

2



NACIONES UNIDAS
CONSEJO
ECONOMICO
Y SOCIAL



Distr.
LIMITADA
CEPAL/MEX/1057
25 de agosto de 1981

ORIGINAL: ESPAÑOL

CEPAL

Comisión Económica para América Latina



ISTMO CENTROAMERICANO: ALGUNAS POSIBILIDADES DE AHORRO EN
EL SECTOR TRANSPORTES AL SUSTITUIR DERIVADOS DEL PETROLEO
POR OTROS ENERGETICOS

(Versión provisional)

INDICE

	<u>Página</u>
Introducción	1
I. La electrificación de los transportes	6
1. Medios y alternativas considerados	7
2. Ahorro y consumo de energéticos	8
II. El empleo del alcohol anhidro (etanol) en los transportes	20
1. Alternativas consideradas	20
2. Ahorro y consumo de energéticos	21
III. Conclusiones	28
<u>Anexo:</u> Información básica y desarrollo de los cálculos para los estudios sobre sustitución de energéticos y de modos en el sector transporte del Istmo Centroamericano	29

INDICE DE CUADROS

Cuadro

1	Istmo Centroamericano: Sector transporte. Vehículos de autotransporte, 1978	2
2	Istmo Centroamericano: Rendimiento y consumo de combustible de los vehículos automotores	3
3	Istmo Centroamericano: Consumo de derivados de petróleo en el sector autotransporte, 1978	4
4	Istmo Centroamericano: Alternativas de uso de electricidad en el sector transporte, 1978	9
5	Consumo unitario de derivados de petróleo y electricidad, por medio de transporte	10
6	Requerimientos unitarios de electricidad, por desplazamiento de derivados de petróleo	11
7	Istmo Centroamericano: Sector transporte. Consumo y ahorro de derivados de petróleo en alternativas consideradas, 1978	12
8	Istmo Centroamericano: Sector transporte. Energía eléctrica requerida para sustituir derivados de petróleo en alternativas consideradas	14
9	Istmo Centroamericano: Sector transporte. Consumo y ahorro de energía calórica en alternativas consideradas, 1978	15
10	Demanda unitaria de derivados del petróleo con generación termoeléctrica, por medio de transporte	16

<u>Cuadro</u>		<u>Página</u>
11	Relación de consumo de derivados de petróleo con generación termoeléctrica, por tipo de sustitución	17
12	Istmo Centroamericano: Participación de la transportación masiva en el ahorro de derivados de petróleo, 1978	18
13	Istmo Centroamericano: Alternativas de uso de alcohol en los automóviles, 1978	22
14	Consumo unitario de gasolina y etanol por tipo de mezcla en automóviles	23
15	Istmo Centroamericano: Sector automotriz. Consumo y ahorro de gasolina por el uso de alcohol en automóviles, 1978	24
16	Istmo Centroamericano: Sector automotriz. Requerimientos de alcohol y caña para sustituir gasolina, en alternativas consideradas	25
17	Istmo Centroamericano: Sector automotriz. Consumo y ahorro de energía calórica en alternativas consideradas, 1978	27

INTRODUCCION

La crisis energética que afecta a gran número de países y entre ellos a los del Istmo Centroamericano, ha estimulado la búsqueda de fuentes alternativas al uso de los hidrocarburos derivados del petróleo, cuyo consumo de 4.8 millones de toneladas equivalentes de petróleo (tep) en 1980 significó para la región un costo de 1 200 millones de dólares.

El sector transporte, cuya participación en el consumo de energéticos es considerable, presentó a fines de 1978 en el Istmo Centroamericano las siguientes características generales:

Ferrocarriles	4 500 kilómetros de longitud 1 100 millones de toneladas-kilómetro brutas movilizadas
Carretero y urbano	56 000 kilómetros de carreteras 650 000 vehículos (véase el cuadro 1)
Aéreo	1.5 millones de pasajeros
Marítimo	14.0 millones de toneladas movilizadas

Los combustibles derivados del petróleo son los energéticos más utilizados en el sector transporte --exceptuando el ferrocarril al Pacífico de Costa Rica--, y su consumo alcanzó en 1978 un total de 2.2 millones de toneladas equivalentes de petróleo. De este volumen, un 90% correspondió a los autotransportes, y el resto a ferrocarriles, aviones y barcos. Para ese mismo año el consumo total de hidrocarburos en la región llegó a 5.1 millones de toneladas equivalentes de petróleo.

Para desglosar el consumo global de los autotransportes entre los diversos tipos de vehículos se estimaron consumos promedio anuales con base en información disponible para el año de 1978 en materia de rendimientos, recorrido anual y proporción de vehículos de carga según tonelaje. (Véase el cuadro 2.)

Los resultados por tipo de vehículo indican que los camiones consumieron prácticamente la mitad de la demanda, y ocuparon sólo la tercera parte del parque automotriz. Por su parte, los automóviles, que cubrieron un 62% de las unidades rodantes, consumieron un 40.0% de los hidrocarburos, y el resto, algo más del 10%, correspondió a los autobuses. (Véase el cuadro 3.)

De los modos de transporte sólo se consideraron el carretero y el ferroviario, puesto que son los que al presente permitirían desplazar los hidrocarburos derivados de petróleo por energéticos disponibles en la región, como la electricidad generada en fuentes locales y el alcohol obtenido de biomasa tropical. Para propósitos de análisis se examinaron en forma preliminar algunas alternativas de uso de energéticos que podrían sustituir a

Cuadro 1

ISTMO CENTROAMERICANO: SECTOR TRANSPORTE.
VEHICULOS DE AUTOTRANSPORTE, 1978

(Miles de unidades)

Tipo de vehículo	Istmo Centroamericano	Costa Rica	El Salvador	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Panamá
<u>Total</u>	<u>648.1</u>	<u>146.6</u>	<u>143.6</u>	<u>131.3</u>	<u>59.9</u>	<u>66.5</u>	<u>100.2</u>
Automóviles	404.5	81.2	106.8	88.3	26.4	26.4	75.4
Autobuses	25.4	3.7	4.4	7.0	3.5	3.0	3.8
Camiones	218.2	61.7	32.4	36.0	30.0	37.1	21.0

Fuente: Estimaciones de la CEPAL sobre la base de información básica suministrada por los países.

Cuadro 2

ISTMO CENTROAMERICANO: RENDIMIENTO Y CONSUMO DE COMBUSTIBLE
DE LOS VEHICULOS AUTOMOTORES

Tipo de vehículo	Combustible	Rendimiento (litros/km)	Recorrido promedio anual (km)	Consumo anual (miles de tep)	
				Total	Por unidad
Automóviles	Gasolina	0.115	22 800	809.0.	2.0
Autobuses	Diesel	0.260	46 600	254.0	10.2
Camiones		0.219	24 800	994.0	4.6
Pesados (5.0%)	Diesel	0.400	55 000	201.4	18.5
Medianos (20.0%)	Diesel	0.300	45 000	494.4	11.3
Pequeños (75.0%)	Diesel	0.125	17 400	298.2	1.8

Fuente: Estimaciones de la CEPAL sobre la base de información básica suministrada por los países.

Cuadro 3

ISTMO CENTROAMERICANO: CONSUMO DE DERIVADOS DE PETROLEO EN
EL SECTOR AUTOTRANSPORTE, 1978

Tipo de vehículo	Vehículos		Consumo de derivados de petróleo		
	Miles de unidades	Porcentajes	Total (miles de tep/año)	Por unidad (tep/año)	Porcentajes
<u>Total</u>	<u>648</u>	<u>100</u>	<u>2 057</u>	<u>3.2</u>	<u>100</u>
Camiones	218	33	994	4.6	49
Automóviles	405	62	809	2.0	39
Autobuses	25	5	254	10.2	12

Fuente: Estimaciones de la CEPAL sobre la base de información suministrada por los países.

los hidrocarburos derivados de petróleo en el sector transporte; esta etapa se limita a estimar los ahorros cuantificables de derivados de petróleo, los incrementos de demanda de las fuentes energéticas alternas consideradas, así como los resultados en cuanto a consumo calórico.

La idea de utilizar otros tipos de combustible contempla posibles mejoras en la eficiencia energética, principalmente en lo que se refiere al transporte colectivo de pasajeros y al masivo de carga. Es decir, se espera que como resultado del cambio de medio de transporte y tipo de energético los trolebuses desplacen a los automóviles, en el caso de pasajeros, y los ferrocarriles a los camiones, en el de la carga.

I. LA ELECTRIFICACION DE LOS TRANSPORTES

La alta potencialidad hidroeléctrica de Centroamérica puede contribuir a que en algunos medios de transporte convenga más utilizar electricidad en lugar de los hidrocarburos empleados actualmente. Este criterio se apoya en el hecho, por una parte, de que a partir de ciertos niveles de movilización de pasajeros y carga, la tracción eléctrica resulta más económica y, por otra, que ello permitiría mejorar considerablemente la situación de los balances de pagos de la región.

El empleo de la energía eléctrica generada en fuentes locales como fuerza de tracción traería consigo un gran número de ventajas entre las cuales se pueden citar:

- a) Ahorro de divisas extranjeras al reducirse la importación de hidrocarburos derivados de petróleo;
- b) Mejor aprovechamiento de los equipos por incremento de capacidad 1/ y mayor disponibilidad de las unidades; 2/
- c) Reducción de costos por mayor vida útil de los equipos, 3/ y menores costos de operación y mantenimiento, 4/ y
- d) Abatimiento de la contaminación atmosférica y de sonido.

Tales ventajas compensarían al menos en parte los efectos desfavorables de los sistemas eléctricos en cuanto a:

- a) Una mayor inversión;
- b) Menor autonomía con relación a una falla en el sistema proveedor de energía, y
- c) Menor flexibilidad por depender de vías con instalaciones eléctricas especiales. 5/

- 1/ La capacidad de las unidades para el transporte urbano de pasajeros aumentaría entre 30% y 50%.
- 2/ La disponibilidad de las locomotoras sería de 95% en el caso de las eléctricas y de 90% para las dieseleléctricas.
- 3/ Un autobús de combustión interna posee una vida útil de 6 a 7 años, en tanto que un trolebús, una de 25 años.
- 4/ Si se considera un índice de 100 para el mantenimiento de una locomotora eléctrica, el de una diesel eléctrica será de 175.
- 5/ En el caso de trolebuses modernos, la desventaja se atenúa parcialmente por el uso de un grupo generador-diesel para movilización autónoma a menor velocidad.

1. Medios y alternativas considerados

La energía eléctrica para el transporte público masivo urbano en trenes subterráneos, trolebuses y transporte de carga y pasajeros por ferrocarril, se ha venido usando ampliamente desde hace muchos años en varios países, y esas experiencias positivas podrían ser útiles para el Istmo Centroamericano aun cuando en el futuro cercano solamente se contempla emplear trolebuses y ferrocarriles para el transporte de personas y carga, respectivamente. Convendría, sin embargo, que en los planes reguladores de las ciudades se tomaran las providencias del caso para el uso de trenes subterráneos.

Por otra parte, desde hace algunos años se están realizando experiencias con el automóvil eléctrico y en algunos países (principalmente los desarrollados) ya se ha empezado a utilizar aun cuando a una escala muy reducida. Si bien el sistema debe perfeccionarse y volverse más práctica su operación y más accesible su costo, esta perspectiva podría ser interesante si se considera que en 1978 los automóviles absorbieron el 40% del total de hidrocarburos consumidos por el parque automotriz, como se mencionó anteriormente. En vista de ello, en el presente análisis se tomó en cuenta el automóvil eléctrico adicionalmente a los trolebuses y al ferrocarril electrificado.

Con objeto de estimar los efectos que en el uso de energéticos se podrían lograr mediante la electrificación progresiva --proveniente de fuentes locales-- de los medios de transporte considerados, se establecieron varias alternativas que se estimaron tomando como base las condiciones imperantes en 1978, último año del cual se dispuso de estadísticas medianamente confiables para toda la región. En consecuencia, los resultados deberán considerarse necesariamente en términos relativos y estarán condicionados por los supuestos utilizados.

En la alternativa llamada baja o inicial, se consideraron electrificados todos los ferrocarriles y 25% de los autobuses; 6/ en la segunda, denominada intermedia, se consideró, en adición de lo anterior, que 20% de los automóviles serían desplazados por trolebuses, 5% de los coches serían eléctricos y que el 15% de la carga en camiones se transferiría a ferrocarriles eléctricos. Esa proporción de carga, que correspondería a los camiones más pesados, representa un 2.5% del parque camionero y un 10% del combustible consumido por dichas unidades.

En una etapa posterior (alternativa alta) se consideró que un 50% de los automóviles seguiría siendo de combustión interna y la otra mitad se distribuiría entre autos eléctricos (25%) y trolebuses (25%). Los autobuses se electrificarían en un 50% y los camiones transferirían un 15% de la carga al ferrocarril, igual que en la alternativa intermedia.

6/ Se estimó que el 50% de los autobuses son urbanos, y de éstos, la mitad, podría sustituirse por trolebuses.

En las tres hipótesis se consideró que los ferrocarriles se electrificarían en su totalidad. Cabe mencionar que en la alternativa baja sólo se sustituirían 6 400 unidades automotrices, mientras que en la intermedia y alta, 113 000 y 220 700, respectivamente. (Véase el cuadro 4.)

2. Ahorro y consumo de energéticos^{7/}

Para determinar los requerimientos de las hipótesis mencionadas, se estimaron los consumos unitarios típicos por medio de transporte y tipo de energético utilizados, así como sus equivalencias para propósitos de sustitución. Los resultados obtenidos indican que para el transporte de personas se precisarían 43.7 kilogramos equivalentes de petróleo por millar de pasajeros-kilómetro, en el caso de los automóviles de gasolina y 5.46, para los autobuses, mientras que para los medios eléctricos se necesitarían 16.4 kwp por millar de pasajeros-kilómetro en los automóviles y 3.1 kwp para los trolebuses. En materia de transporte de carga y en términos de un millar de toneladas-kilómetro de carga útil se requerirían 26 kilogramos equivalentes de petróleo en los camiones pesados diesel y 13.7 en los ferrocarriles diesel-eléctricos, mientras que el ferrocarril totalmente electrificado consumiría 5.6 kwp por millar de toneladas-kilómetro de carga neta. (Véase el cuadro 5.) Los requerimientos de electricidad por kilogramo de petróleo equivalente para las diversas sustituciones consideradas, calculadas con base en los datos anteriores, oscilarían entre 0.83 y 6.67 kWh para la sustitución de automóviles de gasolina y autobuses diesel por trolebuses, respectivamente, en la movilización de personas. Para el transporte de carga se necesitarían 2.56 y 4.85 kWh por kilogramo de petróleo equivalente al sustituir camiones diesel pesados y ferrocarriles diesel-eléctricos por trenes totalmente electrificados. (Véase el cuadro 6.)

Luego se procedió a estimar los ahorros en combustibles derivados del petróleo, el incremento en la demanda eléctrica --generada en fuentes locales-- para sustituir a los hidrocarburos y, finalmente, las unidades calóricas comparables (toneladas equivalentes de petróleo) utilizadas a nivel de uso final. Los resultados indican que el consumo total de hidrocarburos utilizados en el transporte automotor y ferroviario se reducirían en 3.5% y 31% en las alternativas denominadas baja y alta, respectivamente, lo que en términos absolutos significaría aproximadamente entre 70 y 640 miles de toneladas equivalentes de petróleo, y unas 370 para la alternativa intermedia. Cabe destacar que el grueso de los ahorros se deberían a la disminución masiva de automóviles, por una parte, y a las mejoras en materia de eficiencia energética al pasar de transporte individual a colectivo, o sea de automóvil a trolebús y de camión a ferrocarril. (Véase el cuadro 7.)

^{7/} Los consumos típicos de referencia y el desarrollo de los cálculos se muestran en el anexo.

Cuadro 4

ISTMO CENTROAMERICANO: ALTERNATIVAS DE USO DE ELECTRICIDAD EN EL SECTOR TRANSPORTE, 1978

Alternativas	Gasolina o diesel (%)	Electricidad (%)	Unidades automotrices sustituidas (miles)
<u>Situación existente</u>			
Automóviles	100.0	-	
Autobuses	100.0	-	
Camiones	100.0	-	
Ferrocarril	92.0	8.0 ^{a/}	
			<u>6.4</u>
<u>Alternativa baja</u>			
Automóviles	100.0		
Autobuses	75.0	25.0	6.4
Camiones	100.0	-	
Ferrocarril	-	100.0	
			<u>113.0</u>
<u>Alternativa intermedia</u>			
Automóviles	75.0	5.0 ^{b/} + 20.0 ^{c/}	101.1
Autobuses	75.0	25.0	6.4
Camiones	85.0	15.0 ^{d/}	5.5
Ferrocarril	-	100.0	
			<u>220.7</u>
<u>Alternativa alta</u>			
Automóviles	50.0	25.0 ^{b/} + 25.0 ^{c/}	202.5
Autobuses	50.0	50.0	12.7
Camiones	85.0	15.0 ^{d/}	5.5
Ferrocarril	-	100.0	

a/ Participación del Ferrocarril al Pacífico en Costa Rica.

b/ Automóvil eléctrico.

c/ Trolebús.

d/ Ferrocarril eléctrico. Se refiere a transferencia de 15.0% de la carga y representa 2.5% de las unidades.

Cuadro 5

CONSUMO UNITARIO DE DERIVADOS DE PETROLEO Y ELECTRICIDAD,
POR MEDIO DE TRANSPORTE

Medio de transporte	Consumo energético		
	kWh	Gasolina o diesel	kep
<u>Por millar de pasajeros-kilómetro</u>			
<u>Transporte de personas</u>			
Automóvil de gasolina		42.5	43.7
Automóvil eléctrico	195.0		16.4
Autobús		5.5	5.5
Trolebús	36.4		3.1
<u>Por millar de toneladas-kilómetro netas</u>			
<u>Transporte de carga</u>			
Camión diesel		26.0	26.0
Ferrocarril diesel-eléctrico		13.7	13.7
Ferrocarril eléctrico	66.5		5.6

Fuente: Cuadros A-4 y A-6 del anexo.

Cuadro 6

REQUERIMIENTOS UNITARIOS DE ELECTRICIDAD, POR DESPLAZAMIENTO
DE DERIVADOS DE PETROLEO

Tipo de sustitución	Requerimientos de electricidad (kWh/kep)
<u>Transporte de personas</u>	
Automóvil de gasolina a trolebús	0.83
Automóvil de gasolina a automóvil eléctrico	4.46
Autobús diesel a trolebús	6.67
<u>Transporte de carga</u>	
Camión diesel a ferrocarril eléctrico	2.56
Ferrocarril diesel-eléctrico a ferrocarril eléctrico	4.85

Fuente: Cuadro 4.

Cuadro 7

ISTMO CENTROAMERICANO: SECTOR TRANSPORTE. CONSUMO Y AHORRO DE DERIVADOS DE PETROLEO
EN ALTERNATIVAS CONSIDERADAS, 1978

(Miles de tep)

Alternativas	Consumo					Ahorro						
	Total	Auto- móviles	Auto- buses	Camio- nes	Ferroca- rriles	Total	Porcen- tajes	Automóviles		Auto- buses	Camio- nes	Ferroca- rriles
								a/	b/			
Existente	2 065	809	254	994	8	-	-	-	-	-	-	-
Baja	1 993	809	190	994	-	72	3.5	-	-	64	-	8
Intermedia	1 692	607	190	895	-	373	23.3	40.4	161.6	64	99	8
Alta	1 426	404	127	895	-	639	30.9	202.2	202.3	127	99	8

Fuente: Cuadros 2, 4 y A-8 del anexo.

a/ Transferencia a automóviles eléctricos.

b/ Transferencia a trolebuses.

La sustitución del transporte con base en hidrocarburos por sistemas electrificados demandaría lógicamente un volumen adicional de electricidad que llegaría a cerca de 470, 1 030 y 2 210 GWh para las alternativas baja, intermedia y alta, respectivamente. En la hipótesis intermedia 41% del incremento correspondería a la sustitución de autobuses por trolebuses. (Véase el cuadro 8.) Si se considera el consumo anual de electricidad en servicio público del Istmo Centroamericano correspondiente a 1978, estimado en 7 200 GWh, las demandas anteriores significarían un aumento de 6%, 14% y 31%, para las tres hipótesis respectivamente, lo cual indica la alta sensibilidad del subsector eléctrico a la electrificación de los transportes.

A nivel de la energía total, o sea los requerimientos conjuntos de hidrocarburos y electricidad, los consumos y ahorros involucrados serían del tenor siguiente. En términos de miles de toneladas equivalentes de petróleo, los ahorros oscilarían entre 33 y 452 entre las alternativas extremas de un total de unas 2 065 utilizadas en 1978. Lo anterior implica una disminución en la demanda energética de 2% a 22%. (Véase el cuadro 9.)

Cabe mencionar que el empleo de derivados de petróleo en la producción de electricidad, en centrales térmicas, cambiaría radicalmente los resultados anteriores, ya que los requerimientos totales de hidrocarburos superarían a los que se emplean utilizando vehículos de combustión interna cuando la transferencia de pasajeros y carga no se hace a vehículos de transportación masiva. En efecto, el uso de automóviles eléctricos y trolebuses en lugar de autobuses, y ferrocarril eléctrico en lugar de diesel-eléctrico, aumentaría los consumos de hidrocarburos en 27%, 87% y 39%, respectivamente, y sólo se obtendrían ahorros al transferir pasajeros de automóviles a trolebuses (76%) y carga de camiones al ferrocarril eléctrico (27%). Las estimaciones anteriores se basan en una generación media de 3.5 kWh por kilogramo de derivados de petróleo en las centrales termo-eléctricas. (Véanse los cuadros 10 y 11.)

También conviene destacar que los ahorros en hidrocarburos estimados para las alternativas donde se sustituirían los medios --de automóvil a trolebús y de camión de carga a ferrocarril eléctrico-- se deben principalmente al cambio de transporte individual a colectivo o masivo. En efecto, si se comparan los ahorros obtenidos al utilizar la transportación masiva con y sin el apoyo de la energía eléctrica, los resultados indican que el solo cambio de medio de transporte generaría más del 85% del ahorro en el transporte de pasajeros y prácticamente el 50% en el de carga. (Véase el cuadro 12.)

Los planteamientos anteriores permiten formular los siguientes lineamientos generales de política con miras a reducir la demanda de derivados de petróleo en el sector transporte: la utilización de medios de transportación masiva --sin cambio de energéticos-- representaría seguramente

Cuadro 8

ISTMO CENTROAMERICANO: SECTOR TRANSPORTE. ENERGIA ELECTRICA
REQUERIDA PARA SUSTITUIR DERIVADOS DE PETROLEO
EN ALTERNATIVAS CONSIDERADAS

(Gwh)

Alternativas	Total	Automóviles eléctricos a/	Trolebuses		Ferrocarril eléctrico	
			a/	b/	c/	d/
Baja	463			424		39
Intermedia	1 030	180	134	424	253	39
Alta	2 209	902	168	847	253	39

Fuente: Cuadro A-8 del anexo.

a/ Por sustitución de automóviles de gasolina.

b/ Por sustitución de autobuses diesel.

c/ Por sustitución de camiones diesel.

d/ Por sustitución de ferrocarril diesel-eléctrico.

Cuadro 9

ISTMO CENTROAMERICANO: SECTOR TRANSPORTE. CONSUMO Y AHORRO DE ENERGIA
CALORICA EN ALTERNATIVAS CONSIDERADAS, 1978

(Miles de tep)

Alternativas	Consumo								Ahorro	
	Total	Automóviles		Autobús	Trolebús	Camiones	Ferrocarril		Total	%
		Gasolina	Eléctricos				Diesel- eléctrico	Eléctrico		
Existente	2 065	809	-	254	-	994	8	-	-	-
Baja	2 032	809	-	190	36	994	-	3	33	1.6
Intermedia	1 779	607	15	190	47	895	-	25	286	13.8
Alta	1 613	404	76	127	86	895	-	25	452	21.9

Fuente: Cuadro A-8 del anexo.

Cuadro 10

DEMANDA UNITARIA DE DERIVADOS DEL PETROLEO CON GENERACION
TERMOELECTRICA, POR MEDIO DE TRANSPORTE

Medio de transporte	kWh	kep
<u>Por millar de pasajeros-kilómetro</u>		
<u>Transporte de personas</u>		
Automóvil de gasolina		43.7
Automóvil eléctrico	195.0	55.7
Autobús		5.5
Trolebús	36.0	10.3
<u>Por millar de toneladas-kilómetro netas</u>		
<u>Transporte de carga</u>		
Camión diesel		26.0
Ferrocarril diesel eléctrico		13.7
Ferrocarril eléctrico	66.5	19.0

Fuente: Cuadro 5, adoptando una generación de 3.5 kWh por kilogramo de derivados de petróleo consumidos en centrales termoeléctricas.

Cuadro 11

RELACION DE CONSUMO DE DERIVADOS DE PETROLEO CON GENERACION
TERMoeLECTRICA, POR TIPO DE SUSTITUCION

<u>Tipo de sustitución</u>	<u>Relación de consumo</u>
<u>Por pasajero-kilómetro</u>	
<u>Transporte de personas</u>	
Automóvil de gasolina a trolebús	0.24
Automóvil de gasolina a automóvil eléctrico	1.27
Autobús diesel a trolebús	1.87
<u>Por tonelada-kilómetro neta</u>	
<u>Transporte de carga</u>	
Camión diesel a ferrocarril eléctrico	0.73
Ferrocarril diesel-eléctrico a ferrocarril eléctrico	1.39

Fuente: Cuadro 10.

Cuadro 12

ISTMO CENTROAMERICANO: PARTICIPACION DE LA TRANSPORTACION
MASIVA EN EL AHORRO DE DERIVADOS DE PETROLEO, 1978

Tipo de sustitución	Ahorro	
	kep	Porcentaje
<u>Por millar de pasajero-kilómetro</u>		
Automóvil de gasolina a trolebús	43.7	100.0
Automóvil de gasolina a autobús	38.2	87.0
<u>Por millar de tonelada-kilómetro neta</u>		
Camión diesel a ferrocarril eléctrico	26.0	100.0
Camión diesel a ferrocarril diesel-eléctrico	12.3	47.0

Fuente: Cuadro 5.

/los mayores

los mayores ahorros de hidrocarburos por unidad de inversión adicional requerida. La electrificación de los medios de transporte con base en la hidroelectricidad, aun cuando demandaría inversiones importantes para su abastecimiento significaría ahorros considerables de hidrocarburos por unidad sustituida. Sin embargo, los medios colectivos y masivos requerirían más inversiones en equipos e instalaciones para su abastecimiento. Esta situación se vuelve más crítica cuando se trata de nuevos ferrocarriles eléctricos que precisan de una cuantiosa inversión para la construcción de vías, la que sólo podría justificarse si se movilizasen grandes volúmenes de pasajeros y carga. Finalmente, el uso de electricidad generada en centrales termoeléctricas convencionales para electrificar los transportes, sólo cabría considerarlo en el caso de los cambios de transporte individual a colectivo o masivo.

II. EL EMPLEO DE ALCOHOL ANHIDRO (ETANOL) EN LOS TRANSPORTES

Las condiciones favorables de clima y suelos imperantes en el Istmo Centroamericano son ciertamente indicativas del considerable potencial con que cuenta la región para la siembra destinada a producir biomasa con fines de utilización energética, como el alcohol que se obtiene de la caña (etanol), el alcohol de madera (metanol) y los aceites vegetales.

El empleo de etanol en sustitución de la gasolina en los automóviles está siendo experimentado en muchos países y tiene su aplicación más generalizada en el Brasil. De la información obtenida en ese país se estima que para una mezcla de 80% de gasolina y 20% de etanol, no se requieren cambios en los motores normales de los automóviles y se obtiene el mismo rendimiento (kilómetro por litro) que si se utilizara solamente gasolina. También se está empleando en menor escala el alcohol al 100%, aunque en este caso se precisan efectuar algunas modificaciones a los motores. Sus rendimientos se estima que se reducen sólo en un 10% ya que la mayor eficiencia de los motores accionados con alcohol compensa en buena medida el menor contenido calórico de este combustible.

El uso del alcohol de madera (metanol) como combustible alternativo a la gasolina para el transporte automotor es otra posibilidad a considerar, pero dada la escasa información disponible sobre su aplicación no se contempló en el presente estudio. Sin embargo, cabe mencionar las siguientes consideraciones: hay mucho más superficie de bosques para la producción de metanol que tierras agrícolas para el cultivo de caña en el Istmo Centroamericano; el uso de la madera no desplazaría necesariamente cultivos alimentarios como sería el caso de la caña, pero competiría con el consumo de leña como energético; el contenido calórico del metanol equivale a unas tres cuartas partes del correspondiente al etanol; sin embargo, el primero podría obtenerse a menores costos en regiones con madera adecuada abundante.

La utilización de aceites vegetales en sustitución del diesel en motores de combustión interna también se está investigando, pero todavía en grado incipiente, por lo que tampoco se consideró en este análisis. Los primeros resultados conocidos indican que podrían emplearse en una mezcla de 70% diesel y 30% aceites sin necesidad de introducir cambios en los motores normales. Estos aceites pueden obtenerse de diversos cultivos como coco, maní, soya y girasol, entre otros.

1. Alternativas consideradas

Como se explicó en párrafos anteriores, sólo se consideró en el presente documento la sustitución parcial y total de gasolina por alcohol en el transporte automotor. Al igual que para la electrificación de los transportes se utilizó 1978 como año de referencia por falta de información

/confiable

confiable para años más recientes; en consecuencia, los resultados deben verse en términos relativos y están condicionados a los supuestos utilizados.

Se consideraron tres alternativas denominadas baja, intermedia y alta. En la primera o inicial se supuso que 25% de los automóviles utilizarían una mezcla de gasolina (80%) y alcohol (20%). En una segunda etapa, la mitad de los automóviles emplearían la mezcla anterior y un 25% adicional operaría solamente con alcohol. En la etapa final correspondiente a la situación máxima posible, la totalidad de los automóviles utilizarían alcohol en un 100%. La cantidad de autos involucrados en las alternativas mencionadas oscilarían entre 101 000 y 405 000 entre las alternativas mínima y máxima consideradas. (Véase el cuadro 13.)

2. Ahorro y consumo de energéticos^{8/}

Para estimar los ahorros en hidrocarburos derivados de petróleo así como los requerimientos de alcohol y de energía calórica se establecieron consumos unitarios típicos para las modalidades consideradas. Los resultados obtenidos muestran consumos en kilogramos por millar de pasajeros-kilómetro de energéticos utilizados de 42.5 para autos que sólo usan gasolina y 50.5 para los que emplean únicamente alcohol. En unidades calóricas equivalentes --kilogramos equivalentes de petróleo por millar de pasajeros-kilómetro-- los consumos oscilan entre 43.8 y 32.7 para los casos antes mencionados, lo cual indica una mayor eficiencia térmica en el uso del alcohol. (Véase el cuadro 14.)

Se procedió luego a estimar los ahorros en los requerimientos de gasolina, las demandas de etanol necesarias para su sustitución, así como la energía calórica total requerida en cada una de las tres alternativas consideradas. Los ahorros en gasolina resultaron de 5% y 35% para las alternativas baja e intermedia, respectivamente, y de 100% en el caso de sustitución total. (Véase el cuadro 15.)

Los requerimientos de etanol variaron de 53.1 millones de litros en la alternativa inicial a 1 168 millones en la fase máxima. Para elaborar estas cantidades de alcohol se precisaría cosechar de 759 000 a 16.7 millones de toneladas de caña y una superficie cultivable de 12 600 hectáreas para la alternativa baja y 278 200 para la máxima. Los cálculos anteriores se basaron en rendimientos de 60 toneladas de caña por hectárea de tierra cultivada y 70 litros de alcohol por tonelada de caña, valores promedio considerados normales para la región. (Véase el cuadro 16.) Cabe mencionar a título ilustrativo, de acuerdo con la información más reciente disponible, que en 1979 la superficie sembrada de caña en el Istmo Centroamericano alcanzó unas 300 000 hectáreas.

^{8/} Los consumos típicos de referencia y el desarrollo de los cálculos se muestran en el anexo.

Cuadro 13

ISTMO CENTROAMERICANO: ALTERNATIVAS DE USO
DE ALCOHOL EN LOS AUTOMOVILES, 1978

(Porcentajes)

Alternativa	Gasolina	Alcohol		Unidades sustituidas
		20% a/	100%	
Existente	100	-	-	-
Baja	75	25		101
Intermedia	25	50	25	304
Alta (máxima)	-	-	100	405

a/ Mezcla de 80% gasolina y 20% de alcohol.

Cuadro 14

CONSUMO UNITARIO DE GASOLINA Y ETANOL POR TIPO DE MEZCLA EN AUTOMOVILES

Tipo de mezcla	Consumo energético en kg/millar de pasajeros-kilómetro		
	kep	Gasolina	Alcohol
Gasolina 100%	43.8	42.5	-
Gasolina (80.0%) alcohol (20.0%)	40.9	34.0	9.1
Alcohol 100%	32.7	-	50.5

Fuente: Cuadro A-4 del anexo.

Cuadro 15

ISTMO CENTROAMERICANO: SECTOR AUTOMOTRIZ. CONSUMO Y AHORRO DE GASOLINA POR EL USO DE ALCOHOL EN AUTOMOVILES, 1978

Alternativas	Consumo		Miles de tep	Ahorro		Automóviles	
	Miles de t	Miles de tep		Porcentajes	a/	b/	
Existente	786	809					
Baja	746	768	41	5	41		
Intermedia	511	526	283	35	81	202	
Alta (máxima)	-	-	809	100	-	809	

Fuente: Cuadro A-9 del anexo.

a/ Utilizando mezcla de 80.0% de gasolina y 20.0% de alcohol.

b/ Utilizando 100.0% de alcohol.

Cuadro 16

ISTMO CENTROAMERICANO: SECTOR AUTOMOTRIZ. REQUERIMIENTOS DE ALCOHOL Y CAÑA PARA SUSTITUIR GASOLINA, EN ALTERNATIVAS CONSIDERADAS

Alternativas	Demanda de alcohol			Demanda de caña	
	Miles de tep	Miles de t <u>a</u> /	Millones de litros	Miles de t <u>a</u> /	Miles de ha <u>b</u> /
Baja	27.1	41.9	53.1	759.0	12.6
Intermedia	203.4	314.3	397.8	5 683.0	94.7
Alta (máxima)	597.2	922.9	1 168.3	16 690.0	278.2

Fuente: Cuadro A-9 del anexo.

a/ Con base en 70 litros de alcohol por tonelada de caña.

b/ Con base en 60 toneladas de caña por hectárea sembrada.

/Finalmente,

Finalmente, se calcularon los requerimientos totales de energía en cada una de las alternativas consideradas, así como los ahorros correspondientes. Los consumos oscilaron entre 795 000 toneladas equivalentes de petróleo para la alternativa baja y 597 000 para la máxima; los ahorros oscilaron entre 2% y 26% para las alternativas extremas. (Véase el cuadro 17.)

Cuadro 17

ISTMO CENTROAMERICANO: SECTOR AUTOMOTRIZ. CONSUMO Y AHORRO DE ENERGIA CALORICA EN ALTERNATIVAS CONSIDERADAS, 1978

(Miles de tep)

Alternativa	Consumo			Ahorro	
	Total	Tipo de mezcla utilizada		Total	%
		Gasolina 100.0%	Gasolina (80.0%) y Alcohol (20.0%)		
Existente	809	809			
Baja	795	768	27.1	14	1.7
Intermedia	729	526	54.3	80	9.9
Alta (máxima)	597	-		597.2	212 26.2

Fuente: Cuadro A-9 del anexo.

III. CONCLUSIONES

1. El sector transporte en el Istmo Centroamericano consume una proporción apreciable (40.0%) de los derivados de petróleo que importa la región, porcentaje que se concentra en los autotransportes.
2. En el parque automotriz los mayores consumos se deben a los camiones y automóviles y en grado mucho menor a los autobuses, por ser éstos menores en número.
3. La electrificación progresiva de los tres medios de transporte antes mencionados, por medio de hidroelectricidad y utilizando autos eléctricos, trolebuses y ferrocarril eléctrico significaría una reducción apreciable en el consumo de gasolina y diesel. Ello requeriría, sin embargo, de importantes inversiones tanto en materia de generación eléctrica como de equipo rodante e instalaciones de suministro.
4. Sobre la base de las estadísticas disponibles para 1978, la electrificación de una cuarta parte de los autos y autobuses y del 15.0% de la capacidad de carga de los camiones, permitiría, por una parte, ahorrar unas 370 000 toneladas de derivados de petróleo anuales (aproximadamente 7 500 barriles diarios) y, por otra, generaría una demanda eléctrica adicional de unos 1 000 GWh, que implicarían, en conjunto, un ahorro total de energía de 14% a nivel de consumidor final.
5. Los mayores ahorros de energía y los costos más bajos se obtendrían gracias al uso de medios de transportación masiva --independientemente de los energéticos utilizados-- como en el caso de los pasajeros que en lugar de automóviles emplearían autobuses o trolebuses y en el de la carga, que se transportaría en ferrocarril en lugar de camiones.
6. El uso de alcohol de caña (etanol) en sustitución de la gasolina en los automóviles, también significaría ahorros de importancia en el consumo de derivados de petróleo importados.
7. Nuevamente sobre la base de las estadísticas de 1978 la utilización parcial de alcohol --mezcla 80% gasolina y 20% etanol-- en la mitad de los automóviles y el uso total en otro 25% produciría, por una parte, un ahorro de unas 280 000 toneladas de gasolina anuales (6 400 barriles diarios) y, por otra, una demanda adicional de unos 400 millones de litros de alcohol, lo que a su vez requeriría unas 95 000 hectáreas de tierra sembrada de caña. El ahorro en energía total sería ligeramente inferior a 10%.

Anexo

INFORMACION BASICA Y DESARROLLO DE LOS CALCULOS PARA LOS ESTUDIOS SOBRE
SUSTITUCION DE ENERGETICOS Y DE MODOS EN EL SECTOR TRANSPORTE DEL
ISTMO CENTROAMERICANO

CUADRO A-1

CONTENIDO CALORICO Y PESO ESPECIFICO DE CIERTOS HIDROCARBUROS

Hidrocarburos	Contenido calórico (megacalorías/kg)	Equivalencia calórica con el petróleo	Peso específico (kg/litro)
Petróleo	10.2	1.000	0.84
Diesel	10.2	1.000	0.84
Gasolina	10.5	1.029	0.74
Alcohol	6.6	0.647	0.79

Nota: El contenido calórico del kWh de electricidad es de 0.860 megacalorías.

Cuadro A-2

CARACTERISTICAS BASICAS Y CONSUMOS UNITARIOS DE MEDIOS
DE TRANSPORTE

(Transporte de personas)

Medio de transporte	Número de personas		Carga bruta media <u>a/</u>	Tipo de energético	Consumo por kilómetro	
	Máximo	Promedio			Litros y kWh	kilocalorías
Automóvil	6	2	1	Gasolina	0.115 (lt)	0.894
Automóvil	6	2	1	Alcohol	0.128 (lt)	0.670 ^{b/}
Automóvil	6	2	1	Gasolina (80%)	0.092 (lt)	
				Alcohol (20%)	0.023 (lt)	0.894
Automóvil	6	2	1	Electricidad	0.39 (kWh)	0.335
Autobús	65	40	9 ^{c/}	Diesel	0.260 (lt)	2.228
Trolebús	90	55	12 ^{c/}	Electricidad	2.00 (kWh)	1.680

Fuente: Estimaciones de la CEPAL sobre la base de información básica suministrada por los países.

a/ Toneladas.

b/ La eficiencia calórica del motor de combustión interna es considerada de 0.27 para el de gasolina y de 0.36 para el de alcohol.

c/ Estimado con base en peso muerto más carga de pasajeros promedio a razón de 70 kilogramos cada uno.

Cuadro A-3

CAPACTERISTICAS BASICAS Y CONSUMOS UNITARIOS DE MEDIOS DE TRANSPORTE

(Transporte de carga)

Medio de transporte	Carga bruta media	Carga bruta entre carga neta	Tipo de energético	Consumo por kilómetro		
				Rendimiento por 10 ³ t-km		kilocalorías/t-km
				Litros	kWh	
Camión pesado	26	2.00	Diesel	15.4 ^{a/}		131.8
Ferrocarril diesel eléctrico		1.90	Diesel	8.6		73.7
Ferrocarril eléctrico		1.90	Electricidad		35	30.1

Fuente: Estimaciones de la CEPAL sobre la base de estadísticas internacionales e información suministrada por los países.

a/ Corresponde a 0.40 litros/km.

Cuadro A-4

CONSUMO UNITARIO DE ENERGETICOS EN EL TRANSPORTE DE PERSONAS

Medio de transporte	Gasolina o diesel		Alcohol		Electricidad		Petróleo equivalente	
	kg/10 ³	kg/10 ³	kg/10 ³	kg/10 ³	kWh/10 ³	kWh/10 ³	kep/10 ³	kep/10 ³
	t-km	pasajeros-km	t-km	pasajeros-km	t-km	pasajeros-km	t-km	pasajeros-km
Automóvil de gasolina	85.1	42.5					87.6	43.8
Automóvil con mezcla							81.8	40.9
Gasolina (80%)	68.0	34.0					70.0	35.0
Alcohol (20%)			18.2	9.1			11.8	5.9
Automóvil de alcohol			101.0	50.5			65.4	32.7
Automóvil eléctrico					390	195	32.9	16.4
Autobús diesel	24.0	5.5					24.0	5.5
Trolebús eléctrico					167	36	14.0	3.1

Fuente: Cuadro A-5 siguiente.

Cuadro A-5

SECUENCIA DE CALCULO DE LOS CONSUMOS UNITARIOS
EN TRANSPORTE DE PERSONAS a/

I. AUTOMOVILES

1. De gasolina

Consumo de referencia - 0.115 lt/km

Equivale a $0.115 \times 0.74 \times 10^3 = 85.1$ kg/millar de toneladas-kilómetro

Equivale a $85.1 \times 10.5/10.2 = 87.7$ kep/millar de toneladas-kilómetro

Equivale a $0.115 \times 0.74 \times 10^3/2 = 42.5$ kg/millar de pasajeros-kilómetro

Equivale a $42.5 \times 10.5/10.2 = 43.7$ kep/millar de pasajeros-kilómetro

2. De gasolina (80%) y de alcohol (20%)

Consumo de referencia = 0.115 lt/km

Gasolina = $0.115 \times .80 = 0.092$ lt/km

Alcohol = $0.115 \times .20 = 0.023$ lt/km

Equivale a:

Gasolina $0.092 \times 0.74 \times 10^3 = 68.0$ kg/millar de toneladas-km

Alcohol $0.023 \times 0.79 \times 10^3 = 18.2$ kg/millar de toneladas-kilómetro

Equivale a:

Gasolina $68.0 \times 10.5/10.2 = 70.0$ kep/millar de toneladas-kilómetro

Alcohol $18.2 \times 66/10.2 = \frac{11.8}{81.8}$ kep/millar de toneladas-kilómetro

Equivale a:

Gasolina $0.092 \times 0.74 \times 10^3/2 = 34.0$ kg/millar de pasajeros-kilómetro

Alcohol $0.023 \times 0.74 \times 10^3/2 = 9.08$ kg/millar de pasajeros-kilómetro

Equivale a:

Gasolina $34.0 \times 10.5/10.2 = 35.00$

Alcohol $9.08 \times 6.6/10.2 = \frac{5.87}{40.87}$ kep/millar de pasajeros-km

3. De alcohol (100%)

Consumo de referencia = 0.128 lt/km

Equivale a $0.128 \times 0.79 \times 10^3 = 101$ kg/millar de toneladas-kilómetro

a/ Las características básicas de los medios de transporte considerados se describen en el cuadro A-2.

Cuadro A-5 (Conclusión)

Equivale a $101 \times 6.6/10.2 = 65.4$ kep/millar de toneladas-kilómetro
Equivale a $0.128 \times 0.79 \times 10^3/2 = 50.5$ kg/millar de pasajeros-kilómetro
Equivale a $50.5 \times 6.6/10.2 = 32.7$ kep/millar de pasajeros-kilómetro

4. Eléctrico

Consumo de referencia 0.390 kWh/km
Equivale a $0.39 \times 10^3 = 390$ kWh/millar de toneladas-kilómetro
Equivale a $390 \times 860/10\ 200 = 32.88$ kep/millar de toneladas-kilómetro
Equivale a $0.39 \times 10^3/2 = 195$ kWh/millar de pasajeros-kilómetro
Equivale a $195 \times 860/10\ 200 = 16.4$ kep/millar de pasajeros-kilómetro

II. AUTOBUS DIESEL

Consumo de referencia 0.260 lt/km
Equivale a $0.260 \times .84 \times 10^3/9 = 24.0$ kg o kep/millar de toneladas-km
Equivale a $0.260 \times .84 \times 10^3/40 = 5.46$ kg o kep/millar de pasajeros-km

III. TROLEBUS

Consumo de referencia 2.0 kWh/km
Equivale a $2.0 \times 10^3/12 = 166.7$ kWh/millar de toneladas-kilómetro
Equivale a $166.7 \times 860/10\ 200 = 14.05$ kep/millar de toneladas-kilómetro
Equivale a $2.0 \times 10^3/55 = 36.36$ kWh/millar de pasajeros-kilómetro
Equivale a $36.36 \times 860/10\ 200 = 3.06$ kep/millar de pasajeros-kilómetro

Cuadro A-6

CONSUMO UNITARIO DE ENERGETICOS EN EL TRANSPORTE DE CARGA

Medio de transporte	Diesel		Electricidad		Petróleo equivalente	
	kg/10 ³ t-km	kg/10 ³ t-km netas	kWh/10 ³ t-km	kWh/10 ³ t-km netas	kep/10 ³ t-km	kep/10 ³ t-km netas
Camión pesado diesel	13.0	26.0			13.0	26.0
Ferrocarril diesel-eléctrico	7.2	13.7			7.2	13.7
Ferrocarril eléctrico			35.0	66.0	3.0	5.6

Fuente: Cuadro A-7.

Cuadro A-7

SECUENCIA DE CALCULO DE LOS CONSUMOS UNITARIOS EN EL TRANSPORTE DE CARGA^{a/}

I. CAMION PESADO DIESEL

Consumo de referencia 0.40 lt/km

Equivale a $0.40 \times .84 \times 10^3 / 26 = 13.0$ kg o kep/millar de toneladas-kilómetro

Equivale a $13.0 \times 2.00 = 26.0$ kg o kep/millar de toneladas-kilómetro netas

II. FERROCARRIL DIESEL-ELECTRICO

Consumo de referencia 8.6 lt/millar de toneladas-kilómetro

Equivale a $8.6 \times .84 = 7.22$ kg o kep/millar de toneladas-kilómetro

Equivale a $7.22 \times 1.9 = 13.72$ kg o kep/millar de toneladas-kilómetro netas

III. FERROCARRIL ELECTRICO

Consumo de referencia 35 kWh/millar de toneladas-kilómetro

Equivale a $35 \times 1.9 = 66.5$ kWh/millar de toneladas-kilómetro netas

Equivale a $35 \times 860 / 10\ 200 = 2.95$ kep/millar de toneladas-kilómetro

Equivale a $2.95 \times 1.9 = 5.61$ kep/millar de toneladas-kilómetro netas

^{a/} Las características básicas de los medios de transporte se describen en el cuadro A-3.

Cuadro A-8

SECUENCIA DE CALCULO DE LOS CONSUMOS TOTALES DE DERIVADOS DE PETROLEO,
ELECTRICIDAD Y ENERGIA CALORICA EN ALTERNATIVAS CONSIDERADAS

I. INFORMACION DE REFERENCIA

Consumo de hidrocarburos a 1978. (Véase el cuadro 3 del texto).

Requerimientos unitarios de electricidad por desplazamiento de derivados de petróleo. (Véase el cuadro 6 del texto.)

Alternativas consideradas. (Véase el cuadro 4 del texto.)

II. ALTERNATIVA BAJA

1) Consumo de derivados de hidrocarburos

Gasolina en automóviles igual que en situación existente 809 000 tep

Diesel en autobuses

$$254 \times (0.75) = 190\ 500 \text{ tep}$$

2) Consumo de electricidad

En trolebus

$$254 \times (0.25) \times (6.67) = 423.5 \text{ GWh}$$

$$\text{Equivale a } 423.5 \times 860/10\ 200 = 35\ 700 \text{ tep}$$

En ferrocarril eléctrico

$$8 \times 4.85 = 38.8 \text{ GWh}$$

$$\text{Equivale a } 38.8 \times 860/10\ 200 = 3\ 300 \text{ tep}$$

III. ALTERNATIVA INTERMEDIA

1) Consumo de derivados de petróleo

Gasolina en automóviles

$$809 \times (0.75) = 606\ 800 \text{ tep}$$

Diesel en autobuses igual que en alternativa baja 190 500 tep

Diesel en camiones

$$994 \times (0.90) = 895\ 000 \text{ tep}$$

Cuadro A-8 (Conclusión)

2) Consumo de electricidad

En autos eléctricos

$$809 \times (0.05) \times (4.46) = 180.4 \text{ GWh}$$

$$\text{Equivale a } 180.4 \times 860/10 \ 200 = 15 \ 200 \text{ tep}$$

En trolebuses

$$809 \times (.20) \times (.83) = 134.3 \text{ GWh sustitución de autos}$$

$$\text{Igual que en alternativa baja} = \underline{423.5} \text{ GWh sustitución en autobús}$$
$$557.8 \text{ GWh}$$

$$\text{Equivale a } 557.8 \times 860/10 \ 200 = 47 \ 000 \text{ tep}$$

En ferrocarril eléctrico

$$994 \times (.10) \times (2.56) = 254.5 \text{ GWh sustitución de camiones}$$

$$\text{Igual que en alternativa baja} = \underline{38.8} \text{ GWh sustitución de ferrocarril}$$
$$293.3 \text{ GWh diesel-eléctrico}$$

$$\text{Equivale a } 293.3 \times 860/10 \ 200 = 24 \ 700 \text{ tep}$$

IV. ALTERNATIVA ALTA

1) Consumo de derivados de petróleo

Gasolina en automóviles

$$809 \times (0.50) = 404 \ 500 \text{ tep}$$

Diesel en autobús

$$254 \times (0.50) = 127 \ 000 \text{ tep}$$

Diesel en camiones

$$\text{Igual que en alternativa intermedia, } 895 \ 000 \text{ tep}$$

2) Consumo de electricidad

En autos eléctricos

$$809 \times (0.25) \times (4.46) = 902 \text{ GWh}$$

$$\text{Equivale a } 902 \times 860/10 \ 200 = 76 \ 000 \text{ tep}$$

En trolebuses

$$809 \times (0.25) \times (0.83) = 167.8 \text{ GWh por sustitución de autos}$$

$$254 \times (0.50) \times (6.67) = \underline{847.1} \text{ GWh por sustitución de autobuses}$$
$$1 \ 014.9 \text{ GWh}$$

$$\text{Equivale a } 1 \ 014.9 \times 860/10 \ 200 = 85 \ 600 \text{ tep}$$

En ferrocarril eléctrico

$$\text{Igual a alternativa intermedia } 215.7 \text{ GWh o } 18 \ 200 \text{ tep}$$

Cuadro A-9

SECUENCIA DE CALCULO DE LOS CONSUMOS TOTALES DE GASOLINA Y ALCOHOL
Y ENERGIA CALORICA, EN ALTERNATIVAS CONSIDERADAS

I. INFORMACION DE REFERENCIA

Consumo de gasolina en 1978 del parque automotriz, 809 000 tep
Equivale a $809 \times 10.2/10.5 = 786\ 000$ toneladas de gasolina
Equivale a $786 \times 10^6 \times 1/0.74 = 1\ 062 \times 10^6$ litros de gasolina
Con mezcla (80%)/(20%) se obtiene el mismo consumo que con 100% de
gasolina. Con 100% de alcohol disminuye el volumen de consumo en
un 10.0%.

Alternativas consideradas. (Véase el cuadro 13 del texto.)

II. ALTERNATIVA BAJA

Consumo de gasolina

$$1\ 062 \times 10^6 \times (0.75) = 796 \times 10^6 \text{ litros}$$

$$1\ 062 \times 10^6 \times (0.25) \times (0.80) = 212 \times 10^6 \text{ litros}$$

$$1\ 008 \times 10^6 \text{ litros}$$

$$\text{Equivale a } 1\ 008 \times 10^6 \times (0.74) = 745.9 \text{ miles de toneladas}$$

$$\text{Equivale a } 74 \times 10.5/10.2 = 767.8 \text{ miles de tep}$$

Consumo de alcohol

$$1\ 062 \times 10^6 \times (0.25) \times (0.20) = 53.1 \times 10^6 \text{ litros}$$

$$\text{Equivale a } 53.1 \times 10^6 \times (0.79) = 41.9 \text{ miles de toneladas}$$

$$\text{Equivale a } 41.9 \times 6.6/10.2 = 27.1 \text{ miles de tep}$$

III. ALTERNATIVA INTERMEDIA

Consumo de gasolina

$$1\ 062 \times 10^6 \times (0.50) \times (0.80) = 424.8 \times 10^6 \text{ litros}$$

$$1\ 062 \times 10^6 \times (25) = 265.5 \times 10^6 \text{ litros}$$

$$690.3 \times 10^6 \text{ litros}$$

$$\text{Equivale a } 690.3 \times 10^6 \times (0.74) = 510.8 \text{ miles de toneladas}$$

$$\text{Equivale a } 510.8 \times 10.5/10.2 = 525.8 \text{ miles de tep}$$

/Continúa

Cuadro A-9 (Conclusión)

Consumo de alcohol

$$1\ 062 \times 10^6 \times (0.50) \times (0.20) = 106.2 \times 10^6 \text{ litros}$$

$$1\ 062 \times (0.25) \times (1.10) = \underline{292.0} \times 10^6 \text{ litros}$$

$$398.2 \times 10^6 \text{ litros}$$

$$\text{Equivale a } 398.2 \times 10^6 \times (0.79) = 314.4 \text{ miles de toneladas}$$

$$\text{Equivale a } 335.6 \times 6.6/10.2 = 203.4 \text{ miles de tep}$$

IV. ALTERNATIVA ALTA

Consumo de alcohol

$$1\ 062 \times 10^6 \times 1.10 = 1\ 168.2 \times 10^6 \text{ litros}$$

$$\text{Equivale a } 1\ 168.2 \times 10^6 \times (0.79) = 922.9 \text{ miles de toneladas}$$

$$\text{Equivale a } 922.9 \times 6.6/10.2 = 597.2 \text{ miles de tep}$$

