model [Ferreira, 1986]. Thus, with a 3-8% increase in the price of alcohol-run cars as opposed to gasoline-run cars, the sale of new alcohol-run automobiles could be directed to those users having higher-than-average mileage needs.

5. REFINERY STRUCTURE: CONSTRAINTS FOR KEEPING UP WITH DEMAND

Until the early 1950's, the country's installed refining capacity met nearly 10% of the national demand for oil derivatives. With the creation of PETROBRAS (1953/54), the refining capacity had significant annual increases (35% in 1955, 70% in 1960, 100% in the mid-1970's) [PETROBRAS, 1986]. Today, the Brazilian refining capacity is nearly 1 400 000 barrels per day [MME, 1987].

In its initial stage (1954-1965), the refinery structure favored the production of heavy oil fractions, together with the expansion of the national industrial park (capital goods), through atmospheric distillation and thermal cracking units.

In the mid-1960's, starting with the intensive expansion of the vehicle park run on gasoline, the demand for this derivative called for modifications in the refining structure. In the second phase, then, there was greater emphasis on the production of light fractions, for which vacuum distillation and fluidized-bed catalytic cracking (FCC) units were installed. As of the 1973 oil crisis, and given the influence of the policy for pricing oil derivatives (affected by inflation-fighting policies), the acceleration of the dieselization process in the light- and medium-weight vehicle park, the growing mechanization (diesel) in agriculture and the creation of PROALCOOL, the demand for derivatives underwent a sharp and continuous alteration and the consumption of medium-weight oil fractions increased. Figure 7 illustrates the evolution of the Brazilian refining structure, characterizing the three phases in the transformation of the refinery profile.

The last phase of the evolution of the Brazilian refining park is detailed below, i.e. when emphasis was placed on increased production of medium-weight fractions, mainly diesel.

The flexibility achieved in the second phase, with the implantation of FCC and vacuum distillation units,

made it possible, at the beginning of the third stage (1973-79), to modify demand through transformations in equipment and processes. In this period, the demand for heavy fractions was still higher than those for light- and medium-weight fractions, which had similar levels.

The expectations which were aroused with the 1979 publication of the government's Brazilian Energy Model, geared to energy planning for the 1980's, called for the programming of major modifications in the Brazilian refining park. The modifications which were then made from the standpoint of energy conservation programs, or the substitution for oil derivatives (mainly by alcohol and coal), made it possible to infer a demand structure of 36% for diesel, 16% for fuel oil and 14% for gasoline for the year 1985. In sum, the complementary actions taken with regard to the production and demand for oil derivatives in the third phase were as follows [PETROBRAS, 1986]:

Production

- modification of specifications:
 - diesel:
 - sulphur content
 - cetane index
 - distillation range
 - flash point
 - viscosity
 - fuel oil:
 - sulphur content
 - viscosity
 - gasoline:
 - cetane index
 - asphalt:
 - penetration
 - LPG:
 - impermeability
 - lubricating oils:
 - viscosity
- refining:
 - modification of operating conditions
 - modification of the design of existing units
 - implementation of new units and processes
 - selectivity in the purchase of oil
 - exportation and importation of derivatives

Demand

- pricing policies
- quota systems with incentives (ultra-viscous fuel oils, diesel B, etc.)
- change of equipment (vehicles, boilers, etc.)
- substitution of derivatives:
 - alcohol
 - electricity
 - biomass
 - etc.

Under the item of "selectivity in the purchase of oil," there are major barriers to efficient execution; for example:

- higher values for light oils on the international market
- growing participation by national oil, characterized as a "heavy" oil (especially those from Campos, Rio de Janeiro)
- purchase of oil through bartering for exported goods

Under the item of "importation/exportation," there are seasonal limitations and the constraint of having exports concentrated in only a few countries (mainly the USA and Nigeria) [PETROBRAS, 1986], in a worldwide context of refining self-sufficiency, which will probably be aggravated in the near future by the implementation of large units in the Middle East [DIAS, 1985].

The decision to modify the specifications of the derivatives was primarily aimed at "prolonging" the diesel range, by incorporating both lighter and heavier fractions and increasing the flexibility of the FCC units. Such modifications resulted in derivatives having different characteristics, mainly in terms of sulphur content, flash point, viscosity and the cetane index.

This made it possible for diesel to incorporate the LCO currents (unstable FCC current used to dilute fuel oil), gas-oil from vacuum distillation (highly unstable), cracked naphthas from FCC currents derived for gasoline and diesel (the cetane index drops), gas-oil from atmospheric distillation (usually unstable, with a high sulphur content) and gas-oil from vacuum coking of residues (highly unstable) [DIAS, 1985].

The modifications in the specification of derivatives are tied to changes in refining processes and equipment, with the implementation of hydrotreatment units permitting the inclusion of unstable diesel currents, hydrodesulphurization units and others.

In the area of optimization of the refining structure, the programs which have been or are being implanted are as follows:

- Construction of new units
- Cracking of heavy loads
- Vacuum minimization of residues
- Lubricants and paraffins

In support of these programs in the area of derivatives production, programs were developed for energy conservation, safety, environment and quality.

All of these programs are interrelated and related to the need for flexibility in the refining park, especially in order to promote the conversion of heavy residues, mainly through FCC processes for heavy fractions (mechanical modifications in equipment and changes in catalysts), viscosity reduction, coking, de-asphalting and hydrocracking. The latter, although the

most efficient, has not been applied thus far, due to the high cost of its implementation and the lack of mastery of the technology in Brazil. In addition to the residue conversion units, the implementation of hydrotreatment and hydrodesulphurization units is important, since it would make it viable to incorporate the currents obtained in the processes used in producing the derivatives.

It is worthwhile to note that sizeable investments are needed for the expansion/modification of the refining park, and they come mainly at a time when the Brazilian and world economies are going through a difficult process. New priorities should be set for investments in the petroleum sector; nowadays these are earmarked almost exclusively for exploration and production (89% in 1985) [DIAS, 1986].

The refinery structure's limits for meeting market needs cannot be considered absolute, since they depend on the characteristics of the basic feedstock and on the viability of placing surplus derivatives on the market. Nevertheless, taking average values, problems can be anticipated for the mid-1990's, even with the possible expansion of the refining park. The Government Action Program (PAG), anticipating problems for the mid-1990's, has therefore established goals for refining structure and capacity. These are discussed in Section 7.

On the basis of PETROBRAS forecasts for 1990/1995, the demand structure would be as follows [DIAS, 1986]:

	1990	1995
LPG	11.4%	12.15
Light	21.0%	16.3%
Medium	47.9%	53.1%
Heavy	19.1%	17.5%

In 1993, two million m³ of LPG and 5 million m³ of diesel would be imported, and 3.5 million m³ of gasoline and 3.7 million m³ of fuel oil would be exported.

In this context, actions on the demand-side become important, whether through rationalization programs or displacement/substitution of energy sources (reorientation of PROALCOOL; substitution of alcohol for diesel, gasoline, vegetable oils, natural gas, etc.).

Planning of the structure of derivatives demand and production should form part of a comprehensive energy planning process, with priorities defined so as to maximize the socioeconomic impact of natural resources, through efficient instruments of support and analyses of investments in the petroleum sector as well as those in competitive energy sectors.

6. ALTERNATIVE FUELS FOR THE TRANSPORTATION SECTOR

As mentioned in previous sections, in addition to the "conventional" fuels used in the transportation sector worldwide (gasoline and diesel), in Brazil ethyl alcohol has been used as a fuel on a commercial scale: its consumption was estimated as an average of 184 000 barrels of gasoline equivalent per day, in 1987, as compared with a gasoline consumption of 122 000 barrels per day.

Alcohol has basically been used in two forms: anhydrous (almost moisture-free) and hydrated (equivalent to an azeotropic mixture, which has a nearly 4% water content).

Anhydrous alcohol had been used in mixtures with gasoline in various countries several decades before the 1973 oil crisis. In Brazil, the first laws on alcohol date back to the era of the Empire, with Decree No. 8363 of December 31, 1881, related to the concession of privileges and incentives for equipment used to produce alcohol from sugarcane. Decree No. 19 717 of February 20, 1931, established that during a four-month period the right to import gasoline could only be exercised after the importer had proven the prior purchase of national alcohol, in a minimum proportion of 5% with respect to the amount of gasoline to be imported. A 1934 publication [OLIVEIRA, n.d.] summarized the tests run in internal combustion engines over 14 months, both in testing yards and on roads, to determine the most suitable ratio of anhydrous alcohol to be added to gasoline (near 15%), taking into account the effects on fuel consumption, mixture stability, etc. In late 1932, Eduardo Sabino de Oliveira, Fonseca Costa and Souza Mattos, pioneers in the work on fuel alcohol in Brazil, took part in campaigns which led to the adoption of 60-40 blends in Rio de Janeiro and the conversion of almost 3 000 engines.

During the 1942-1956 period, the alcohol content in the alcohol-gasoline mixture reached 42% in the northeastern part of the country. Anhydrous alcohol was added to gasoline as a means of absorbing the surpluses in the sugar industry when the conditions on the international sugar market were unfavorable. Distilleries outside the sugar mills were used to produce the alcohol.

Due to the retraction on the international sugar market, for example during the 1966/67 period, the addition of anhydrous alcohol to gasoline attained high levels, equivalent to 14% of the gasoline demand in the state of São Paulo and 6% of the overall national demand.

Following the 1973 oil crisis, and with the creation of PROALCOOL, there was a substantial increase in the installed capacity of alcohol distilleries, initially appended to sugar mills and later totally independent from sugar production. The addition of anhydrous alcohol to gasoline then became independent from the behavior of the sugar market and was geared to reducing reliance on imported oil. The addition of

anhydrous alcohol to gasoline was increasingly larger, and since 1983 all of the gasoline marketed in the country has been 22% anhydrous alcohol.

With the second oil crisis, in 1979, PROALCOOL expanded, and hydrated alcohol was launched as a direct fuel for motors specially manufactured (or converted) for use only with this fuel, which did not need to be mixed with gasoline. The distribution network (supply stations) was expanded rapidly by nearly 3 000 in 1980 and almost 17 000 in 1985.

Penetration only actually occurred in the group of passenger and multi-purpose vehicles equipped with Otto-cycle engines, displacing the gasoline that was 22% anhydrous alcohol, as mentioned previously. In the market for commercial vehicles, which includes pick-up trucks for multi-purpose uses and cargo, vans and buses in which the use of diesel is permitted, the penetration by hydrated alcohol was fair for the light vehicles (pick-up trucks and vans) but only slight in heavy vehicles (trucks and buses), as can be seen in the figures on vehicle sales in selected years (see Table 4). The reasons for this smaller degree of penetration are basically related to fuel and vehicle prices, as discussed in Section 5, which resulted in user preference for diesel-engine heavy vehicles.

This situation led to growing problems in terms of diesel supply, as noted also in the preceding section; therefore, research has been conducted on various fuels as substitutes for diesel.

Within the alternative concepts for the use of alcohol instead of diesel, indicated in Figure 8, only the use of alcohol with an additive, and the use of dual-injection and Otto-cycle engines had commercial application, especially the latter. The alternative of mixing alcohol and diesel, which would apparently be the simplest, encountered difficulties with mixture stability, which depends on the composition of the diesel. In some cases, it may be necessary to use additives to reduce the cetane index or to maintain mixture stability, or both.

In any case, no matter what the approach, the substitution of diesel by alcohol will be difficult if the fuel pricing policy does not change. In the case of light commercial vehicles, the introduction of hydrated alcohol instead of diesel should increase, given the recent resolutions to raise taxes on the price of these vehicles when they have diesel engines and reduce them when they are run on alcohol or gasoline [CNE, 1988(a)].

Among the other fuels indicated in Figure 8 as possible alternatives to diesel, the one offering the best prospects is methane gas or compressed natural gas (CNG). One of the constraints at present is the distribution network (supply stations), due to the need to have compression stations requiring investments much larger than those needed for the expansion of the network for supplying hydrated alcohol, which is basically conventional.

There is broad international experience in the use of CNG [CARVALHO, 1985]. Several countries where

large projects have been implemented may be mentioned; for example, the United States, Canada, New Zealand and, in Latin America, Argentina. The case of Italy is notable: in 1981 there were already 220 supply stations and nearly 330 000 CNG-run vehicles, mostly passenger cars.

In Brazil, the initial emphasis on the use of CNG is being placed on applications in urban buses, due to greater facility in terms of supply and smaller emissions of pollutants, especially particles and sulphur compounds in urban centers. Notable experiences have been underway for four years, with almost 30 buses in the cities of Rio de Janeiro, São Paulo and Natal, among others. In just one of these experiences (Natal), by June 1987 almost 240 000 km had been covered, and 1 250 000 passengers had been transported [ABREU, 1987].

There are also notable experiences with passenger cars, e.g. the CNG program for taxis in the city of Rio de Janeiro. Mention should also be made of the pioneering experiences with fleets of different vehicles operated by the Paraná Sanitation Company (SANE-PAR), the São Paulo State Basic Sanitation Company (SABESP), the São Paulo Prefecture/LIMPURB, the Rio de Janeiro State Gas Company (CEG) and PETRO-BRAS, among others.

The first experiences in Brazil were related to the use of methane produced in sanitary fills or biodegrading composts (even using alcohol stillage), but the major source foreseen for use should be natural gas. This is due to the growing volume of reserves in several sites in the country, plus the possibility of supplies of almost 30 million m³ of gas/day from Argentina, Bolivia and Algeria. For planning purposes, the consumption goal for 1995 [CNE, 1986] was set as approximately 6 million m³ of natural gas/day for the transportation sector, equivalent to 12% of the total natural gas consumption in Brazil that same year. It is considered that by then it will be possible to have an annual substitution of 2.3 million m³ (39 000 barrels/day) of diesel, using CNG in 80 000 vehicles.

It should be underscored that, in general, the CNG-run vehicles have dual-fuel features, i.e. they operate alternately with gas/liquid fuels, the latter usually being gasoline. In Brazil, the second fuel is hydrated alcohol, which permits the use of a higher rate of compression than for gasoline, thus optimizing CNG performance and permitting a high rate of compression. This advantage does not occur in the countries where the combination depends on the characteristics of gasoline rather than alcohol.

Another alternative to diesel was the group of vegetable oils, which has been subject to wide research in Brazil. However, their promising outlook did not materialize for various reasons, both technical and economic. At the international level, the situation was no different, although the interest in the use of vegetable oils as fuel for diesel-cycle engines was as old as the diesel engine itself, according to numerous publications. More recently, various efforts have been



made to tap vegetable oils of different origins as fuel for diesel engines in different countries; for example: Australia (sunflowers), Malaysia ("dende"), Philippines (coconuts), South Africa (sunflowers), United States (cotton, peanuts) and Zimbabwe (sunflowers) [TRINDADE, 1984].

In Brazil, research has also been done on vegetable oils of different types; however, soybean oil has merited the most attention, given the high level of national production.

In general, the direct use of vegetable oils "in natura" has not been practical (except in mixtures of up to 20/30% of vegetable oils), for different reasons, especially their viscosity, which can attain levels 2 to 10 times greater than that of diesel, depending on the temperature. Suitable fuel viscosity is essential for the sound operation of injection processes and filters in diesel-cycle engines. Difficulties with contamination of lubricating oils have also caused technical problems.

Thus, the proposals for modifications in vegetable oils by means of transesterification have been researched in greater detail, since they offer characteristics more suitable for use as fuel in diesel-cycle engines.

Among the Brazilian experiences with modifications of vegetable oils, mention may be made of the so-called "OVEG Program" coordinated by the Secretariat of Industrial Technology (STI) and comprised by representatives from the automotive industry, lubricating oil manufacturers, and the chemical industry, among others [FONSECA, 1985].

The use of three types of fuels was evaluated, all based on soybean oil:

- blends 70% diesel/30% ethyl ester
- 100% methyl ester
- 100% ethyl ester



Some 20 vehicles were operated by 12 firms, consuming approximately 238 000 liters of the blend and 226 000 liters of esters and travelling a total of 660 000 km with the blend and 490 000 km with esters. The test results, in sum, indicated that it was necessary to make the materials which have contact with the fuel compatible, in order to avoid loss of power due to the progressive obstruction of the injector nozzles and consequent increases in maintenance. The most critical problem, however, is dilution of the lubricating oil. In general, economical solutions can be found for the technical problems with operation and performance that have been identified; however, there is still the question of vegetable oil production costs with respect to the cost of diesel. Historically, the prices of vegetable oils have been higher than those of diesel-- on the order of five times higher in 1979, before falling to around double in 1988, and increasing again following the recent drop in oil prices. To this situation must be added the fact that the transesterification process should cause an increase of almost US\$ 200/ton in the final product. The transesterification process also results in a large output of glycerine as a by-product, the destination of which should be foreseen. Under the hypothesis that the volume of diesel consumed in Brazil in 1983 could be effectively substituted for by transesterified vegetable oils [TRINDADE, 1984], the volume of glycerine production would be equivalent to the world market for this product.

Insofar as the other alternatives to diesel as transportation fuels, note should be made of efforts made in Brazil during the 1979-84 period, to develop producer gas and methanol using firewood and charcoal as feedstock; such efforts have currently decreased.

7. PROSPECTIVE ANALYSIS

The previous sections have presented the past and present context for energy in the Brazilian transportation sector, as well as rationalization measures, the influences of pricing policy, the programs for substitution of oil derivatives, etc.

This section will discuss current and future consumption and the energy structure in the transportation sector (especially in terms of diesel), encompassing the following items:

- competition between alcohol and gasoline and between diesel and gasoline
- pricing policies and incentives
- evolution of the refining structure
- substitution of oil derivatives
- programs of rationalization and conservation of energy

The growth trends in the fleet of passenger vehicles run on alcohol and gasoline, should current policies be maintained, have been extrapolated [DIAS, 1986] using a curve which differentiates vehicle lifetime (retirement) as a function of the year of production. The results can be seen in Table 6.

If the previous scenario should materialize, it would entail the generation of large surpluses of certain derivatives and call for expansion efforts and drastic reforms in the refining park; it would also demand changes in the energy price structure, which currently subsidizes the price of some forms of energy (LPG, diesel, naphthas, hydrated alcohol) and overprices others (gasoline, anhydrous alcohol). Hydrated alcohol is not yet produced at costs competitive with those for oil, at the price levels of this latter energy source on the international market. This fact, despite the social advantages (creation of employment, discouragement of migration from rural areas, agroeconomic development, etc.) and PROALCOOL strategies, implies subsidies paid by the users, higher inflation, and loss of competitiveness by the Brazilian economy, among other disadvantages.

Nonetheless, it is important to modify sectoral policy, providing incentives for increases in agro-industrial productivity in the sugar-alcohol sector and reviewing both the pricing policy for alcohol and gasoline and the taxes (IPI) which influence vehicles. Thus, a fixed cost-variable cost structure must be mounted, dividing the market by average annual mileage.

Implementation of this policy has already begun through the increase in fuel prices of June 22, 1988, which increased the ratio of alcohol/gasoline prices from 0.65 to 0.69 (ratio between the calorific values of the fuels). This ratio may continue to be modified gradually.

Other sectoral policies refer to the possible mixture of 3% gasoline with hydrated alcohol (and larger

percentages will be studied) and the reduction in the percentage of anhydrous alcohol in gasoline (currently 22%).

The extrapolation of the growth trends in the cargo vehicle fleet, presented in Figure 5, based on a linear curve for vehicle retirement, indicates a probable aggravation of the problems with the refining structure and the dependency on oil.

Programs should be implemented with a view to reducing the percentage of collective transportation and freight vehicles run on diesel, bearing in mind the most energy-efficient forms. It is worthwhile to recall that the evolution of the freight fleet in the recent past granted privileges to the heavy vehicles having less energy consumption per t.km. In the short term, the following programs have been planned for implementation [CNE, 1988(a)]:

- To increase the IPI quota for lightweight freight vehicles run on diesel.
- To prohibit the conversion of Otto-cycle vehicles to diesel-cycle vehicles.
- To reduce the IPI proportionally for Otto-cycle freight vehicles.
- To work jointly with the sugar-alcohol sector to substitute diesel in its freight vehicles.
- To promote the assessment of research on Otto-cycle engines for heavy vehicles.
- To support the projects underway in some cities for the use of CNG-run vehicles (buses and trucks) and to expand them to other cities.

As for the refining structure, the Government Action Plan (PAG) foresees the expansion/modification of the refinery structure and other actions, as described in Section 5. The PAG projections for the production and consumption of oil derivatives for the year 1995 are presented in Table 7 [CNE, 1988(b)].

Short-term policies and actions are for the most part related to the continuation of current programs geared to expansions and reforms in the refining park, granting preference to processes with greater production of medium-weight oil fractions (coking, hydro-treatment, FCC, heavy loads, hydrocracking, etc.). Considerable efforts must be made to diversify the purchasing countries (today, exports are concentrated primarily in the United States and Nigeria). The changes in fuel specifications should also take into account environmental effects.

In relation to the programs of energy rationalization/conservation, existing programs should be reactivated and instruments should be developed for better monitoring of results. Special attention must be paid to the suitable management of cargo transport.

Fiscal incentives could be implemented for vehicles which apply more economical technologies (turbo-engines, electronic injection, etc.).

The efforts at expansion and improvement of railroads, which have not been implemented due to the

shortage of financial resources, should continue as priorities for government action, selecting those whose social and financial benefits will be faster and more effective. River transport facilities and inter-modal transport in general should be further developed as well.

8. CONCLUSION

Was the dieselization process in Brazil directed? It really cannot be said that there was a dieselization "program". Figure 5 indicates that since the late 1950's the ratio between the gasoline-run truck fleet and the diesel-run truck fleet has been decreasing. This process accelerated in the mid-1970's, as the result of policies seeking a reduction in the consumption of gasoline, which dominated Brazilian refining. Dieselization did not then exist as a target. Actually, it was the transporters' need to economize that led to dieselization of the fleet.

The dieselization of cargo transport, alongside the alcoholization of passenger vehicles, left the refinery situation in a difficult position. Although refining self-sufficiency was reached in the 1970's, the country currently sees the need for major investment in the expansion/reform of the refinery park, with a view to satisfying the growth in the demand for derivatives and the new demand structure. As an alternative and complementary action, the country has undertaken programs of energy rationalization and developed others for the substitution of oil derivatives. These have been quite successful, although there is still much room for waste, which must be avoided, and room for technological development to make alternative fuels such as CNG, vegetable oil, and methanol technically and economically viable. In the current economic crisis, both in Brazil and worldwide, resource optimization becomes extremely important.

The search for more energy-efficient solutions should be also an ongoing goal.

NOTES

1. For the purpose of substituting for oil derivatives, PROAL-COOL sought to increase the production of ethyl alcohol (ethanol), termed simply "alcohol" throughout this paper. Alcohol can be used in various forms as fuel for Otto- or diesel-cycle engines, as explained in Section 6. When it is mixed with gasoline, it is necessary for it to be in the form of anhydrous alcohol (practically moisture-free) in order to minimize mixture stability problems. Without the addition of gasoline or other fuels, it can be used in hydrated form (an azeotropic mixture, for example).

Estimates are that nearly 1.6 million cubic meters of anhydrous alcohol (in mixtures 22% alcohol/78% gasoline) and 11 million cubic meters of hydrated alcohol were consumed as fuels in Brazil in 1987, by 6.5 and 3.5 million vehicles, respectively.

Section 4 provides details on the effect of these values on the energy structure of the sector.

2. Source for Section 2: MME, 1987.

3. Oil prices (CIF-Brazil) went from US\$3.88/barrel in 1973 to US\$12.55/barrel in 1975, and from US\$18.36/barrel in 1979 to US\$36.59/barrel in 1981.
4. It is worthwhile to note that the break-even value (in addition to other variables) is calculated not only as a function of the relative price, i.e. the gasoline price/diesel price ratio (P_d/P_g), but also as a function of the difference in net fuel costs ($e_g P_g - e_d P_d$) [PINHEIRO, 1983].

BIBLIOGRAPHY

- Abreu, Ricardo Simoes and Ferreira, Antonio Eustacio S. "Development of Mercedes-Benz Urban Buses Run on Natural Gas" (in Portuguese). IV Symposium on Automotive Engineering, Sao Paulo, Brazilian Automotive Engineering Association (AEA), 1987.
- ANFAVEA, National Association of Automotive Vehicle Manufacturers. Statistics on Vehicle Production and Sales on the Domestic Market and for Export, by Type and Fuel (in Portuguese), 1988.
- Carvalho Jr., Arnaldo Vieira de. "Natural Gas and Other Alternative Fuels for Transportation Purposes," Energy, Great Britain, Pergamon Press, 1985, pp. 187-215.
- CNE, National Energy Commission. Analysis and Proposals for the Use of Natural Gas (in Portuguese), Brasilia, 1986, IV.
- Information at the Plenary (in Portuguese), No. 01/20a, n.p., 1988, 6pp. (a).
- Policy for Liquid Fuels for Automobiles (in Portuguese). Brasilia, 1988, pp.1-25. (b).
- PRODEL-Program for the Voluntary Ecopomizing of Diesel and Lubricants (in Portuguese). n.p., n.d. IV.
- CNP, National Petroleum Council. Statistical Yearbook, 1987 (in Portuguese). Brasilia, 1987, IV.
- Dias, Danilo de Souza. Refining Structure and Possibilities for Substitution by Diesel (in Portuguese). n.p., COPPE/UFRJ, 1985, 33pp.
- Future Prospects on the Brazilian Market for Liquid Fuels: Oil Refining Structure and Alternatives for the Diesel Problem (in Portuguese). Encounter on the Energy Outlook for the 1990's. Rio de Janeiro, 1986, pp. 1-34.
- Ferreira, Leo Rocha and Motta, Ronaldo Seroa D. Economic Reassessment and New Adjustments for PROALCOOL (in Portuguese). Rio de Janeiro, IPEA/INPES, 1986, 28pp.
- Fonseca, Max Aurelio Negreiros. Research on Vegetable Oil as a Fuel in Diesel Engines (in Portuguese) - OVEG I Program. Symposium on Automotive Engineering and XII Encounter of Technological Support Centers, Brasilia. MIC/ST1, 1985, pp. 23-24.
- GEIPO, Brazilian Transportation Planning Company, MT. Statistical Yearbook on Transportation (in Portuguese), s.l., 1986, pp. 418-23.
- Goldemberg, Jose. Liquid Fuels in Brazil: An Assessment (in Portuguese), 1981, IV.
- MME, Ministry of Mines and Energy. National Energy Balance (in Portuguese), Brasilia, 1987, 155 pp.
- MT, Ministry of Transportation. Transportation in Brazil and the Energy Crisis (in Portuguese), Tokyo, 1980, IV.
- Oliveira, Eduardo Sabino de. Alcohol and Gasoline Engines (in Portuguese). Ministry of Labor, Industry and Trade, n.d.
- PETROBRAS. Adaptation of the Brazilian Refining Structure: Evaluation of the Consumption of Oil Derivatives (in Portuguese). Rio de Janeiro, 1986, 42pp.
- Pimentel, Rosalina Chedian and Santos, Joao Alberto Vieira and Jochmek, Abraham Awiw. "Scenarios for the Demand for Alternative Fuels" (in Portuguese). IV Symposium on Automotive Engineering. Sao Paulo. Brazilian Automotive Engineering Association, 1987, pp. 261-268.
- Pinheiro, Armando Castelar. On Dieselization of the Brazilian Truck Fleet (in Portuguese). Rio de Janeiro. IPEA/INPES, 1986, 87pp.
- Ramos, Lauro R.A. Scenarios for the Demand for Oil Derivatives (in Portuguese). Rio de Janeiro, IPEA/INPES, 1983, 87pp.
- Resende, Eliseu. Sectoral Contributions to the Brazilian Energy Model - Transportation (in Portuguese). Brasilia, 1979, IV.
- Rationalization of Transportation with a View to Substitution for Diesel and Gasoline (in Portuguese). Rio de Janeiro. Ministry of Transportation, 1979, IV.
- Severo, Cloraldino. "Transportation Policy and the Energy Problem," (in Portuguese) Energia. Sao Paulo. n.ed., 1983, pp. 27-40.

Souza, Jose Carlos de Jesus. The Evolution of International Oil Trade (in Portuguese). n.p., PETROBRAS, 1984, IV.

"The Case of Ethanol Fuels in Brazil," Conference on Alternative Transportation Fuels in the 1990s and Beyond. Asilomar, USA, 1988 (b).

Trindade, Sergio C. and Carvalho Jr., Arnaldo Vieira de. "Transportation Fuels Policy Issues and Options: The Case of Ethanol Fuels in Brazil," Tokyo, ISAF 1988 (a).

Trindade, Sergio C. "Alternative Transport Fuels, Supply, Consumption and Conservation," Energy Research Group (ERG), United Nations University (UNU), USA, 1984.

FIGURE 1. STRUCTURE OF PRIMARY ENERGY SUPPLY AND % OF ENERGY INDEPENDENCE

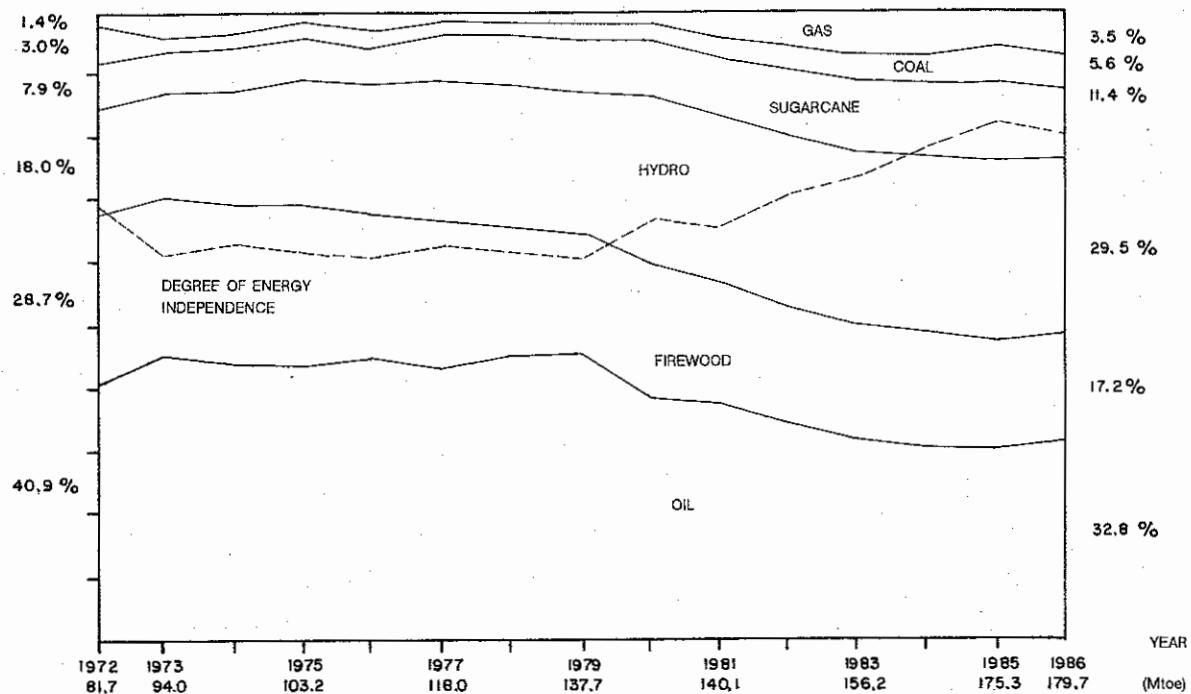


FIGURE 2. EVOLUTION OF ENERGY PRICES Cr\$/m³ (1973 currency) [MME, 1987]

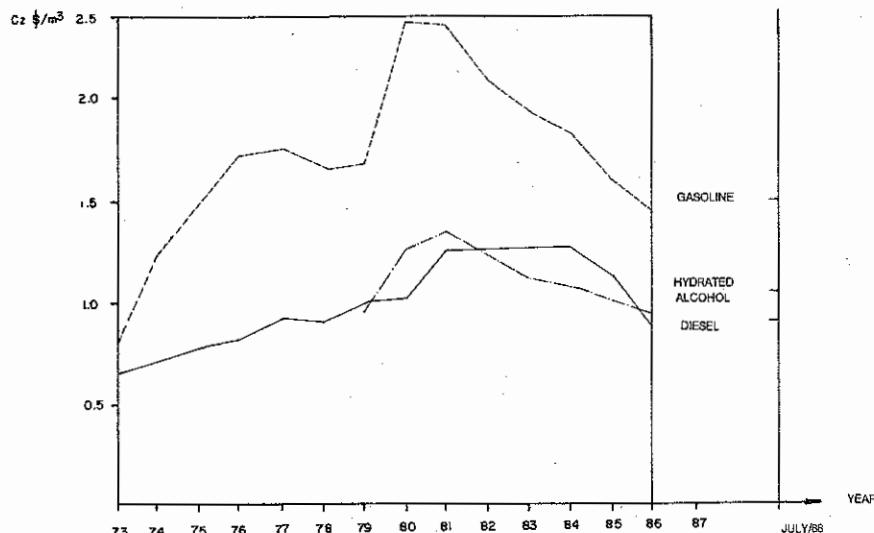


FIGURE 3. SALES OF ALCOHOL-RUN VEHICLES AS A PERCENTAGE OF TOTAL PASSENGER VEHICLE SALES
[TRINIDADE, 1988(a)]

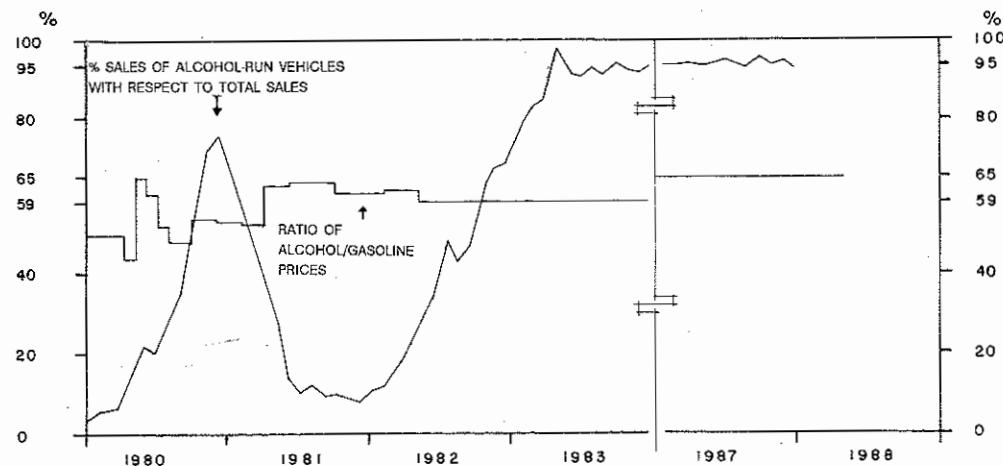


FIGURE 4. EVOLUTION OF THE NATIONAL VEHICLE PARK, BY TYPE OF FUEL
[PIMENTEL, 1987]

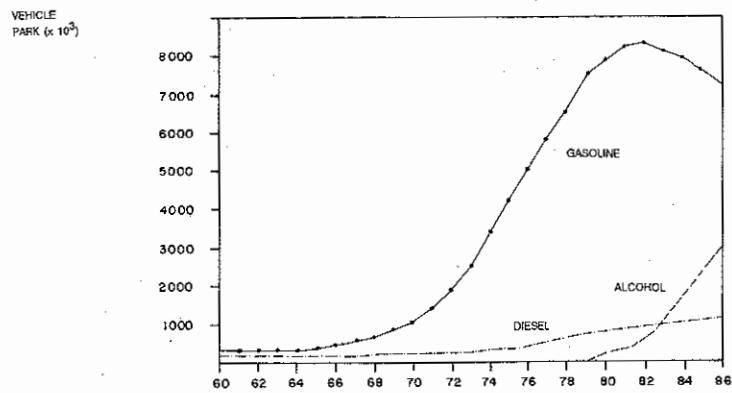


FIGURE 5. EVOLUTION OF THE OTTO-CYCLE AND DIESEL-CYCLE TRUCK FLEETS
[PINHEIRO, 1983] 1957-1979
[GEIPOT, 1986] 1980-1985

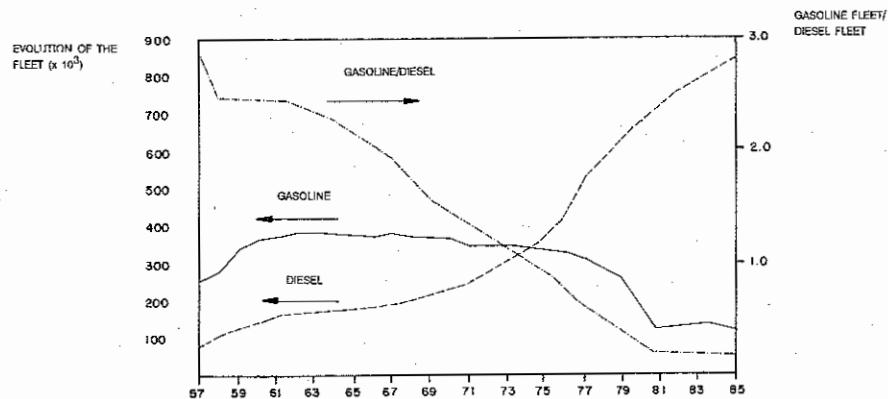


FIGURE 6. EVOLUTION OF THE BREAK-EVEN POINT FOR LIGHT- AND MEDIUM-WEIGHT TRUCKS [PINHEIRO, 1985]

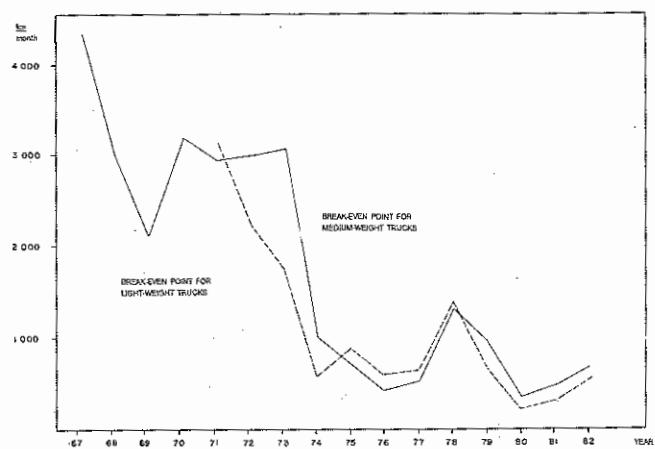


FIGURE 7. EVOLUTION OF THE SHARE OF EACH GROUP OF DERIVATIVES IN BRAZIL'S TOTAL CONSUMPTION [RAMOS, 1983; PETROBRAS, 1986]

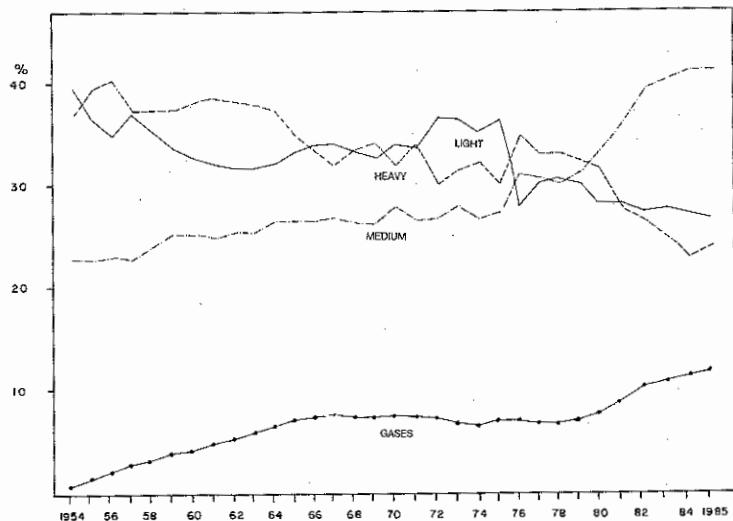


TABLE 1
EVOLUTION OF EXTERNAL DEPENDENCE ON OIL
BRAZIL, SELECTED YEARS

YEAR	DEMAND FOR OIL DERIVATIVES (INCL. LOSSES) (1 000 BARRELS/DAY)	NET IMPORTS OF OIL AND DERIVATIVES (1 000 BARRELS/DAY)	EXTERNAL DEPENDENCY (CONSIDERING VARIA- TIONS IN STOCKS) (%)
1972	621	474	73.3
1975	863	760	80.2
1979	1 118	997	85.0
1981	1 007	777	78.3
1985	984	417	43.5
1986	1 076	516	45.5

[MME, 1987]

TABLE 2
EVOLUTION OF CONSUMPTION IN THE TRANSPORTATION SECTOR,
BRAZIL, SELECTED YEARS (%)

YEAR	DIESEL	FUEL OIL	GASOLINE	KEROSENE	ETHYL ALCOHOL	OTHERS	(%)	TOTAL (1000 TOE)
1972	33.8	3.0	55.4	4.7	1.8	1.3	100.0	15 960
1975	35.4	5.7	51.7	5.7	0.6	0.9	100.0	21 236
1979	41.7	5.3	39.2	6.4	6.5	0.9	100.0	25 574
1981	45.2	5.5	33.7	7.5	7.0	1.1	100.0	24 532
1985	45.3	5.9	21.3	6.3	19.9	1.3	100.0	27 905
1986	44.0	4.1	21.0	6.8	23.0	1.1	100.0	31 697

[MME, 1987]

TABLE 3
FINAL ENERGY CONSUMPTION OF THE PRINCIPAL OIL DERIVATIVES
BRAZIL, 1972 (% VOL/VOL)

FUEL	TOTAL	TRANSPORTATION				INDUSTRIAL	RESIDENTIAL	ELECTRICITY GENERATION	OTHERS
		LAND	RAIL	RIVER	AIR				
GASOLINE	34.9	34.6	-	-	0.3	-	-	-	-
FUEL OIL	28.6	-	0.1	1.5	-	22.7	-	3.6	0.7
DIESEL	23.7	17.9	1.3	-	-	2.2	-	0.2	2.1
LPG	7.9	-	-	-	-	0.3	7.5	-	0.1
KEROSENE	4.9	-	-	-	2.8	0.1	1.2	-	0.8
TOTAL	100.0	52.5	1.4	1.5	3.1	25.3	8.7	3.6	3.7
		58.5%							

NOTE: The final non-energy consumption of oil in 1972 corresponded to only 1 723 000 TOE, equivalent to 6.2% of the final energy consumption of oil, which amounted to 27 647 000 TOE in that same year.

[MME, 1987]

TABLE 4

VEHICLE SALES ON THE DOMESTIC MARKET
BRAZIL (10^3 VEHICLES, BY TYPE OF FUEL)

YEAR	AUTOMOBILES			LIGHT COMMERCIAL			HEAVY COMMERCIAL		
	GASOLINE	ALCOHOL	DIESEL	GASOLINE	ALCOHOL	DIESEL	GASOLINE	ALCOHOL	DIESEL
1973	558.	-	-	106.	-	1.	26.	-	45.
1975	661.	-	-	118.	-	1.	17.	-	62.
1979	828.	2.	-	79.	1.	16.	1.	0.	89.
1980	567.	226.	-	60.	14.	20.	1.	-	93.
1981	319.	129.	-	25.	8.	35.	0.	1.	64.
1982	344.	212.	-	21.	21.	44.	0.	1.	48.
1983	70.	478.	-	9.	41.	29.	2.	2.	40.
1984	29.	484.	-	3.	51.	42.	0.	3.	46.
1985	24.	578.	-	5.	67.	26.	0.	2.	61.
1986	53.	619.	-	9.	78.	28.	0.	2.	79.
1987	23.	387.	-	8.	72.	24.	0.	1.	66.

[TRINDADE, 1988]

TABLE 5

**FUEL COSTS:
PRICE RATIOS AND
COST DIFFERENCES BETWEEN
GASOLINE AND DIESEL**

YEAR	LIGHT		MEDIUM
	RATIO (PG) PD	COSTS INCL. FUELS (Cr\$/km)*	FUEL COSTS (Cr\$/km)*
1957	1 653	4 604	6 604
1958	1 681	4 529	6 495
1959	1 420	4 205	6 040
1960	1 427	3 380	4 855
1961	1 365	4 437	6 378
1962	1 292	3 527	5 073
1963	1 290	3 542	5 095
1964	1 250	3 582	5 155
1965	1 271	4 421	6 301
1966	1 256	3 909	5 625
1967	1 216	3 510	5 053
1968	1 211	3 666	5 279
1969	1 213	4 069	5 858
1970	1 205	3 965	5 709
1971	1 203	4 091	5 892
1972	1 177	4 258	6 135
1973	1 216	4 456	6 415
1974	1 729	8 661	12 419
1975	1 879	10 935	15 670
1976	2 082	13 427	19 229
1977	1 878	13 150	18 843
1978	1 822	12 168	17 440
1979	1 672	11 882	17 041
1980	2 316	19 472	27 872
1981	1 908	17 812	25 525
1982	1 703	14 881	21 340

Table No. 6

**Passenger Vehicle Fleet
(10^6 units)**

Year	Hydrated Alcohol	Gasoline
1985	2.0	7.6
1990	4.6	5.6
1995	8.5	2.5
2000	12.2	0.9

TABLE 7

**PAG PROJECTIONS FOR THE PRODUCTION
AND CONSUMPTION OF OIL DERIVATIVES
1985**

DERIVATIVES	PRODUCTION (%)	CONSUMPTION (%)
DIESEL	37.	40.
GASOLINE	10.	8.
FUEL OIL	18.	18.
LPG	8.	12.
NAPHTHA	10.	10.
OTHERS	17.	12.

* 1981 Cr\$; deflator IGP-DI
[PINHEIRO, 1983]

FIGURE 8
**ALTERNATIVE SUBSTITUTES FOR DIESEL IN THE
TRANSPORTATION SECTOR**

