

Demanda de energía en el transporte micro comportamiento y macro indicadores-

M. Bauer-Ephrussi, E. Mar-Juárez y J.C Barajas-Abreo
Programa de Investigación en Medio Ambiente y Seguridad
Instituto Mexicano del Petróleo
E-mail: mbauer@imp.mx

(recibido: octubre de 2003; aceptado: enero de 2004)

Resumen

La demanda de energía para el transporte de personas y bienes es un impulsor primordial del escenario energético mundial, convirtiéndose eventualmente en la porción más grande del consumo energético en usos finales. El transporte es quizás también el sector más reacio a abandonar su dependencia actual de los combustibles fósiles. En este trabajo se examina la demanda energética que puede sobrevenir por el incremento en el número de vehículos *per capita* en función de los ingresos personales, al considerarse la oleada "inflacionista" en el número de vehículos privados que ocurre en países en vías de desarrollo, cuando se alcanza cierto nivel de ingreso *per capita*. Los resultados son comparados con un escenario "de tendencia", con el fin de cuestionar todas las medidas previstas para cubrir la demanda de combustibles y atender los impactos ambientales, basadas en las tendencias históricas.

Descriptores: impulsores del transporte, demanda energética.

Abstract

De mand for transpor ta tion of peo ple and goods is a main driver of the en ergy scen ery world w ide, expected to com mand even tu ally the larg est por tion of end-use en ergy con sump tion. Transpor ta tion, also, is per haps the sec tor more stub born to aban don its cur rent de pend ence on fos il fu els. In this pa per the en su ing en ergy de mand from the in crease in the num ber of ve hi cles per ca pita as a func tion of per sonal in come is ex amined, tak ing into ac count the iden ti fied "in fla tion ary" surge in num ber of pri vate ve hi cles that oc curs in underdevel op coun tries when a cer tain in come per ca pita is reached. The re sults are com pared with a "busi ness as usual" sce nario, to ques tion all pro vi sions for fuel de mands and en vi ron men tal im pacts based on passed trends.

Keywords: *transpor ta tion drivers, en ergy de mand.*

Introducción

La demanda de energía para el transporte de personas y bienes es un impulsor primordial del

escenario energético mundial. Es de esperar que eventualmente se convierta en el ámbito de las economías en desarrollo, en la porción más grande de consumo de energía

en usos finales (Medlock y Soligo 2001; Judson *et al.*, 1999). También el transporte es quizás el sector más reacio a dejar su dependencia actual de los combustibles fósiles. Desempeña, por lo tanto, un papel importante en el cuestionamiento sobre la disponibilidad en el suministro de energía, así como en las consecuencias para el medio ambiente a niveles locales, regionales y globales.

En este trabajo se examina el incremento en el número de vehículos *per capita* como función del ingreso personal, aunque es razonable esperar que un punto de saturación se desarrollará en el largo plazo (indicadores tales como el crecimiento poblacional exhiben una leve tendencia a la baja), la incertidumbre yace en la trayectoria al nivel de la saturación. De hecho, hay evidencia de que un crecimiento no lineal en el número de automóviles se origina a un cierto nivel de ingreso personal, semejante a un fenómeno inflacionista (Dargay y Gately, 2001), adelantando el acercamiento a la saturación y cuestionando todas las medidas tomadas para cubrir las demandas de combustible y las consecuencias para el medio ambiente basadas en tendencias pasadas.

Se sugiere que el indicador en este caso sea el paradigma de la movilidad individual que, originándose en la agregación de los múltiples impulsores micro que las decisiones individuales representan, resulta a "nivel global" un impulsor macro de la demanda energética en el sector de transporte. Cabe citar: "La movilidad individual es una característica apreciada de la forma de vida en las sociedades económicamente afluentes, satisfecha por la propiedad de uno o más automóviles. En países en vías de desarrollo, donde frecuentemente se intenta emularlos, los coches son también un símbolo de status. La imagen prevaletante de un alto nivel de vida –difundida

predominante por los medios de la comunicación masiva, tanto en países en vías de desarrollo como en países desarrollados– está asociada no solamente al acceso por los individuos a más bienes y servicios, sino también a la elección particular de estos bienes y servicios. Por lo tanto, lo que los individuos buscan depende de su ambiente de información (Bauer, 1996).

El fenómeno inflacionario

La figura 1 muestra datos sobre el registro de vehículos *vs.* el ingreso individual (PIB/cap) que cubre 91 países (las líneas son ajustes con polinomios que sirven de guía visual, sin significado adicional), esto incluye tanto los automóviles privados como los vehículos comerciales. En el último caso, el crecimiento parece seguir constantemente el desarrollo económico. Por otra parte, la propiedad de automóviles parece experimentar un ascenso no lineal tan pronto como se alcanza cierto nivel de ingresos (en la figura esto es acentuado por la compresión de la escala de la abscisa, necesaria para acomodar todos los datos), según lo divulgado en varios estudios (Medlock y Soligo, 1997; Dargay y Gately, 1999, 2001). Esto es corroborado por el aumento abrupto en lo que los individuos asignan de su ingreso al transporte, que va de un 6 a un 11 por ciento al alcanzarse un ingreso en 1993 de \$10'000 US (1993 PPP – Paridad de Poder de Compra de 1993) (World Bank, 1998). Este valor concuerda con el valor de cerca de PPP – 1990 de \$6'000 US en la figura 1. Las excepciones a la tendencia como Singapur, Hong Kong y Japón se pueden explicar en términos de la limitación de espacio y de políticas restrictivas consecuentes como autorización de adquisición o impuestos de tenencia y circulación (Bauer, 1997).

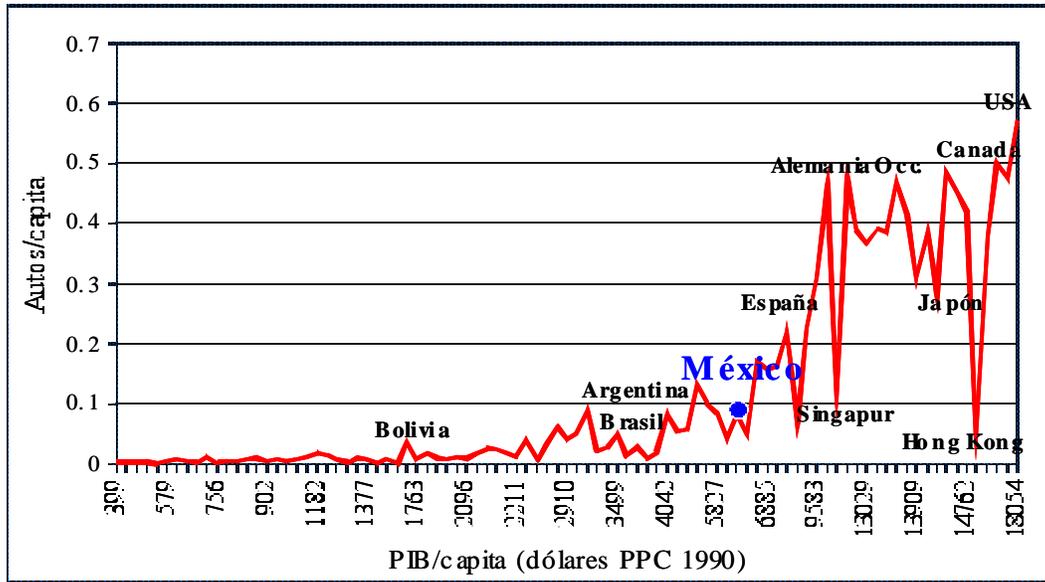


Figura 1. Vehículos per capita vs. PIB per capita

Fuente: K.B. Medlock A III. Datos; American Automobile Manufacturers Association Data.

En el análisis de 82 países, comprendiendo desde los de ingreso más bajo a los de ingreso más alto y con más de tres décadas de datos anuales (Dargay y Gately, 1999, 2001), se concluyó que el comportamiento en forma de S de la curva de vehículos/población contra ingreso *per capita* fue mejor representado por la función de Gompertz:

$$V_t = \gamma e^{\alpha e^{\beta \text{PIB}_t}} \quad (1)$$

donde V es el número de vehículos *per capita* al tiempo t , Pib es el producto interno bruto *per capita* y γ el nivel de saturación, que es el máximo de vehículos *per capita*, oscilando entre 0,62 y 0,85 dependiendo de las condiciones particulares de cada país. Tanto α como β son parámetros negativos que definen la curvatura de la función y representan la elasticidad de ingresos máxima a la razón de vehículos *per capita* (constante) y de un parámetro variable por país. Existe una modificación a esta ecuación donde se incluye una variable de retraso denominada Θ que permite un ajuste lento

para los incrementos en el *Pib per capita* y el parque vehicular final cuando se alcanza el nivel de la saturación (Dargay y Gately, 2001).

A nivel mundial, este estudio concluye que debe esperarse la duplicación del parque vehicular sobre los 1 300 millones de vehículos en el 2025, correspondiendo a una tasa de crecimiento promedio anual de vehículos/capita en todos los países considerados de 2.2 por ciento para el período 2000-2025. *No se hizo ninguna valoración de la demanda energética correspondiente.*

Impacto del impulsor movilidad sobre la demanda energética

Esta sección es referente a escenarios "inflacionarios" para el parque de automóviles particulares, siguiendo el desarrollo antedicho, se compara con las proyecciones de un escenario tendencial (BAU) para derivar el impacto posible del impulsor movilidad sobre la demanda energética y la oferta de combustibles fósiles.

El escenario BAU utiliza las tasas históricas de crecimiento vehicular tomadas del caso de la referencia de la perspectiva energética mundial del 2002 de la Agencia de Información Energética de Estados Unidos (USDOE-EIA, 2002) para proyectar el número de vehículos. Las agrupaciones de países se respetan, a excepción de un solo cambio: México se toma fuera de Norteamérica y se integra con el grupo de Centro y Sur América. Esto es más consistente en términos de la etapa del desarrollo y de las tasas de crecimiento esperadas. También permite la comparación con otros estudios donde México figura en el grupo de América Latina.

Se desarrollan tres escenarios "inflacionarios" usando la ecuación 2, basados en el crecimiento poblacional y los tres escenarios en el crecimiento del PIB –alto, bajo y de

referencia– en el informe de la AIE citado. Estos son denotados como IH, IL e IR, respectivamente. Los parámetros correspondientes a las proyecciones se dan en la tabla 1. El parámetro beta de la curva de Gompertz es determinado en cada agrupamiento ajustándolo a los datos históricos. Por simplicidad, se asume un nivel común de la saturación de 0.8 vehículos *per capita*, levemente arriba del 0.77 actual en U.S., aunque en principio uno puede esperar diferentes niveles de la saturación dependiendo de las condiciones específicas de cada país (Dargay y Gately, 2001).

El correspondiente número de vehículos para los años 2010 y 2020 se muestra en la tabla 2. En el mundo entero, para el 2010, el total del número de vehículos en los escenarios de IL, IR e IH excede al del BAU por

Tabla 1. Escenarios 1999-2020

Región	Año base 1999		BAU Tasa de crecimiento vehicular	Inflacionaria*			β
	PIB/cap (1997 US \$)	Vehic/mil habitantes		Tasa de crecimiento PIB/cap			
				Baja	Referencia	Alta	
Países Industrializados							
Norteamérica	32,106	760	0.1	1.2	2.1	3.1	-0.15
Europa occidental	22,992	528	0.6	1.3	2.4	3.3	-0.12
Asia industrializada	31,299	615	0.6	0.5	2.0	2.5	-0.10
Total Industrializados	27,768	619	0.6	1.2	2.3	3.1	-0.11
EE/FSU	2,257	158	1.5	3.0	4.7	7.6	-0.56
Países en vías de desarrollo							
Asia en vías de desarrollo	991	20	4.6	2.7	4.3	6.2	-0.40
Medio Oriente	2,435	57	3.8	1.2	2.2	4.1	-0.32
Africa	644	26	1.3	0.3	1.6	3.3	-0.83
América Latina**	3,726	111	4.3	1.8	3.3	4.6	-0.29
Total en vías de desarrollo	1,300	33	4.0	2.1	3.6	5.3	
Total Mundial	5,115	174	1.0	0.9	2.1	3.3	-0.11

* Otros parámetros de la curva de Gompertz: $\alpha = -5.9$; $\Theta = 0.07$; $\gamma = 0.8$

** Incluye México, Central y Sudamérica

cero, 15 y 40 por ciento, respectivamente; para el 2020 los porcentajes son 3, 40 y 100 por ciento. Los países en vías de desarrollo aportan grandes aumentos promovidos por sus considerables poblaciones, aún cuando el crecimiento de vehículos/capita es pequeño y toma un cierto tiempo para levantarse. China, por ejemplo, alcanza apenas un valor de 0.25 vehículo *per capita* en 2020 en el escenario de crecimiento alto (Figura 2), pero para entonces, se espera que su población alcance 1446 millones y consecuentemente 361 millones de automóviles. En contraste, el crecimiento en el mundo industrializado –Norteamérica, Europa Occidental y Asia Industrializada– es pequeño, dado que ya están cerca del valor de saturación de 0.8 (e.g. Figura 3). Finalmente, América Latina y EE/FSU (Europa del Este y Antigua Unión Soviética) corresponden a niveles de ingreso donde el fenómeno inflacionista puede comenzar a manifestarse o está ya presente. En el caso de EE/FSU, el nivel bajo

de vehículos/capita es una consecuencia de las limitaciones impuestas por el sistema de economía planeada centralmente. En la transición a una economía de mercado, y la posible integración de varios de esos países a la unión Europea, el despegue puede ser muy marcado.

Tabla 2. Parque Vehicular (Millones)

Región	Año Base 1999	BAU		Inflacionaria					
		2010	2020	Baja		Referencia		Alta	
		2010	2020	2010	2020	2010	2020	2010	2020
Países Industrializados									
Norteamérica	230	260	284	261	285	263	288	265	289
Europa occidental	205	221	232	239	260	259	289	275	301
Asia industrializada	95	105	111	99	105	109	120	113	122
Total Industrializados	530	586	627	599	650	631	696	653	712
EE/FSU	65	82	86	113	182	158	255	224	310
Países en vías de desarrollo									
Asia en vías de desarrollo	64	128	213	95	169	130	342	198	760
Medio Oriente	14	24	44	19	33	26	51	39	111
África	20	32	42	28	35	36	60	53	125
América Latina **	56	102	177	98	160	120	268	173	366
Total en vías de desarrollo	152	286	476	240	396	312	721	463	1362
Total Mundial	747	953	1189	953	1228	1101	1672	1340	2384

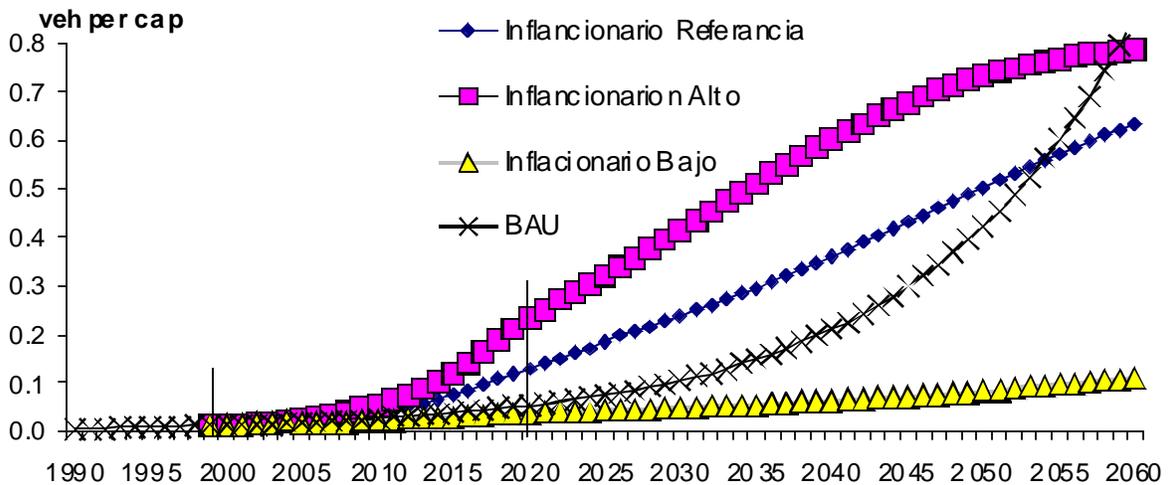


Figura 2. China – Escenarios 1999-2060

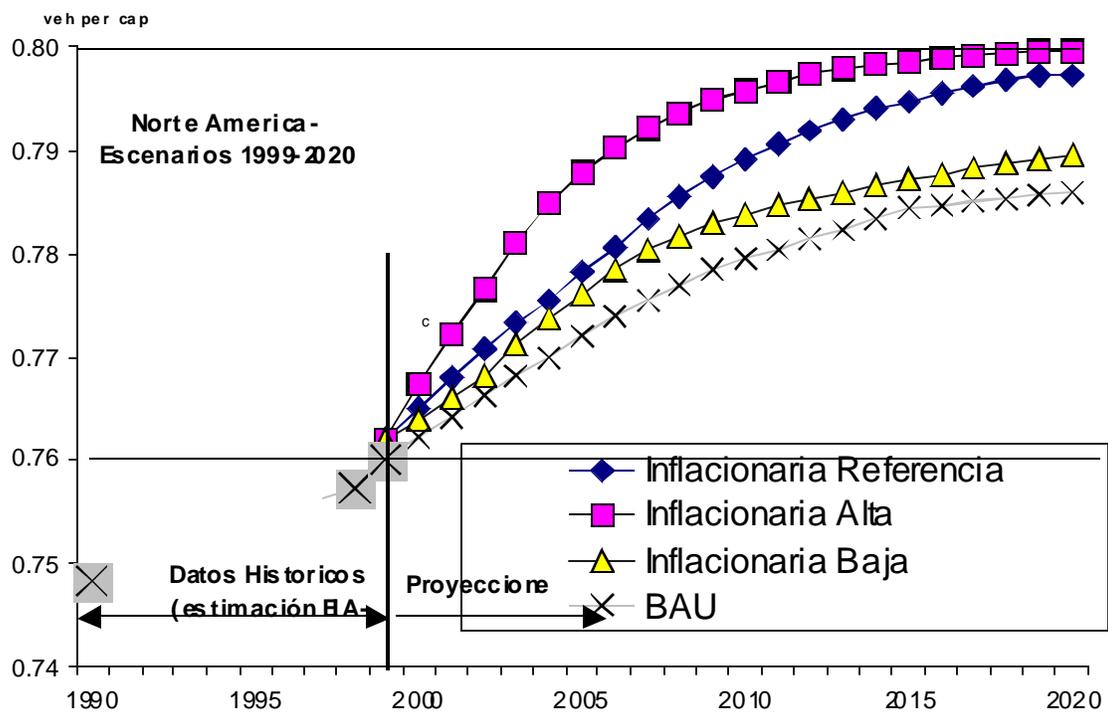


Figura 3. Norte América – Escenarios 1999-2020

La demanda energética es calculada usando los valores de distancia recorrida por vehículo y de intensidad de combustible mostrados en la tabla 3. Son más altos que los utilizados en el informe del Consejo Mundial de la Energía (WEC, 1998 –Tablas 3.3 y 3.4) que se aplica solamente a los

vehículos ligeros de alta eficiencia (Light Duty Vehicles, LDV) y que por lo tanto, subestimaría la demanda energética de los vehículos comerciales pesados; éstos viajan largas distancias y son más intensivos energéticamente. Los vehículos comerciales representan menos del diez por

ciento del parque vehicular total en el límite saturación de los países industrializados, pero son igual o exceden a los vehículos privados en los países en vías de desarrollo en el escenario de bajo ingreso (Figura 1). Esto se refleja en los consumos de energía por los vehículos ligeros y los camiones mostrados en la tabla 2.3 del informe de WEC. La razón entre el consumo de los LDV y de los camiones, así como los consumos para el año base (1999) fueron utilizados junto con las distancias recorridas por los LDV y las intensidades del combustible para derivar los valores ajustados para el parque vehicular total. Por otra parte, según lo citado en el informe de WEC, las intensidades del combustible reflejan la mezcla diesel y la gasolina existente para el suministro energético en el mundo industrializado y

los supuestos correspondientes hechos para los países en vías de desarrollo.

La tabla 3 informa las demandas energéticas proyectadas. Las proyecciones del escenario LI difícilmente difieren de aquellas del BAU, que son casi exactamente aquellas del caso de la referencia de USDOE-EIA (2002); solamente para el 2020 muestran un exceso de 12 por ciento. Los índices de crecimiento más probables del PIB del escenario IR producen una diferencia de 12 por ciento ya para el 2010 y una diferencia de 40 por ciento para el 2020. Finalmente, en el escenario IH, las diferencias son 38 por ciento para el 2010 y 112 por ciento para el 2020. Señalando que la demanda en la mayoría de los países industrializados en 2020 excede al del BAU por 9 por ciento, como

Tabla 3. Consumo de energía para uso en transporte por región, 1999-2020
(Millones de barriles de petróleo equivalente por día)

Región	Año Base 1999	Parámetros				Inflacionaria							
		Uso Promedio (10 ³ km/ veh-año)	Intensidad Combustible (Litros por 100 km)		BAU		Baja		Referencia		Alta		
			1999	2020	2010	2020	2010	2020	2010	2020	2010	2020	
Países Industrializados													
Norteamérica	11.4	29.9	12.6	11.1	14.7	17	14.8	17.1	14.9	17.3	15	17.3	
Europa occidental	5.4	20.6	9.2	7.5	5.7	6.2	6.2	7	6.7	7.8	7.1	8.1	
Asia Industrializada	2.1	12.8	12.6	11.2	2.3	2.5	2.2	2.3	2.4	2.7	2.5	2.7	
Total Industrializados	18.9				22.8	25.7	23.2	26.4	24	27.7	24.6	28.1	
EE/FSU	1.6	16.8	12.1	10.5	2.5	2.9	3.5	6.1	4.8	8.5	6.9	10.4	
Países en vías de desarrollo													
Asia en vías de desarrollo	3.8	24.2	17.1	14	7.1	11.2	5.2	8.8	7.2	17.9	10.9	39.9	
Medio oriente	1.4	36.3	19.7	15	2.2	3.6	1.8	2.6	2.4	4.1	3.6	9	
África	0.9	18.3	16.5	12	1.3	1.6	1.1	1.3	1.4	2.3	2.1	4.7	
América Latina	2.8	22.3	14.3	10	4.2	6.2	4.1	5.6	5	9.4	7.2	12.9	
Total en vías de desarrollo	8.7				14.7	22.6	12.2	18.4	15.9	33.8	23.7	66.5	
Total Mundial	29.3				40	51.2	38.8	50.9	44.8	70	55.2	105	

consecuencia de estar cerca del punto de saturación. Por otra parte, la demanda agregada de los países en vías de desarrollo y los del EE/FSU se mantienen cerca de la de los países industrializados en 2010 y lo excede por 54 por ciento en 2020, en el escenario IR. En el escenario IH, los países en vías de desarrollo y los de EE/FSU demandan 19 por ciento más energía que los países industrializados en 2010 y 172 por ciento más en 2020.

Finalmente, si consideramos que el transporte de carretera está basado enteramente en productos petrolíferos, los escenarios IR e IH demandan un incremento en la producción petrolífera sobre las expectativas actuales, que ya para el 2010 puede estar entre 5 y 20 MMBD (millones de barriles diarios), con repercusiones también en la capacidad requerida para la refinación del petróleo.

El caso resuelto detalladamente para México –un país en un intervalo de PIB/capita en donde se espera que la inflación en vehículos/capita se produzca– ilustra lo antedicho (Bauer *et al.*, 2003). Incluso en el escenario de bajo crecimiento del PIB de 3.7 %, la demanda de la gasolina aumenta a 846 mil barriles por día para el 2010, requiriendo una capacidad de refinación de 400 mil barriles sobre la capacidad actual de 1.525 MMBD. Para el 2020, la capacidad tendría que duplicarse para satisfacer una demanda proyectada de gasolina de 1345 mil barriles por día.

Conclusiones

La ocurrencia de un escenario inflacionista es ciertamente probable y es necesario considerarlo. De hecho, el indicador principal es la movilidad individual que disfrutaban las personas que viven en el mundo industrializado y que las comunicaciones globales de hoy en día le

permiten conocer al mundo en desarrollo, por la cual se aspira con impaciencia. Hay que resaltar que no se puede esperar que los altos precios de combustibles sean un freno, como se evidencia con el alto nivel de vehículos *per capita* en la Unión Europea y en Asia Industrializada que, a pesar de los altos impuestos a la gasolina y al diesel en estos países, se compara con el de EUA.

Complementando a este micro impulsor de la demanda, es de considerarse la influencia de la globalización de la economía. Cada vez se están abriendo nuevos mercados. La industria del automóvil que en 2001 ensambló y vendió 53 millones de vehículos ligeros (coches y camiones ligeros), tiene sin embargo una capacidad adicional inactiva de más de 22 millones. Aunque Norteamérica y Europa occidental continuarán siendo su mercado principal, los crecimientos significativos pueden venir solamente de las economías en transición y de las economías en vías de desarrollo. Se puede esperar consecuentemente un esfuerzo de comercialización fuerte en éstos. Como muestra: "Los distribuidores de coches en China ahora están intentando satisfacer los caprichos estéticos de los clientes potenciales ofreciéndoles a elegir entre más de 100 colores. Según el diario de la mañana de Beijing, tales servicios personalizados muestran que el mercado está engranado cada vez más hacia la satisfacción de lo demandado por los consumidores"; esto, en un mercado donde, entre 1990 y 1999, el número de los coches comprados por los individuos creció a una tasa media anual de 23 por ciento. De hecho, esto se deriva de la política gubernamental actual que promueve el incremento de automóviles particulares para lograr un desarrollo

económico a través del consumo del desarrollo de infraestructura (Lin Gan, 2003).

Esta combinación de impulsores “jala” y “empuja” dentro del sector de transporte, puede desencadenar un crecimiento rápido y sin precedentes en la demanda de combustible, a menos que sea moderada por cambios tecnológicos en la industria automovilística hacia coches más pequeños, altamente más eficientes, que usen combustibles alternativos y que estén apoyados por un esfuerzo concertado de comercialización y de los medios de comunicación para hacerlos deseables a los consumidores (Bauer, 1996). Alterar patrones de consumo –“uno de los desafíos más grandes en la búsqueda de un medioambiente sano y del desarrollo sostenible”, según lo reconocido en la guía de la O.N.U en la agenda 21– es lo que se necesita urgentemente para evitar un futuro del mundo en el cual:

“Referente a desplazamiento personal, casi cada dueño de casa también posee ahora uno o más automóviles; pero el virtuoso propietario que fastidiosamente apaga cada luz para ahorrar energía, a menudo engulle gasolina como un marinerito borracho cuando se pone al volante”,

(“La liga entre la energía y la actividad humana”, IEA/OECD, 1997, p.101)

Referencias

- Bauer M. (1996). Transport and the Environment: Can Technology Provide the Answers? *Energy Policy*, 24 (8), pp. 685-687.
- Bauer M. (1997). Urbanization and Transport: The Crossroads. *WEC Journal*, July, pp. 36-40.
- Bauer, Elizalde y Mar (2003). Transport and Energy Demand in Mexico: The Personal Income Shock. *Energy Policy*, 31, pp. 1475-1480.
- Dargay y Gately (1999). Income's Effect on Car and Vehicle Ownership, Worldwide 1960-2015. *Transportation Research, Part A*, V.33, pp. 101-138.
- Dargay J. y Gately D. (2001). Modelling Global Vehicle Ownership. Proceedings of the 9th World Conference on Transport Research, Seoul, South Korea, July 2001.
- Energy Information Administration, U.S. Department of Energy (2002). *International Energy Outlook 2002*, EIA/DOE 2002.
- Judson R.A., Schmalensee R. y Stoker T.M. (1999). Economic Development and the Structure of the Demand of Commercial Energy. *The Energy Journal*, Vol. 20, No.2, pp. 29-57.
- Lin-Gan (2003). Globalization of the Automobile Industry in China: Dynamics and Barriers in Greening of the Road Transportation. *Energy Policy*, 31, pp. 537-551.
- Medlock III, K.B. y Soligo R. (2001). Economic Development and End-Use Energy Demand. *The Energy Journal*, Vol. 22, No. 2, p. 99.
- USDOE-EIA (2002). World Energy Outlook 2002, US Department of Energy, Energy Information Administration.
- World-Bank (1998). *1997 World Development Indicators*, The World Bank.
- World Energy Council Report (1998). *Global Transport and Energy Development – The Scope for Change*, The World Energy Council.

Semblanza de los autores

Mariano Bauer-Ephrussi. Obtuvo la licenciatura en física en la Facultad de Ciencias de la UNAM en 1956 y el doctorado en Filosofía (Física) en la Universidad de Maryland, Estados Unidos, en 1962. Ha sido profesor visitante en diversas instituciones nacionales y extranjeras. De 1982 a 1997 dirigió, por designación de rector, el Programa Universitario de Energía de la UNAM. Es investigador en el Instituto de Física de la UNAM y comisionado al Instituto Mexicano del Petróleo como investigador huésped. Sus áreas de investigación cubren los campos de física nuclear teórica, mecánica cuántica, planeación científica y energética, energía y medio ambiente, con 113 publicaciones. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores. En 1991 recibió el "Reconocimiento a la Orientación en Tecnología e Investigación" que otorga el Instituto Mexicano del Petróleo.

Elizabeth Mar-Juárez. Es egresada de la Facultad de Ingeniería, UNAM como ingeniera mecánica-electricista (Área industrial), asimismo, recibió los títulos de maestra en ingeniería (Energética) y doctora en ingeniería. Actualmente labora en el Instituto Mexicano del Petróleo, en donde desarrolla modelos y escenarios energético-ambientales en proyectos para PEMEX Gas y Petroquímica Básica, la Agencia de Protección Ambiental de EUA (EPA) y la Comisión Federal de Electricidad.

Juan Carlos Barajas-Abreo. Estudió ingeniería eléctrica en la Universidad Industrial de Santander, Colombia. Posteriormente, laboró con algunas empresas del sector alcanzando la jefatura de la Empresa de Energía de Bogotá. Actualmente estudia la maestría en la Facultad de Ingeniería de la UNAM en el área de economía energética. Ha realizado prácticas profesionales en la Secretaría de Energía desarrollando el proyecto "Matriz Insumo-Producto del Sector Energético Mexicano", el cual fue publicado en el Balance Nacional de Energía en el año 2002.