

Comparación de la contaminación de aire y la movilidad en zonas urbanas, considerando casos con y sin sistemas integrados de transporte



M.I / M.E. Ricardo Eugenio Arredondo Ortiz
Coordinación de Integración del Transporte



M. C. Jorge Huerta Merino
Technische Universität München
MSc in Transportation Systems



Ing. Eduardo Acosta López

Ing. Vanesa Frescas Corral
Universidad Autónoma de Chihuahua
Maestría en Vías Terrestres

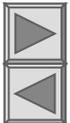


Asociación Mundial de Carreteras
Comité Técnico.2.2
Buenos Aires Argentina
4-8 de noviembre de 2013



Contenido

- Introducción
- Definiciones
- Planteamiento del problema
- Procedimiento metodológico
- Alternativas de movilidad en zonas saturadas y evaluación de su eficiencia
- Conclusiones y recomendaciones



Definiciones

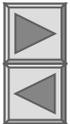
- Eficiencia (Del lat. Efficientia)
 - Capacidad de disponer de alguien o de algo para conseguir un efecto determinado (*RAE*)
 - Eficiencia mecánica: Medida de la efectividad con la cual un sistema funciona. $E=Rm/Ri$ (Webster).
 - Eficiencia económica: Búsqueda de la combinación de insumos que minimizan el costo de producción (Collins)
 - Eficiencia tecnológica: Combinación óptima de insumos para alcanzar un nivel determinado de producción (Collins).



Definiciones

Sustentable. Que se puede sustentar o defender con razones. *(RAE)*

Sostenible. Dicho de un proceso: Que puede mantenerse por sí mismo, como lo hace, p. ej., un desarrollo económico sin ayuda exterior ni merma de los recursos existentes. *(RAE)*



Definiciones

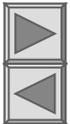
Costos externos ambientales carreteros

Son aquellos costos generados dentro del entorno del transporte carretero y que no son cubiertos por los agentes que los producen, en los términos clásicos del capitalismo, pero que son sufridos por la población en general, lo que obliga a la intervención del estado para regular esta deficiencia del mercado y ajustar las pérdidas (RA).

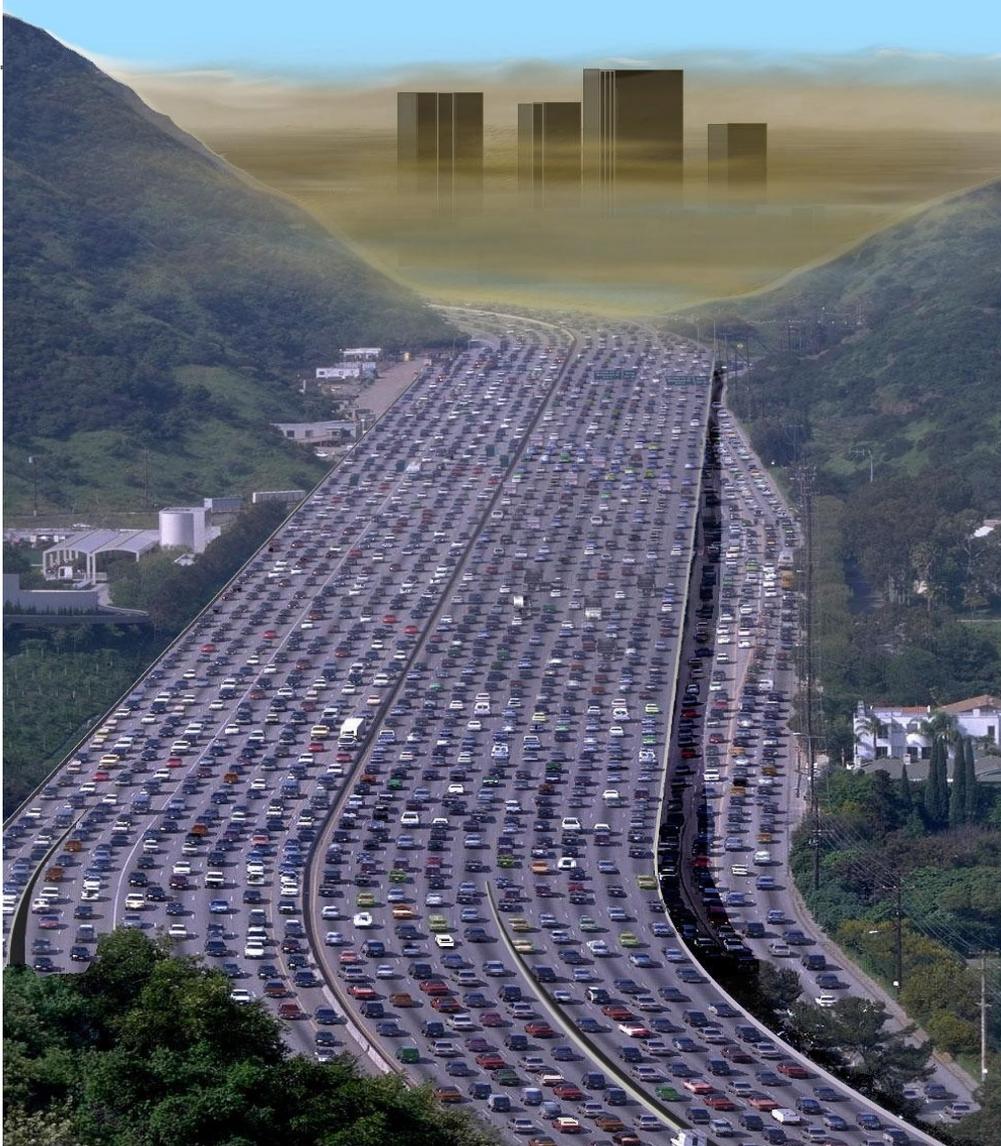


Planteamiento del problema:

- 1) Se requiere transportar de manera sostenible a personas y mercancías en las grandes ciudades de México, a un bajo costo y en el menor tiempo posible.
- 2) Se propone permitir el acceso igualitario de la población a las oportunidades de servicio que ofrece la vida urbana (educación, salud, recreación, servicios sociales y administrativos).



Las zonas saturadas

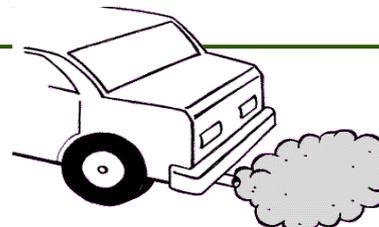
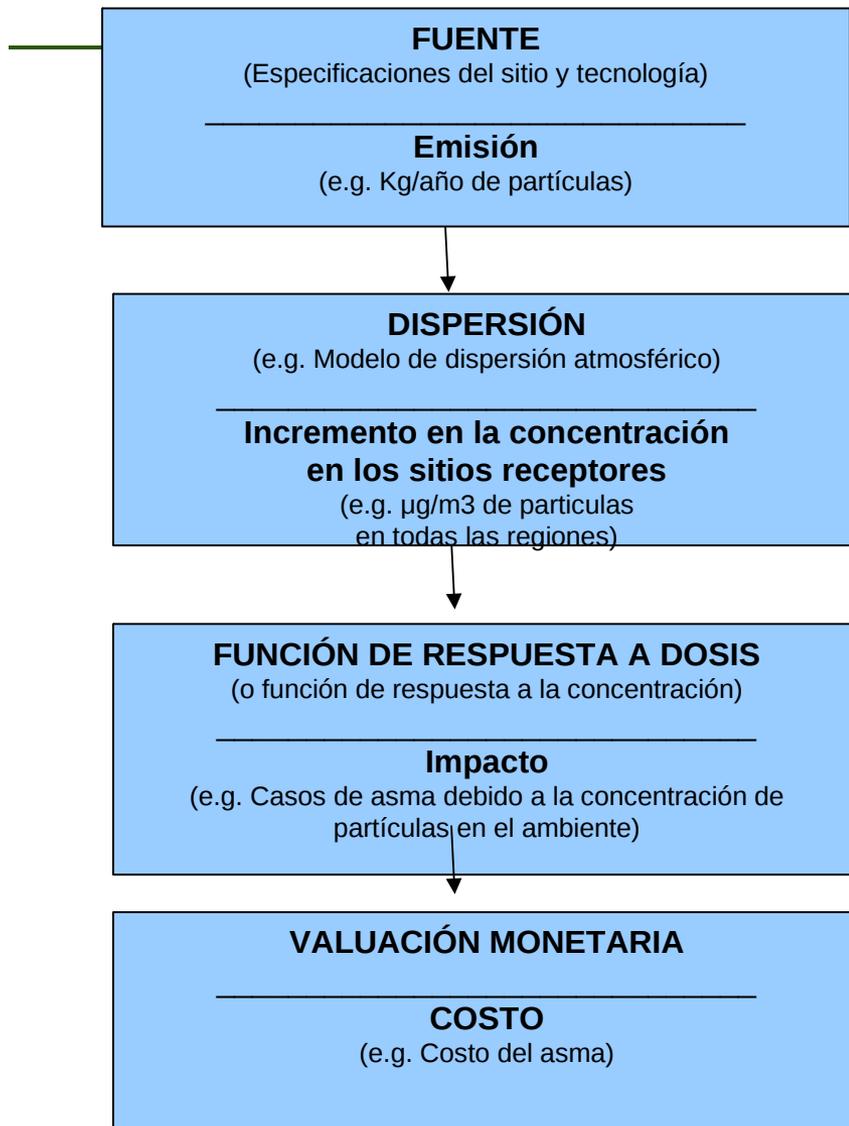


- ✦ En la fotografía aparecen 1,265 vehículos, aproximadamente,
- ✦ principalmente autos particulares que transportan a un sólo viajero: el conductor.

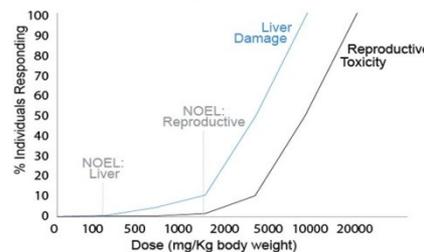
Metodologías para estimar emisiones contaminantes del aire

- 1) Los enfoques de arriba hacia abajo
- 2) Los enfoques de abajo hacia arriba

Desde abajo hacia arriba: El enfoque de vías de impacto



Dose-response function
with a no-effect region



Modelos de referencia

COPERT (v3-2002, v4-2009)

MOBILE (V1-1978, V6-2001)

PART5 (1995)

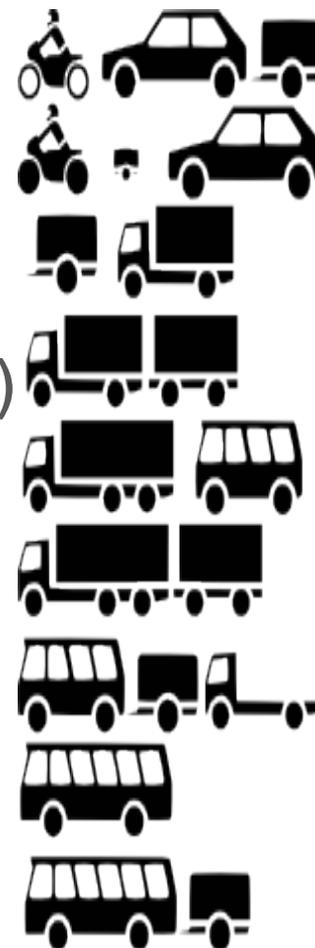
HDM4-SEE (2001)

Metodología

Factores de emisión dados para:

- Vehículos particulares,
- Vehículos ligeros de carga (<3.5t)
- Vehículos pesados de carga (>3.5t)
- Autobuses y
- Motocicletas

- **Controles de emisión**
- **CORINAIR**



Metodología

Elementos para estimar los factores de emisión

- Influencia de la velocidad en los factores de consumo de combustibles para vehículos a gasolina
- Valores para estimar las emisiones de vehículos a gasolina tipo Euro I y posteriores
- Degradación de las emisiones debido a la edad de los vehículos
- Efectos de la calidad del combustible

Metodología

Variables

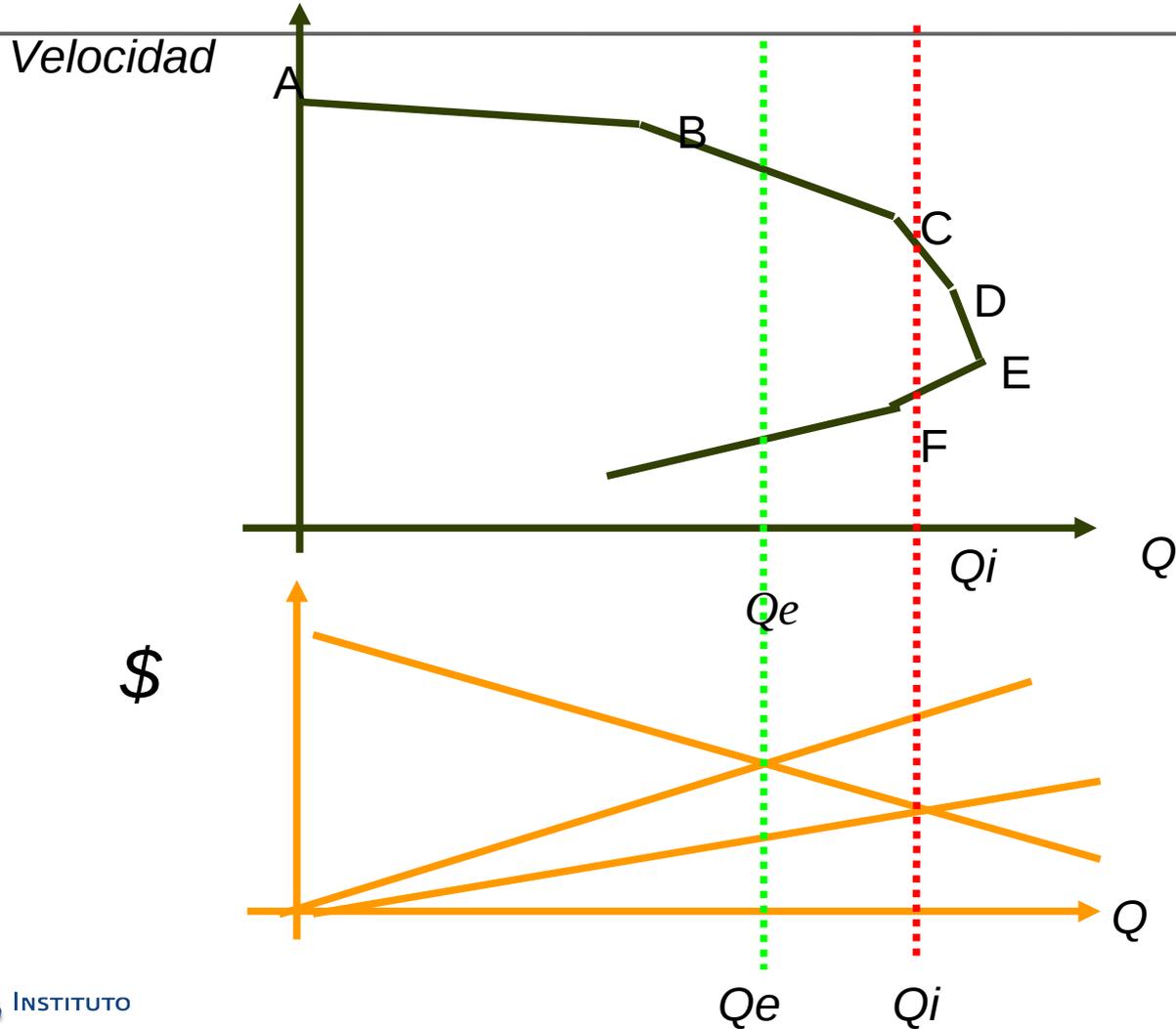
- Condiciones de manejo
- Condiciones climáticas
- Especificaciones de combustibles
- Consumo de combustible
- Datos de actividades



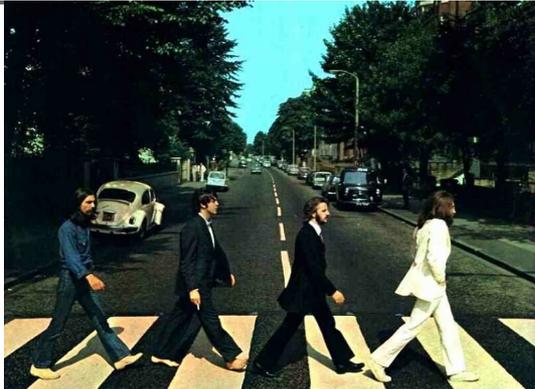
Variables regionales

- Longitud del viaje – Encuestas UMQ
- Clima – CONAGUA
- Especificaciones de combustibles – SEMARNAT & EEA
- Consumo de combustibles – PEMEX
- Condiciones de Manejo – CECOM
- Datos de actividades – Encuestas UMQ, SPFGEQ, DGAF, Datos viales DGST, SACLA-BICI

Las zonas saturadas

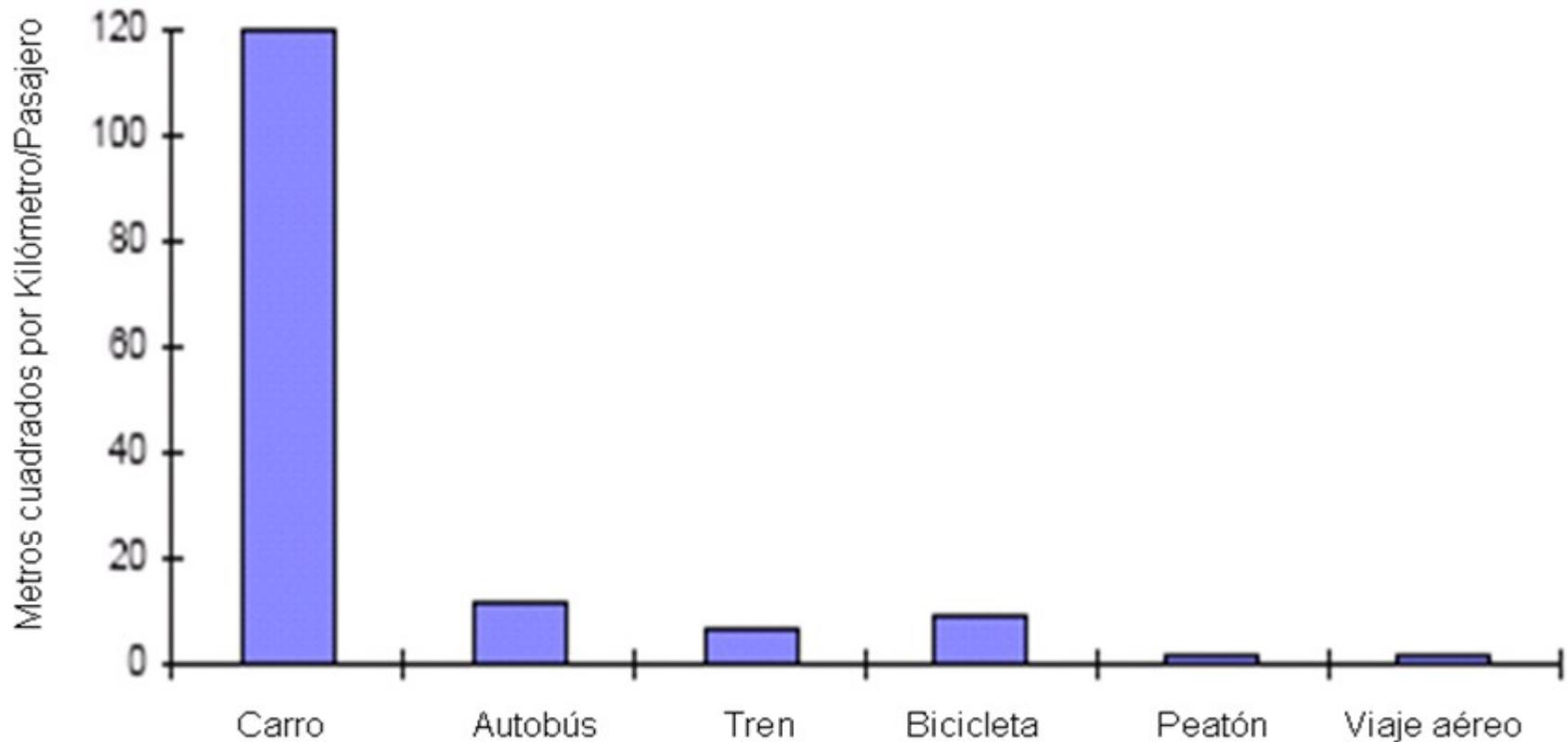


Alternativas de movilidad



La competencia por el espacio

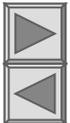
Ocupación del espacio terrestre por modo de transporte



(Banister y Buton, 1993)



Alternativa con transporte masivo



Utilizando metrobus (9 unidades)

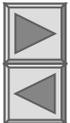


Capacidad:

140 Pax

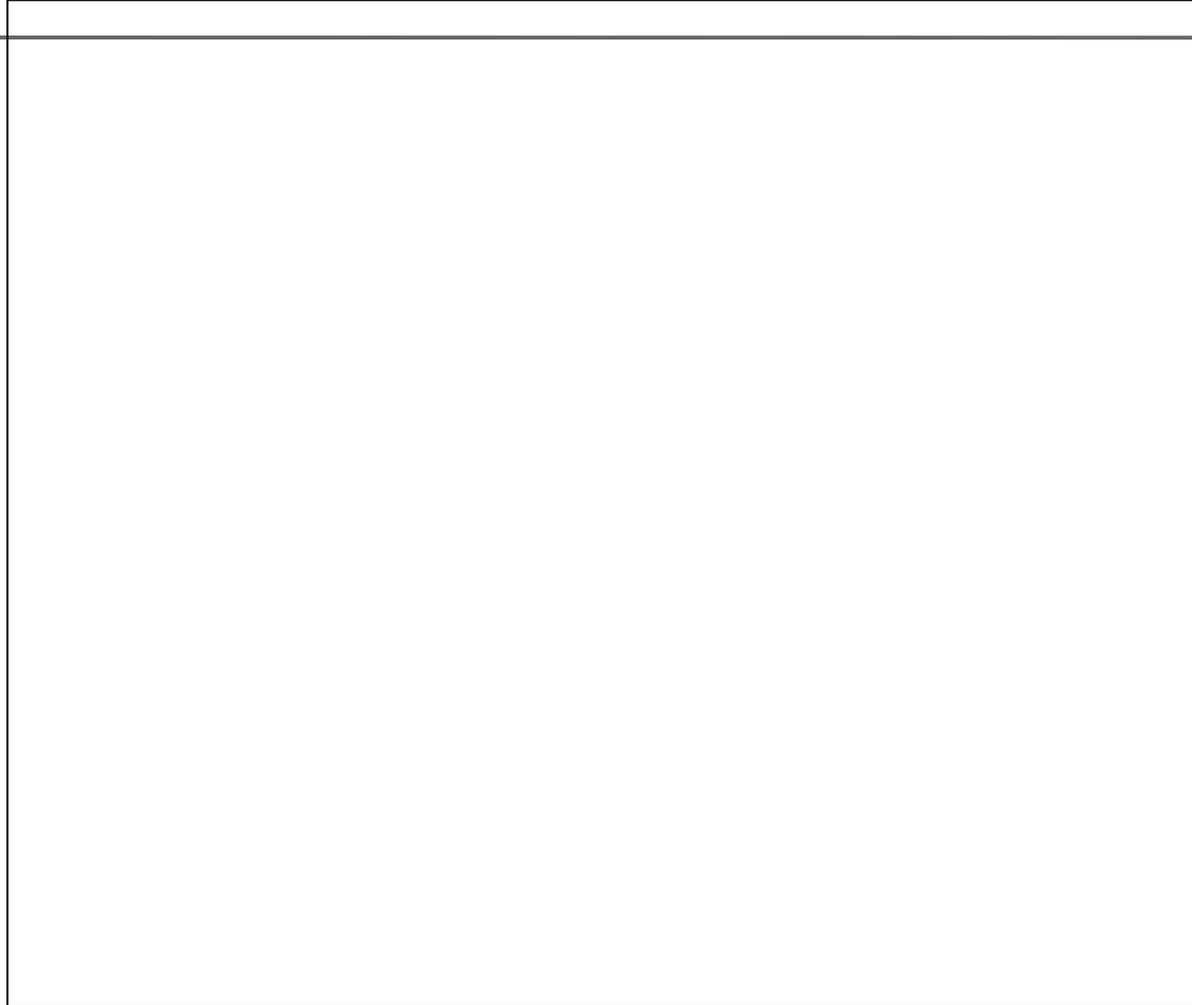
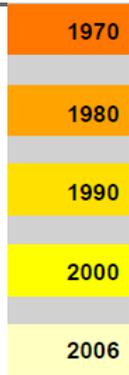
Longitud:

18 m





Zona metropolitana de Querétaro



Fuente: SDUOP 2006



Población de la ZMQ

MUNICIPIOS CONURBADOS DE LA ZONA METROPOLITANA DE QUERÉTARO

Querétaro	Santiago de Querétaro	801.940
Corregidora	El Pueblito	143.073
El Marqués	La Cañada	116.458
Huimilpan	Huimilpan (INEGI, 2010)	35.554



Parque vehicular de la ZMQ

Tipo de Vehículo	Año 2006	Año 2010
Automóvil	128,693	271,018
Camiones de Carga (Ligeros y Pesados)	47,248	93,144
Motocicletas	3,769	9,754
Autobuses	2,438	3,087
Total en MZQ	182,148	377,003

(SPFGEQ,2010)

Emisiones contaminantes ZMQ

EMISIONES VEHICULARES (TON)						
EMISION/VEHICULO	VEHÍCULO	C. C. LIGERO	C. DE CARGA	AUTOBÚS	MOTOCICLETA	TOTAL
CO	1,100.69	3,354.43	850.01	197.30	3,151.82	8,654.25
NOX	1,663.06	733.56	3,409.79	917.45	0.00	6,723.86
NO	45.43	32.22	416.83	122.96	0.00	617.44
NO ₂	45.43	32.22	416.83	122.96	0.00	617.44
N ₂ O	90.97	46.72	10.26	2.35	0.61	150.91
Pm	112.83	50.19	90.86	23.79	6.22	283.89
OM	11.30	3.57	15.42	3.79	3.76	37.84
EC	4.70	3.06	45.61	12.01	1.04	66.42
CO ₂	1,624,232.89	708,748.90	433,011.58	127,305.50	36,318.00	2,929,616.87
NM VOC	544.35	544.35	108.00	19.69	326.05	1,542.44
CH ₄	81.11	159.97	35.02	14.42	36.95	327.48
Cobre	2,849.71	1,278.26	766.11	266.03	50.94	5,211.06
Cinc	1,256.55	563.51	328.77	93.48	22.42	2,264.73
Nickel	50.66	22.35	13.42	4.17	1.03	91.63
Cromo	115.69	52.08	31.17	10.98	2.01	211.92
TOTAL	1,632,205.36	715,625.40	439,549.67	129,116.89	39,920.84	2,956,418.16

CO₂/PAX-Milla PRODUCIDOS POR UN METROBÚS

TAMAÑO DE AUTOBUS	TIPO DE COMBUSTIBLE	CICLO DE PRUEBA	CO ₂ g/MILLA	CUPO DE PASAJEROS	CO ₂ g/PASAJERO/MI
40 ft	Hibrido diesel	CBD	2,088	23	89.91
	Gas Natural	UDDS	1,535	23	66.07
60 ft	Diesel	CBD	4,617	23	198.75
	Hibrido diesel	CBD	3,080	23	132.59

Fuente: *Journal of Public Transportation, 2006 BRT Special Edition*



Emisiones estimadas para la flota actual de autobuses de transporte público en la ZMQ

Autobús	Capacidad total	Cap. diseño	Flota
Convencional	60	50	1474

Fuente: Proyecto de autobús articulado en Querétaro (GEQ, 2011)

Emisiones (ton)	
CO	88.19
NOX	410.10
CO ₂	56905.56
OTROS	311.39

Fuente: Arredondo y Acosta, 2011



Emisiones estimadas para la flota propuesta de autobuses de transporte público en la ZMQ

Autobús	Capacidad total	Cap. diseño	Flota
Padron	105	80	227
Convencional	60	50	642
Microbús	50	40	104
		Total	973

Fuente: *Proyecto de autobús articulado en Querétaro (GEQ, 2011)*

Emisiones (ton)	
CO	61.17
NOX	310.98
CO₂	46470.27
OTROS	301.65

Fuente: Arredondo y Acosta, 2011

Estimación de reducción de las emisiones contaminantes del aire al substituir el parque vehicular de transporte público en la ZMQ

Emisiones (ton)	
CO	27.03
NOX	99.12
CO ₂	10435.29
OTROS	9.74

Obtenemos una reducción de apenas 0.35 % por año.

Fuente: Arredondo y Acosta, 2011

Estimación de reducción potencial de emisiones al atraer a los conductores de autos particulares al transporte público en la ZMQ

EMISION	PORCENTAJE DE REDUCCION DE LA FLOTA VEHICULAR Y EMISIONES REDUCIDAS (TON)						
	5.00	10.00	15.00	20.00	25.00	30.00	35.00
CO	55.03	110.07	165.10	220.14	275.17	330.21	385.24
NOX	83.15	166.31	249.46	332.61	415.76	498.92	582.07
CO ₂	81211.64	162423.29	243634.93	324846.58	406058.22	487269.87	568481.51
OTROS	260.44	520.87	781.31	1041.74	1302.18	1562.62	1823.05
%RED EMISIONES	2.76	5.52	8.28	11.04	13.80	16.56	19.32

Fuente: Arredondo y Acosta, 2011

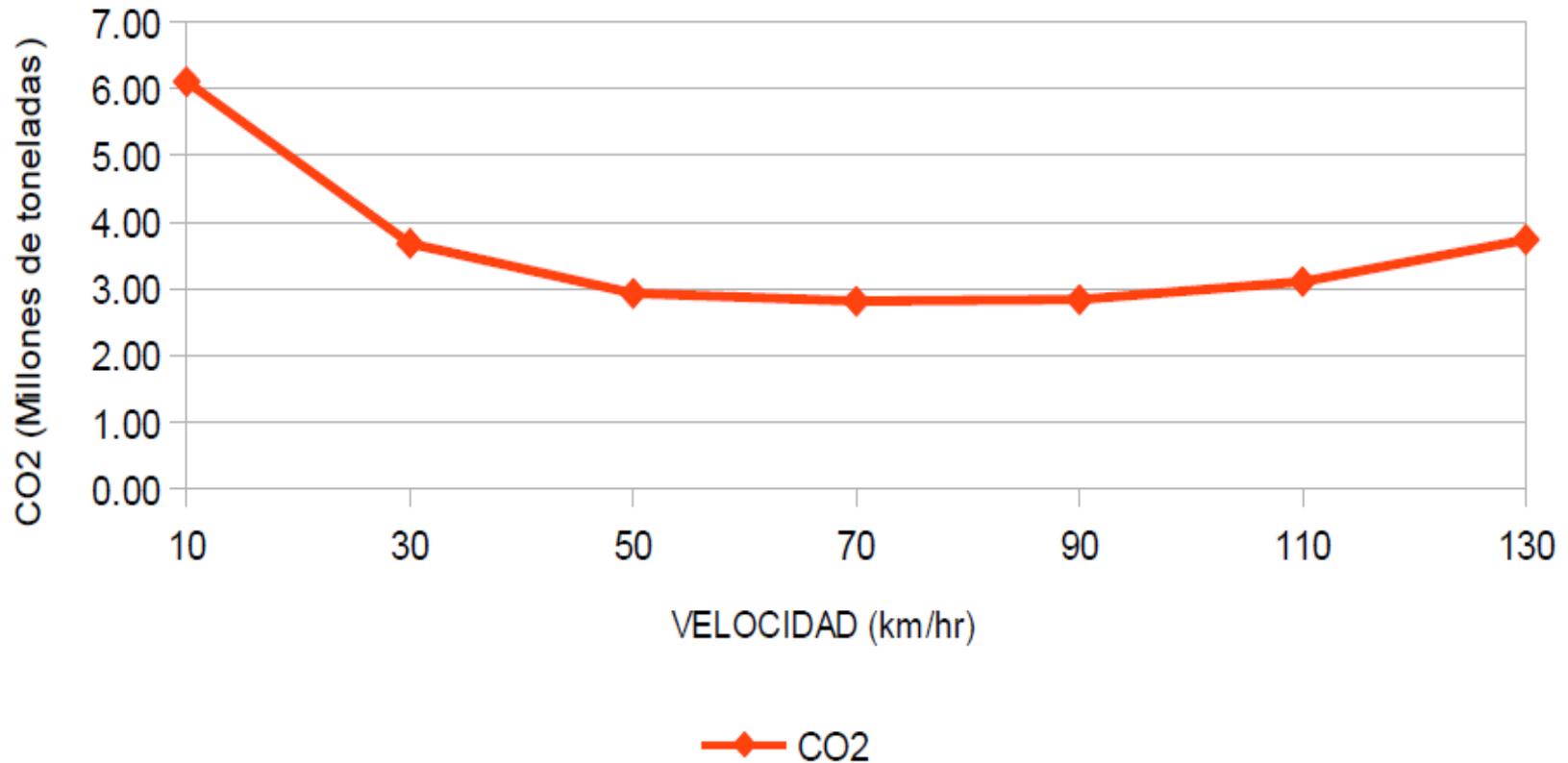


Estimación de reducción de las emisiones contaminantes al variar las velocidades urbanas del parque vehicular registrado en la ZMQ

VEL (km/hr)	CO	CO2	N0x	TOTAL
	(Cifras en toneladas)			
10	5,682.32	6,104,486.17	13,610.33	6,123,778.82
30	6,978.08	3,680,702.42	9,743.40	3,697,423.90
50	8,654.25	2,929,616.87	6,723.86	2,944,994.98
70	11,368.61	2,812,738.76	4,551.70	2,828,659.07
90	16,428.81	2,836,653.48	3,226.92	2,856,309.21
110	28,696.93	3,107,517.71	2,749.52	3,138,964.16
130	78,458.88	3,735,524.88	3,119.50	3,817,103.26

Fuente: Arredondo y Acosta, 2011

VARIACIÓN DE LAS EMISIONES ANUALES DE CO2 EN LA ZMQ AL VARIAR LA VELOCIDAD URBANA GENERAL



Fuente: Arredondo y Acosta, 2011



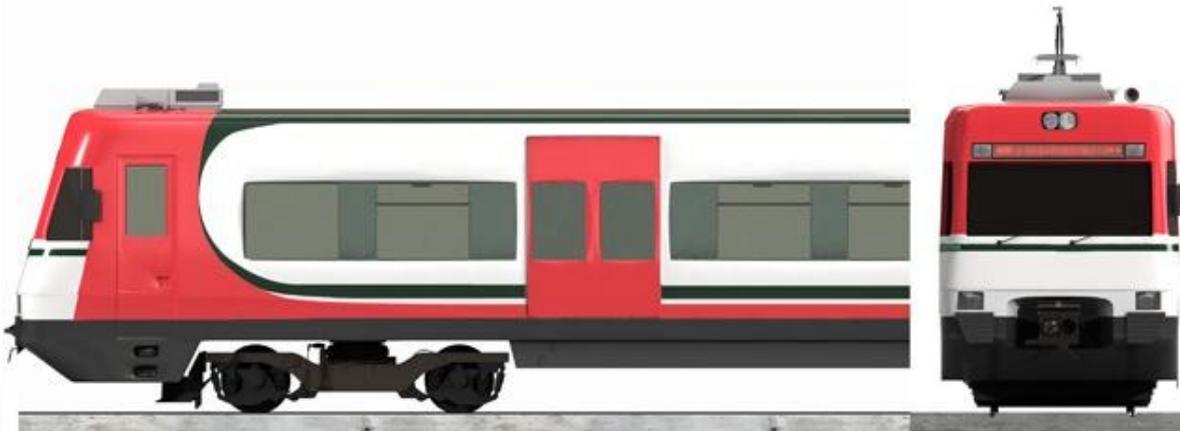
Alternativa con tren suburbano



☀ Capacidad:
2,019 pasajeros
de pie ó 507
pasajeros
sentados

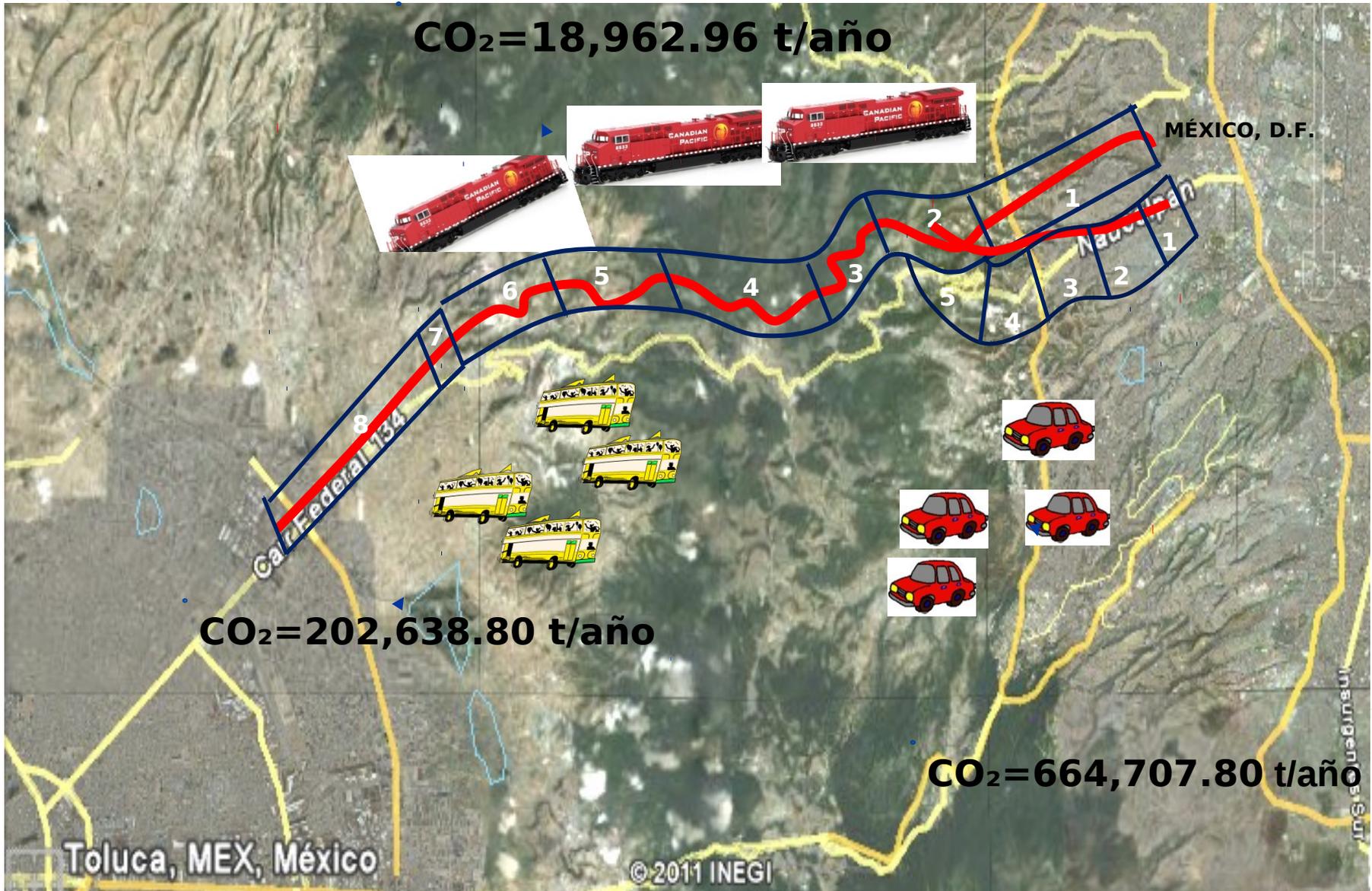
☀ Longitud del
convoy de tres
carros:
75m

☀ Demanda
diaria inicial =
☀ 320,000 px

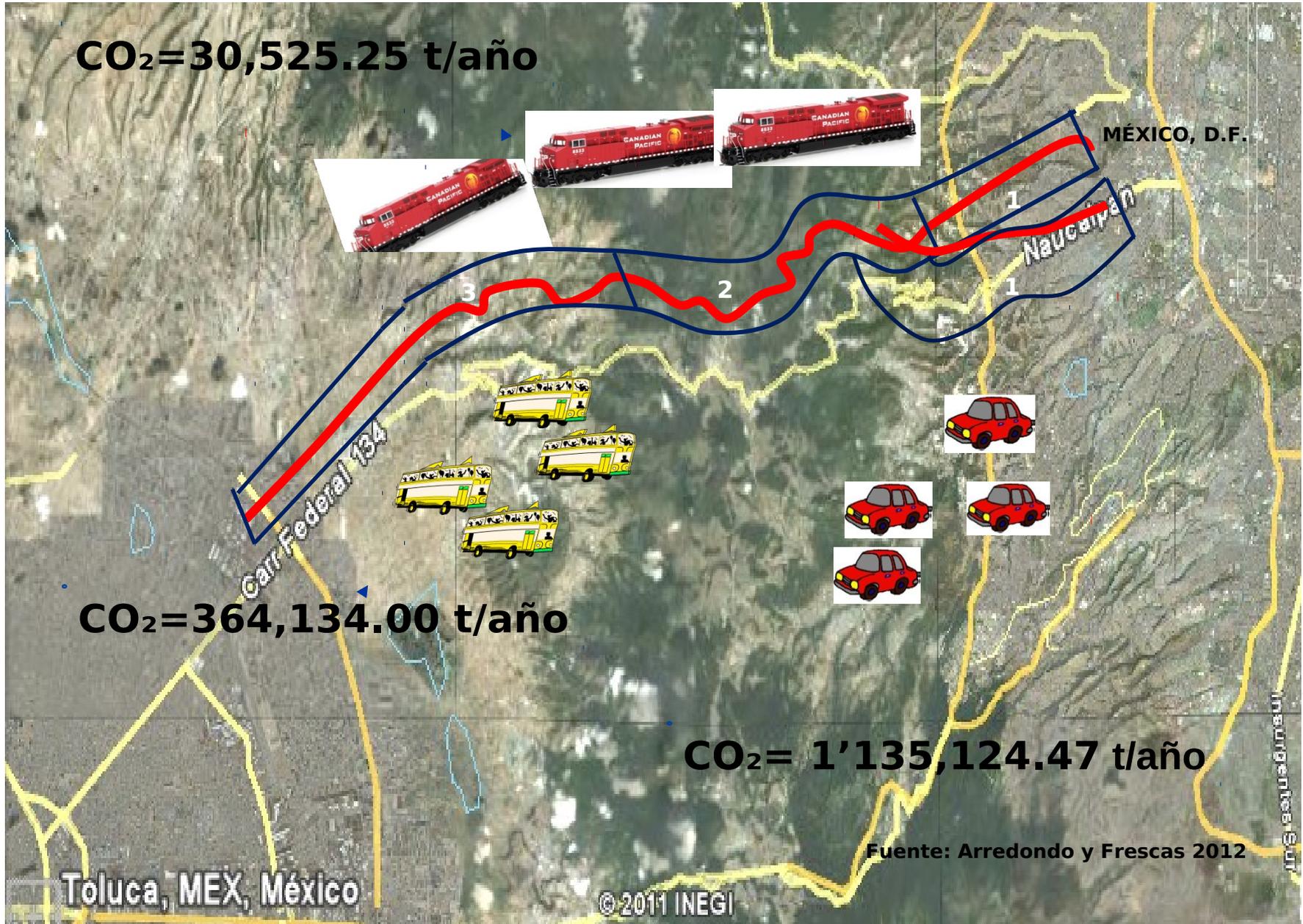




ESTIMACIÓN DE EMISIONES CO₂ EN MÉXICO-TOLUCA PARA EL AÑO 2010



ESTIMACIÓN DE EMISIONES CO₂ EN MÉXICO-TOLUCA PARA EL AÑO 2040



Alternativa con Transporte activo



Transporte activo:

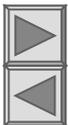
Aquel en el que el objeto de transporte aporta la fuerza



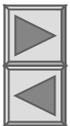
Una milla recorrida en bicicleta permite quemar 35 calorías, mientras que si se camina, se usan 100 calorías. En contraste, un auto consume 1,860 calorías, que no aprovechan al conductor y si contribuye al calentamiento global.



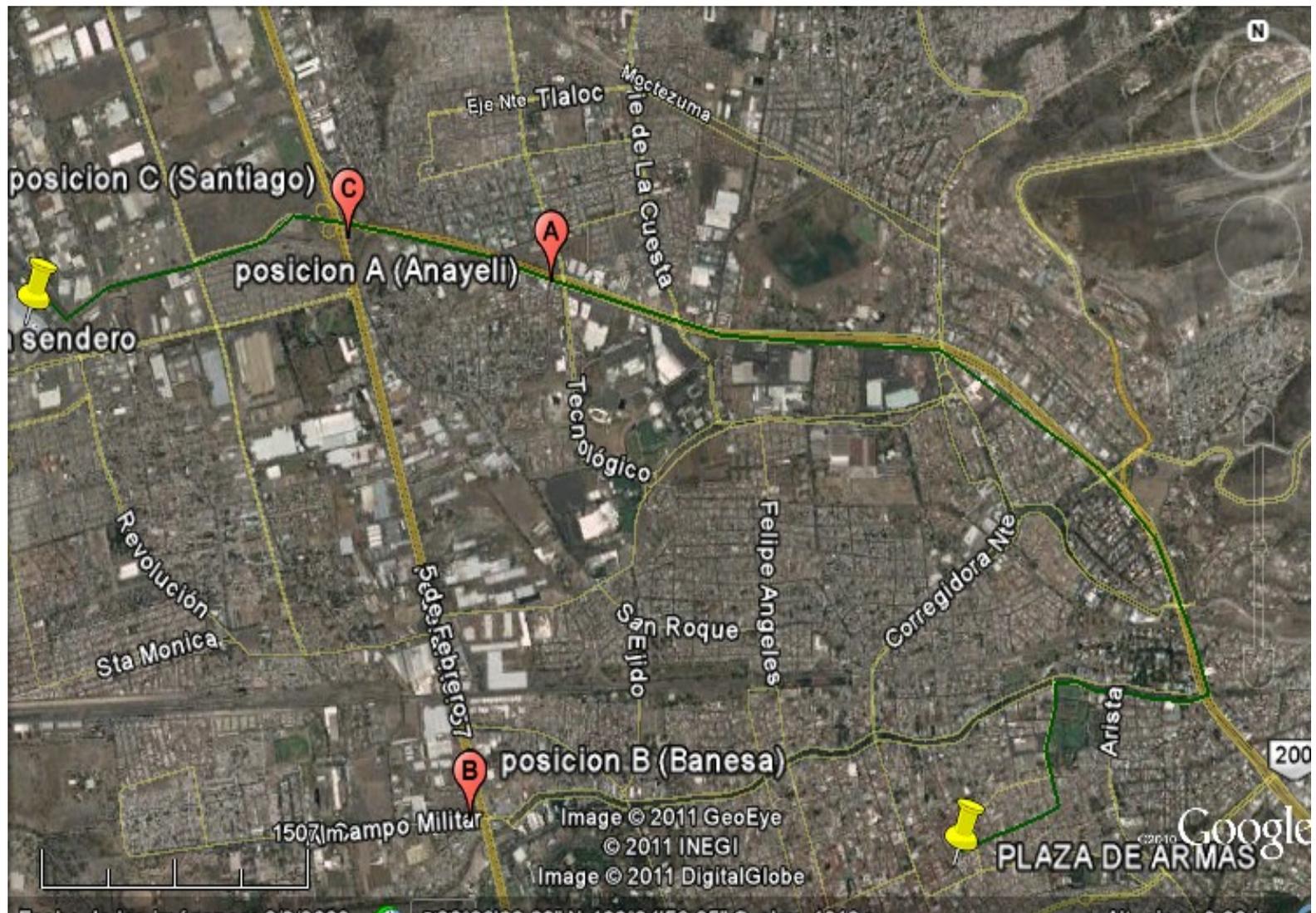
Evaluación de la eficiencia del transporte modal de la ZMQ 2011



Modos de transporte participantes



MAPA DE RUTAS Y MONITORES



Rutas de competidores Qro-2011



- Ruta 1
- Ruta 2
- Ruta 3
- Ruta 4
- Ruta 5
- Ruta 6
- Ruta 7
- Ruta 8
- Ruta 9
- Ruta 10

RESULTADOS DEL DESAFÍO QRO-2011 (1/2)

Participante	Modo de transporte	Ruta	hora de salida	Control C (S+N)	Control A (A+L)	Control B (V+E)	Hora de llegada	Tiempo de recorrido (hr:min)	Distancias (km)								D total	Velocidad de marcha (km/hr)
									1 (Caminar de la plaza a su vehic)	2 (O-C)	3 (C-A)	4 (O-B)	5 (B-Dp)	6 (A-Dp)	7 (O-Dp)	7 (Dp-Dd)		
1	Bicicleta	1	7:30	No aplica		7:44	7:52	0:22	0.000	-	-	4.880	3.190	-	8.070	0.000	8.070	22.009
2	Bicicleta	2	7:30	No aplica		No aplica	7:53	0:23	0.000	-	-	-	-	-	7.310	0.000	7.310	19.070
3	Motocicleta	3	7:33	7:41	7:43	No aplica	7:59	0:26	0.001	2.020	1.200	-	-	6.750	9.970	0.030	10.000	23.077
4	Bicicleta	4	7:35	No aplica		7:52	8:07	0:32	0.000	-	-	5.000	3.170	-	8.170	0.000	8.170	15.319
5	T. Público Ruta H	5	7:30	No aplica		7:48	8:09	0:39	0.200	-	-	4.640	3.750	-	8.390	0.470	8.860	13.631
8	Automóvil	8	7:30	7:49	7:54	No aplica	8:14	0:44	0.020	2.150	2.920	-	-	5.370	10.460	0.180	10.640	14.509
6	Automóvil	6	7:30	7:46	7:47	No aplica	8:15	0:45	0.030	3.620	4.800	-	-	3.680	12.100	0.070	12.170	16.227
7	T. Público Ruta 11	7	7:30	No aplica		7:57	8:17	0:47	0.200	-	-	4.650	4.110	-	8.760	0.420	9.180	11.719
9	Automóvil	9	7:38	7:56	8:00	No aplica	8:27	0:49	0.040	2.150	2.920	-	-	4.370	9.480	0.600	10.080	12.343
10	Automóvil	10	7:30	No aplica		8:04	8:33	1:03	0.040	-	-	4.880	3.040	-	7.960	0.110	8.070	10.376

Fuente: Arredondo Ortiz y López Acosta, 2011

RESULTADOS DEL DESAFÍO QRO-2011 (2/2)

PARTICIPANTE	MODO	d (km)	t (hr)	COV (\$)	CO2 (kg)	GASTO ENERGÉTICO (kCal/Pax)
1	BICI	8.07	0.37	\$1.70	0.169	1.211
2	BICI	7.31	0.38	\$1.54	0.154	1.097
3	BICI	8.17	0.53	\$1.72	0.172	1.226
4	MOTOCICLETA	9.969	0.43	5.583	1.625	5.355
5	AUTOBÚS	8.19	0.65	2.755	0.192	0.926
6	AUTOBÚS	8.56	0.78	2.879	0.201	0.968
7	AUTOMÓVIL	10.44	0.73	33.304	1.952	13.780
8	AUTOMÓVIL	12.07	0.75	38.503	2.257	15.932
9	AUTOMÓVIL	9.44	0.82	30.114	1.765	12.460
10	AUTOMÓVIL	7.29	1.05	25.265	1.481	10.454

Fuente: Arredondo Ortiz y López Acosta, 2011

Rutas de competidores QRO-2012

The image is a screenshot of the Google Earth application window. The title bar reads "Google Earth". The main window displays a satellite view of Querétaro, Mexico, with several colored lines overlaid on the map representing different routes. The routes are color-coded: cyan, green, purple, blue, yellow, and white. The city of Querétaro is clearly visible, with labels for "Santa Maria Magdalena", "Santiago de Querétaro", "San Jose de Los Olvera", and "Venceremos". The map includes a compass and navigation controls on the right side.

On the left side, there is a sidebar with the following sections:

- Buscar**: Search bar with "Volar a" and "Buscar negocios" options. Below it, "Volar a p. el, 37,407229 -122,107162" is displayed.
- Lugares**: A list of saved locations and routes. The "propuesta ruta moto.kmz" is currently selected and highlighted in blue. Other items include "Ruta Bus #13 Erik Frías", "Ruta auto alex.kmz", "Ruta bici ana maria", and "Ruta moto Alfonso Herrera".
- Capas**: A list of map layers, including "Base de datos principal", "Fronteras y etiquetas", "Lugares", and "Fotografías".

At the bottom of the window, the status bar shows the date "2004", coordinates "20° 34' 21.62\" N 100° 26' 01.87\" O elev. -1806 m", and the text "Alt. ojo 12.89 km". The Google Earth logo is visible in the bottom right corner of the map area.

RESULTADOS DE QUERÉTARO (13-NOV-2012)

N°	Lugar	Vehículo participante	Tiempo de recorrido (hr)	Distancia (km)	Velocidad Media (km/hr)	Velocidades máximas observadas (km/hr)	COV (\$)	CO2-Vehículo (kg)	CO2 personal (kg)	CO2 del desafío modal	Gasto energético (kcal/pax)
1	1	Moto	0.267	7.82	29.33	32.03	4.38	1.31	0.01	1.32	3,453
2	2	Bici	0.350	8.25	23.57	26.64	1.73	0.17	0.01	0.19	0.25
3	3	Moto	0.367	7.64	20.84	34.00	4.28	1.28	0.01	1.29	2,853
4	4	Moto	0.367	9.18	25.04	45.09	5.14	1.53	0.01	1.55	3,828
5	5	Bici	0.388	9.42	24.31	26.26	1.98	0.20	0.01	0.21	0.14
6	6	Bici	0.393	8.62	21.92	32.30	1.81	0.18	0.01	0.20	0.10
7		Bici	0.393	8.62	21.92	32.30	1.81	0.18	0.01	0.20	0.07
8	8	Bici	0.400	13.1	32.75	37.33	2.75	0.28	0.02	0.29	0.20
9		Bici	0.400	8.7	21.75	22.67	1.83	0.18	0.02	0.20	0.10
10	10	Bici	0.433	8.94	20.63	35.00	1.88	0.19	0.02	0.20	0.13
11	11	Taxi	0.450	8.75	19.44	19.44	30.33	3.17	0.02	3.18	3,267
12	12	Auto	0.517	15.1	29.23	39.47	48.17	5.47	0.02	5.48	7,518
13	13	Moto	0.533	8.94	16.76	21.00	5.01	0.55	0.02	0.57	3,338
14	14	Auto	0.567	9.85	17.38	19.09	31.42	1.84	0.02	1.86	7,910
15	15	Bici	0.583	8.7	14.91	27.69	1.83	0.18	0.02	0.20	0.10
16	16	Auto	0.600	8.48	14.13	16.08	27.05	1.59	0.02	1.61	4,909
17	17	Auto	0.667	9.47	14.21	17.87	30.21	1.77	0.03	1.80	7,108
18	18	Autobús	0.767	13	16.96	31.13	4.37	0.31	0.03	0.33	68
19	19	Autobús	0.833	11.3	13.56	16.46	3.80	0.27	0.03	0.30	241
20	20	Auto	0.867	9	10.38	19.10	28.71	1.68	0.03	1.72	6,110
21	21	Autobús	0.936	17.5	18.70	21.70	5.89	0.41	0.04	0.45	204
22	22	Autobús	0.938	9.6	10.24	19.05	3.23	0.23	0.04	0.26	66

Fuente: Arredondo Ortiz y Ledesma Espinoza, 2013

Resultados Nacionales Desafío-2012

DESAFÍO MODAL 2012																		
BICIRED: 14 DE 45 Ciudades																		
N°	Ciudades participantes (14)	EDO	PARTICIPANTES						INDICADORES OBTENIDOS (1° lugar)						MENORES TIEMPOS			
			Bici	Auto	Bus	Moto	Otro	TOTAL	t (hr)	d (km)	Vel media (kph)	Vel máx (kph)	COV (\$)	CO2 (kg)	KCal	1	2	3
1	Qro	Qro	8	5	4	4	1	22	0.27	7.82	29.33	32	4.38	1.32	3.45	Moto	Bici	Moto
2	Ags	Ags	12	6	2			20	0.13	3.10	23.25	nd	nd	nd	nd	Auto	Bici	Bici
3	Hermosillo	Son	2	2	2			6	0.45	6.27	13.86	nd	nd	nd	nd	Bici	Bici	Auto
4	Mexicali	BC	2	2	1	1		6	0.34	7.85	23.32	nd	nd	nd	nd	Moto	Bici	Bici
5	Pue	Pue	3	2	2	1		8	0.57	10.80	18.95	nd	nd	nd	nd	Bici	Auto	Moto
6	Torreón	Coah	2	1	1	2		6	0.25	7.50	30.00	nd	nd	nd	nd	Moto	Moto	Auto
7	Toluca	Mex	1	1	1	1		4	0.27	10.21	37.81	nd	nd	nd	nd	Moto	Bici	Auto
8	Cuautitlán	Mex	2	2	1	2		7	0.40	13.30	33.25	nd	nd	nd	nd	Moto	Moto	Auto
9	Morelia	Mich	2	2	2	2		8	0.28	7.78	27.46	nd	nd	nd	nd	Moto	Moto	Bici
10	San Cristóbal	Chis	3	3	1	2	3	12	0.17	2.50	15.00	nd	nd	nd	nd	Bici	Bici-moto	Bici
11	Tuxtla Gtz	Chis	1	2		2	2	7	0.47	26.50	56.79	nd	nd	nd	nd	Auto	Bici	Moto
12	Gómez Palacio	Dgo	1	1	1	1		4	0.17	?	?	nd	nd	nd	nd	Moto	Auto	Bici
13	Polanco	DF	5	5	4	3	4	21	0.44	8.90	20.12	nd	nd	nd	nd	Bici	Bici	Bici
14	Guadalajara	Jal	3	2	2	2	1	10	0.18	9.85	54.72	nd	nd	nd	nd	Bici	Bici	Bici

NOTAS

nd	No Disponible
	Cuestionable

De las 22 ciudades que integran la BICIRED, solo participaron 14 y de ellas solo 6 tuvieron datos confiables

ELABORÓ: Ricardo E. Arredondo Ortiz, con base en los datos de los participantes.

CICLOVÍAS Y SERVICIO ATRM PARA LA CIUDAD DE QUERETARO



-  **Cicloviás**
-  **Corredor de ATRM**
-  **Corredor de ATRM 2**
-  **Ejes viales existentes**
-  **Mancha urbana**



Conclusiones



Conclusiones (1/3)

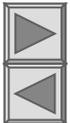
En zonas saturadas, es necesaria una política de estado que privilegie el transporte público masivo, sobre el transporte privado.

En una sociedad justa y equitativa, todos los individuos deben colaborar en forma directamente proporcional a su beneficio individual.



Conclusiones (2/3)

Es necesario revisar las políticas públicas que incentivan el transporte privado, como son los subsidios a los combustibles y la eliminación de la tenencia vehicular. Ambas medidas son contraproducente y fomentan el uso ineficiente de los escasos recursos nacionales.



Conclusiones (3/3)

Crear nuevas políticas de movilidad, que privilegien las inversiones públicas en infraestructura para el transporte activo, no sólo como medida de alivio vial, sino como una urgente medida de salud pública, ante los graves problemas de obesidad y sobrepeso que sufre la población mexicana y que amenazan su viabilidad como sociedad.



A photograph of two cyclists riding away on a dirt path through a lush, green forest. The cyclist in the foreground is wearing a grey shirt, dark shorts, and a backpack. The cyclist in the background is wearing a white shirt and dark pants. The path is flanked by tall trees and dense foliage, creating a shaded and serene environment.

**¡ GRACIAS
POR SU
ATENCIÓN !**

ricardo.arredondo@imt.mx