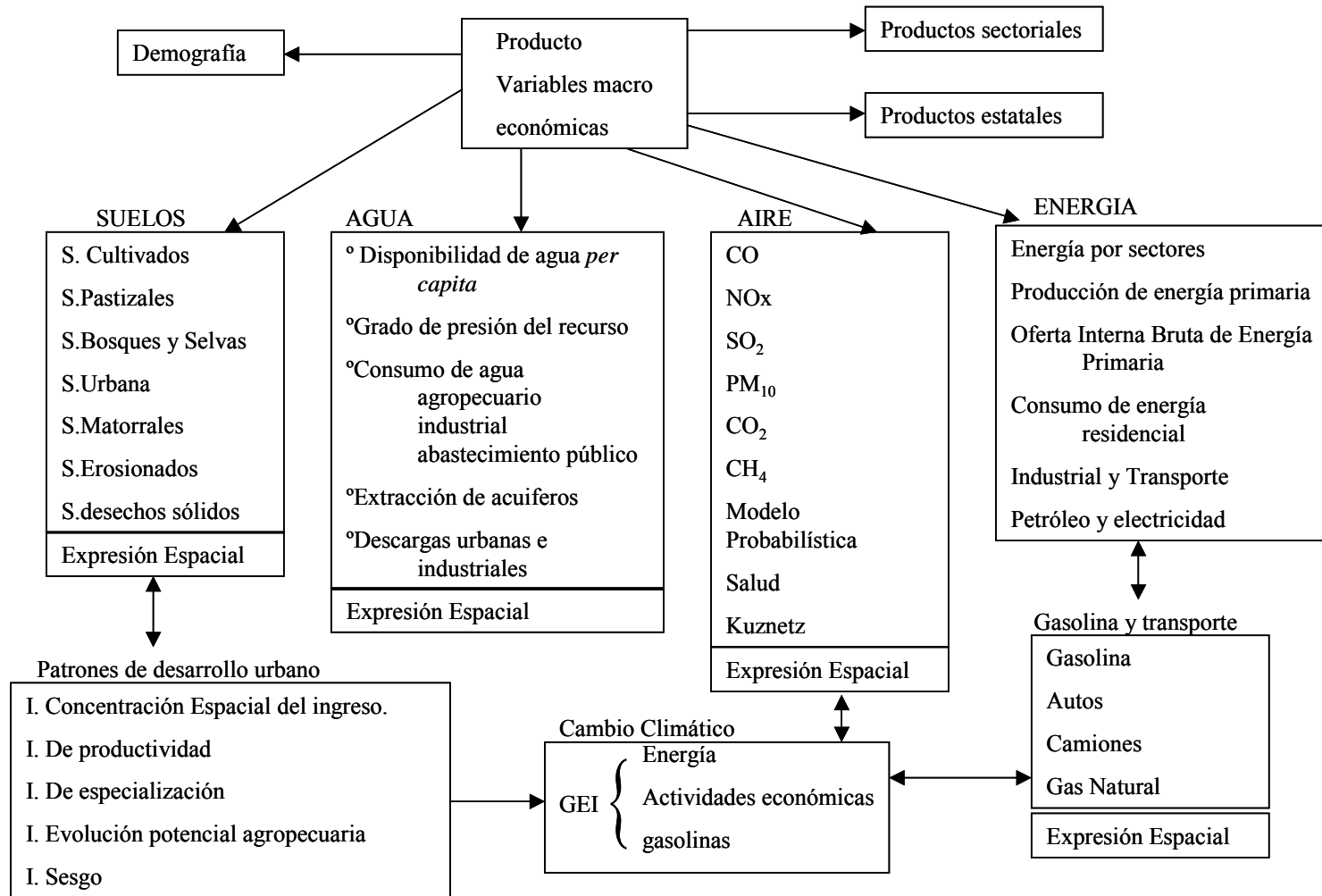


CRECIMIENTO ECONÓMICO Y  
CALIDAD DEL AIRE EN  
MÉXICO: EXISTE UNA CURVA  
DE KUZNETZ AMBIENTAL?

DR. LUIS MIGUEL GALINDO

Figura 1: MAEDER



S = Superficie  
 CO = Monóxido de carbono  
 PM<sub>10</sub> = Partículas menores a 10 micras

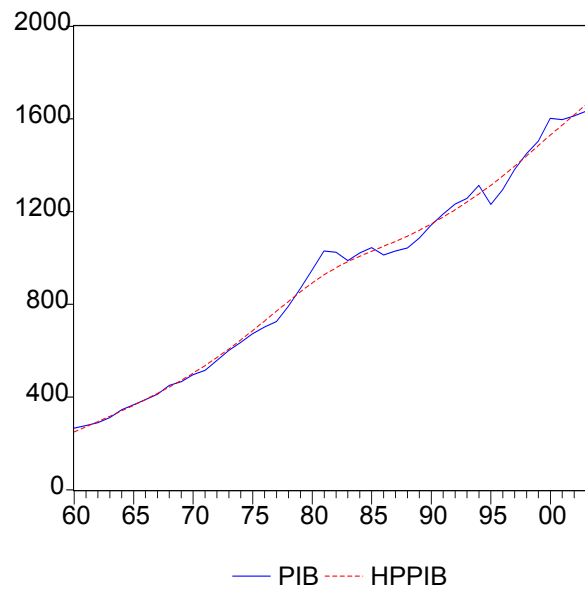
I = Índice  
 NOx = Óxido nitroso  
 CO<sub>2</sub> = Bióxido de carbono

GEI = Gases efecto invernadero  
 SO<sub>2</sub> = Bióxido de azufre  
 CH<sub>4</sub> = metano

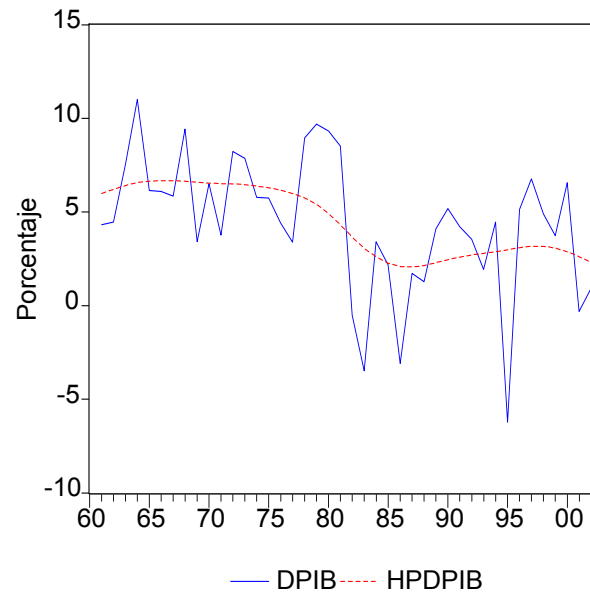
## Características:

- Patrones regulares de comportamiento
- Enfoque pragmático que combina métodos y técnicas
- Incertidumbre importante  $\Rightarrow$  pronósticos de tendencia no puntuales.
- MAEDER como base de la evaluación del marco regulatorio
- Problemas de información

**Gráfica 1.**  
**Producto Interno bruto y filtro Hodrick-Prescott 1960-2003**  
**Miles de millones de pesos a precios de 1993.**



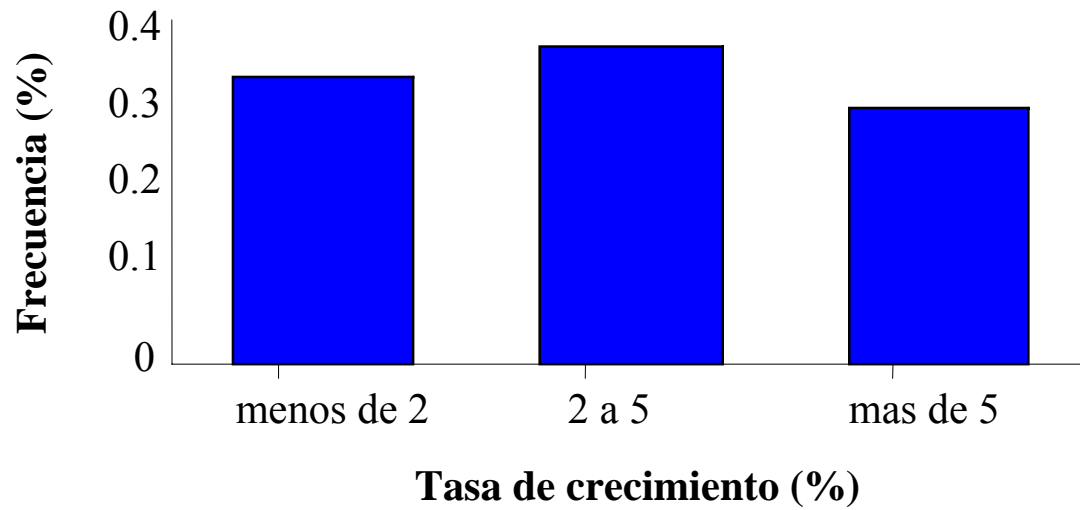
**Gráfica 2.**  
**Tasas de crecimiento del PIB y filtro Hodrick-Prescott 1960-2003.**



Fuente. Elaboración propia con base en información de INEGI

### Gráfica 3.

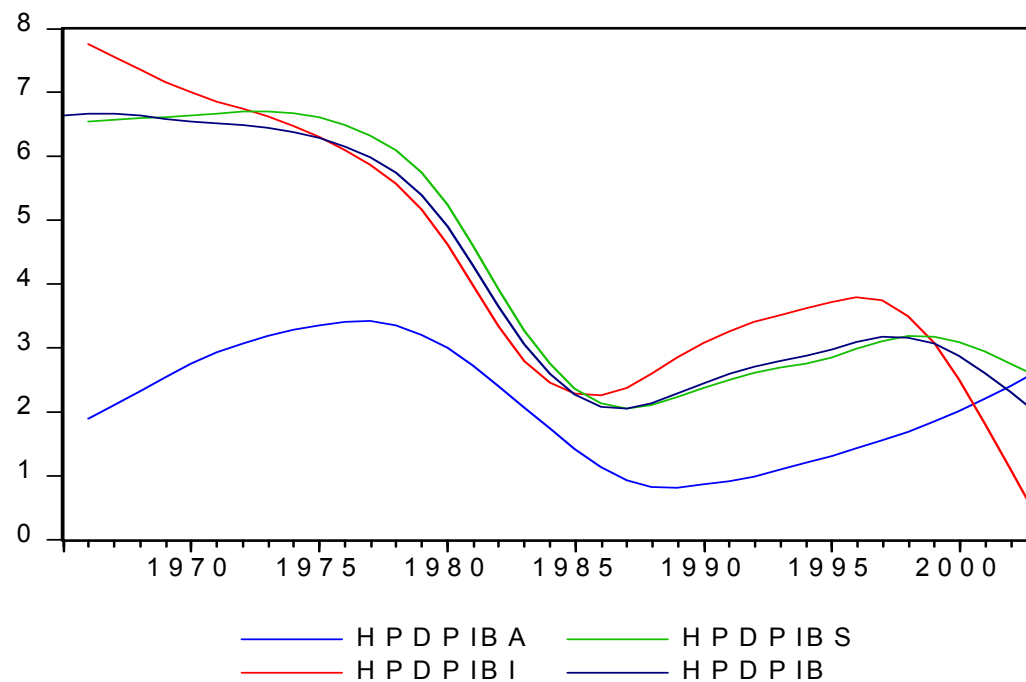
**Distribución trimodal de la tasa de crecimiento anual (%), 1960-2003**



Fuente. Elaboración propia con base en información de INEGI

### Gráfica 4.

**Tasas de crecimiento del PIB por sectores económicos 1965-2003 obtenidas con el filtro Hodrick-Prescott (%).**

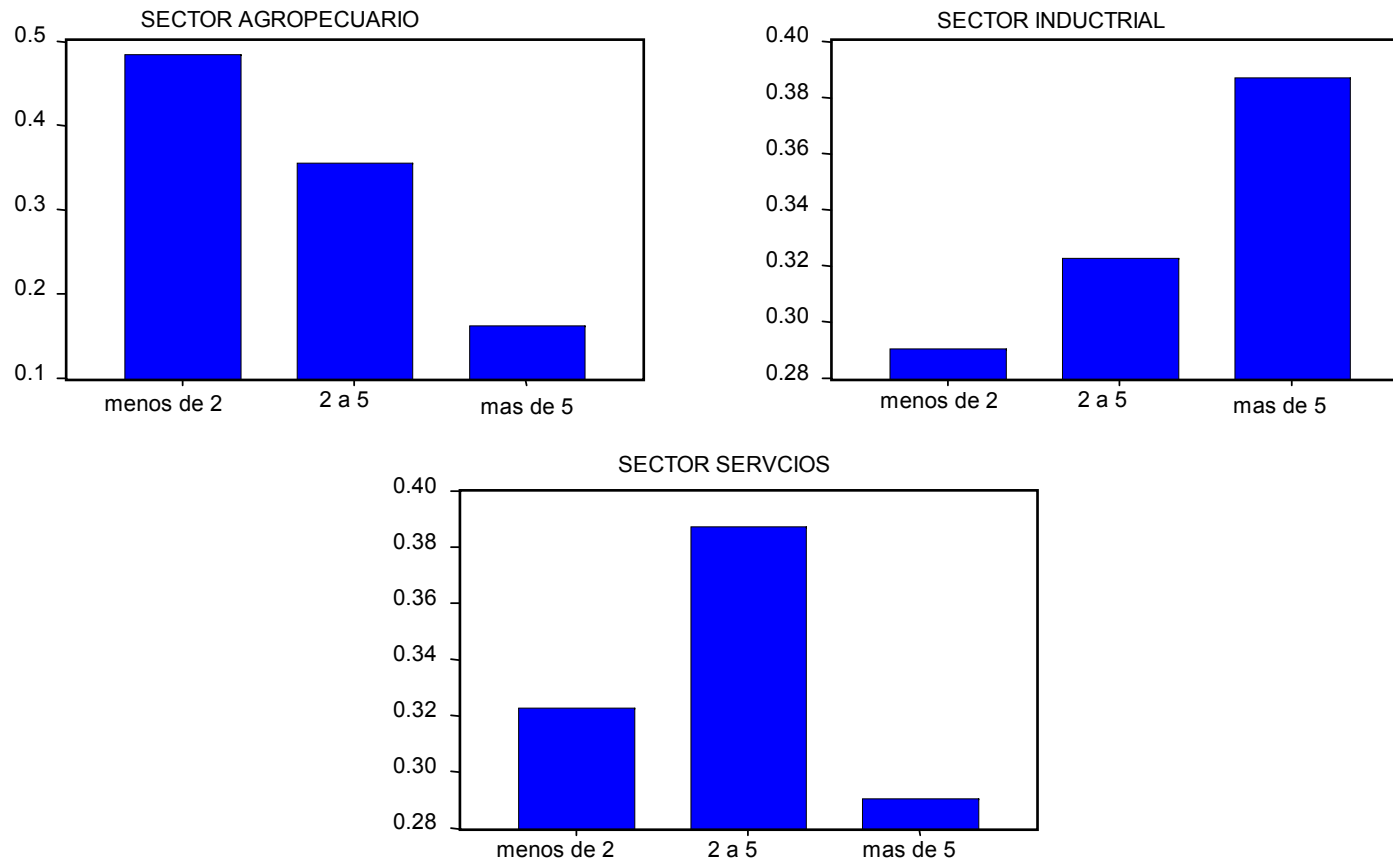


Fuente. Elaboración propia con base en información de INEGI.

Nota. PIBA = PIB agropecuario, PIBI = PIB industrial, PIBS = PIB servicios y PIB = PIB total.

## Gráfica 5.

### Distribución trimodal de la tasa de crecimiento anual (%) de los sectores productivos de la economía, 1973-2003.



Fuente. Elaboración propia con base en información de INEGI.

Nota. PIBA = PIB agropecuario, PIBI = PIB industrial, PIBS = PIB servicios y PIB = PIB total.

## Cuadro 1.

### Valores de equilibrio de largo plazo de la economía mexicana

Año	PIB total	PIB agropecuario	PIB industrial	PIB Servicios
1983	3.05	2.07	2.80	3.27
1984	2.59	1.73	2.46	2.75
1985	2.27	1.42	2.28	2.36
1986	2.08	1.14	2.25	2.13
1987	2.05	0.93	2.38	2.05
1988	2.13	0.82	2.59	2.10
1989	2.28	0.80	2.85	2.23
1990	2.44	0.85	3.07	2.37
1991	2.59	0.92	3.25	2.50
1992	2.70	0.99	3.40	2.60
1993	2.79	1.09	3.52	2.68
1994	2.88	1.19	3.63	2.76
1995	2.97	1.31	3.72	2.85
1996	3.09	1.43	3.80	2.98
1997	3.17	1.55	3.74	3.11
1998	3.17	1.69	3.50	3.18
1999	3.07	1.85	3.08	3.18
2000	2.87	2.01	2.51	3.10
2001	2.60	2.20	1.82	2.94
2002	2.31	2.40	1.11	2.76
2003	2.00	2.62	0.39	2.56
<b>promedio</b>	<b>2.62</b>	<b>1.48</b>	<b>2.77</b>	<b>2.69</b>

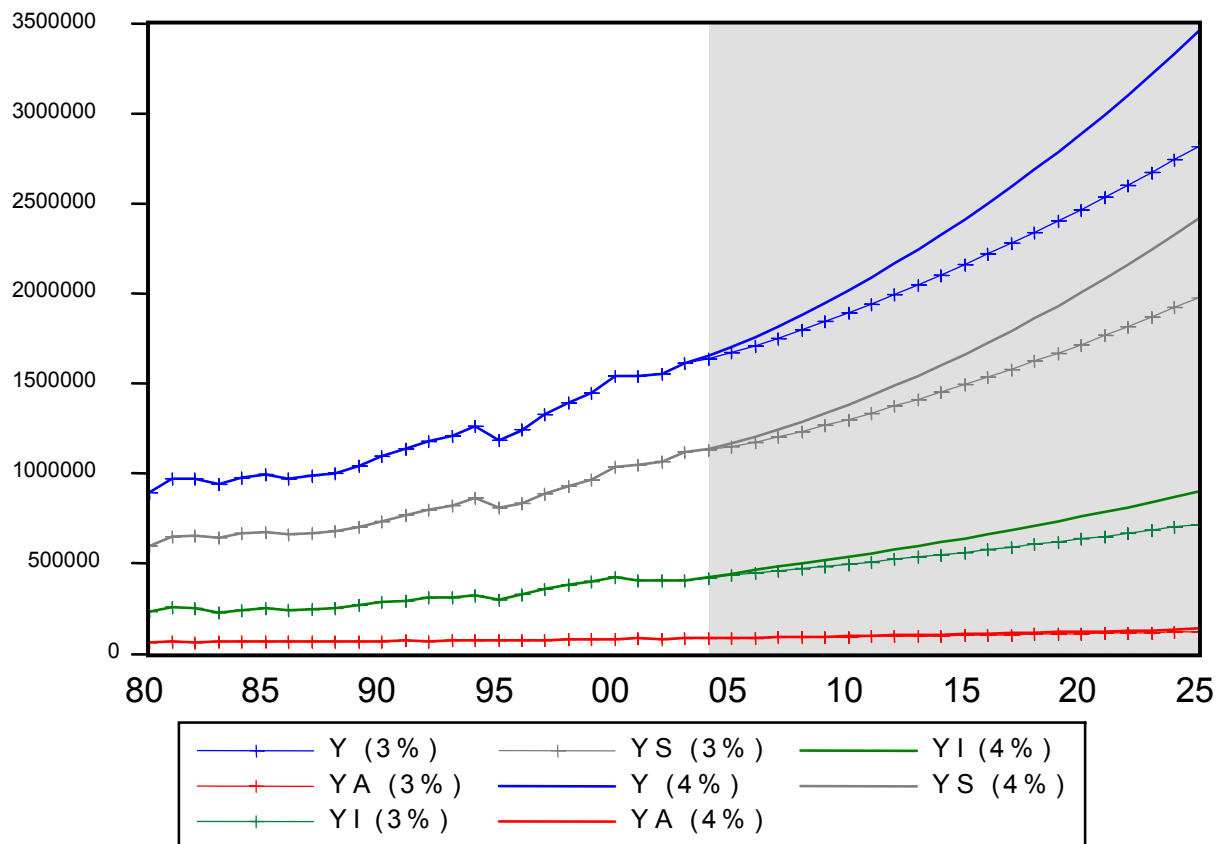
Fuente. Elaboración propia con base en información de INEGI.

**Cuadro 4.**  
**Trayectorias pronosticadas de los PIB sectorial de la economía mexicana 2004-2025**

Años	Escenario 3 por ciento				Escenario 4 por ciento			
	Y	YA	YI	YS	Y	YA	YI	YS
2004	1,638,270.20	86,116.12	420,486.74	1,131,667.32	1,652,245.31	86,301.71	425,740.96	1,140,202.65
2005	1,670,868.60	85,791.61	434,272.10	1,150,804.86	1,700,722.08	86,558.01	445,172.67	1,168,991.41
2006	1,710,523.90	87,844.85	447,561.51	1,175,117.50	1,757,558.27	89,096.03	464,461.45	1,204,000.78
2007	1,752,152.50	89,540.44	459,564.15	1,203,047.94	1,816,628.56	91,180.32	481,823.45	1,243,624.79
2008	1,795,928.70	90,485.79	471,787.48	1,233,655.47	1,879,217.49	92,614.71	499,704.68	1,286,898.10
2009	1,842,493.50	91,906.47	484,235.91	1,266,351.14	1,945,938.29	94,594.01	518,119.88	1,333,224.40
2010	1,891,371.40	93,690.96	496,913.94	1,300,766.55	2,016,251.38	96,925.95	537,084.23	1,382,241.20
2011	1,941,801.80	95,301.77	509,826.22	1,336,673.83	2,089,447.07	99,096.51	556,613.44	1,433,737.13
2012	1,993,788.90	96,875.70	522,977.54	1,373,935.65	2,165,596.94	101,273.22	576,723.69	1,487,600.03
2013	2,047,457.50	98,611.18	536,372.80	1,412,473.49	2,244,855.32	103,639.89	597,431.72	1,543,783.72
2014	2,102,665.40	100,401.09	550,017.04	1,452,247.31	2,327,119.63	106,078.45	618,754.76	1,602,286.42
2015	2,159,332.20	102,174.36	563,915.44	1,493,242.41	2,412,373.54	108,526.09	640,710.64	1,663,136.81
2016	2,217,523.30	103,989.02	578,073.31	1,535,460.95	2,500,747.68	111,045.15	663,317.72	1,726,384.81
2017	2,277,275.40	105,862.95	592,496.10	1,578,916.39	2,592,340.70	113,650.16	686,594.95	1,792,095.58
2018	2,338,585.40	107,766.05	607,189.38	1,623,629.95	2,687,218.05	116,310.54	710,561.89	1,860,345.62
2019	2,401,483.10	109,695.97	622,158.88	1,669,628.24	2,785,485.45	119,026.55	735,238.72	1,931,220.18
2020	2,466,018.70	111,666.47	637,410.46	1,716,941.77	2,887,270.88	121,812.98	760,646.23	2,004,811.67
2021	2,532,230.30	113,676.19	652,950.12	1,765,603.95	2,992,692.88	124,668.40	786,805.89	2,081,218.59
2022	2,600,154.40	115,719.91	668,784.01	1,815,650.49	3,101,873.18	127,588.45	813,739.83	2,160,544.90
2023	2,669,837.40	117,799.97	684,918.43	1,867,118.98	3,214,947.28	130,576.77	841,470.86	2,242,899.65
2024	2,741,327.50	119,919.07	701,359.81	1,920,048.66	3,332,056.23	133,636.89	870,022.52	2,328,396.82
2025	2,814,671.60	122,076.55	718,114.75	1,974,480.26	3,453,343.26	136,768.97	899,419.08	2,417,155.21

**Gráfica 10.**

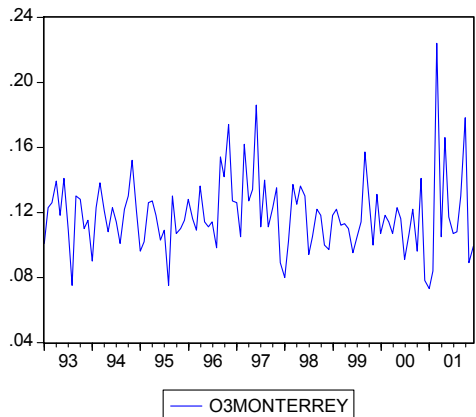
**Trayectorias pronosticadas de los PIB sectorial de la economía mexicana 2004-2025**



## **V. CALIDAD DEL AIRE EN LAS PRINCIPALES ZONAS URBANAS DEL PAIS: PRINCIPALES TENDENCIAS Y EPISODIOS EXTREMOS**

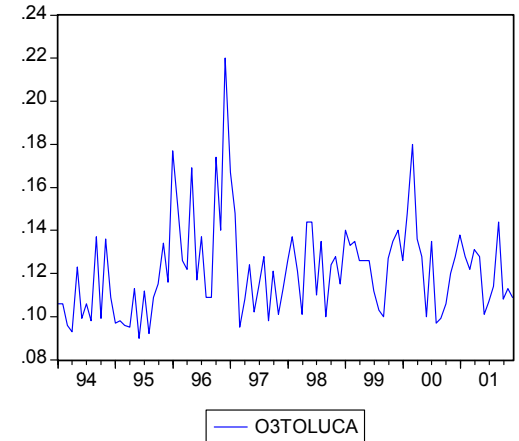
- Modelos probabilístico y determinísticos.
- Importancia del transporte (70 por ciento?).
- Ozono:
  - ⇒ Guadalajara y Ciudad Juárez disminuye aunque con menor ritmo en los últimos años.
  - ⇒ Monterrey, Toluca y Mexicali constantemente con oscilaciones .

**Gráfica 1.**  
**Ozono en la Zona Metropolitana de Monterrey**  
**1993-2001**



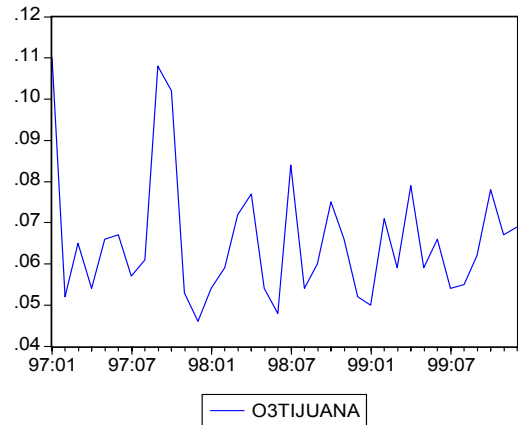
Fuente: Elaboración propia con base en datos del Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT.

**Gráfica 2.**  
**Ozono en Toluca 1994-2001**



Fuente: Elaboración propia con base en datos del Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT.

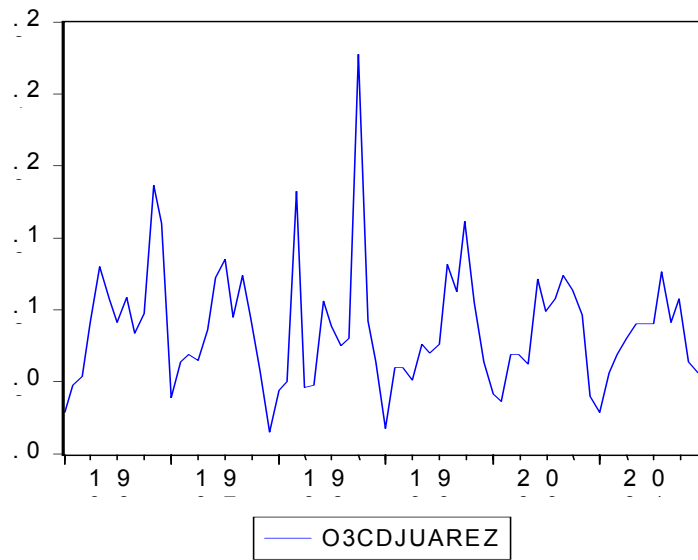
**Gráfica 3.**  
**Ozono en Tijuana 1997-1999.**



Fuente: Elaboración propia con base en datos del Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT.

**Gráfica 4.**

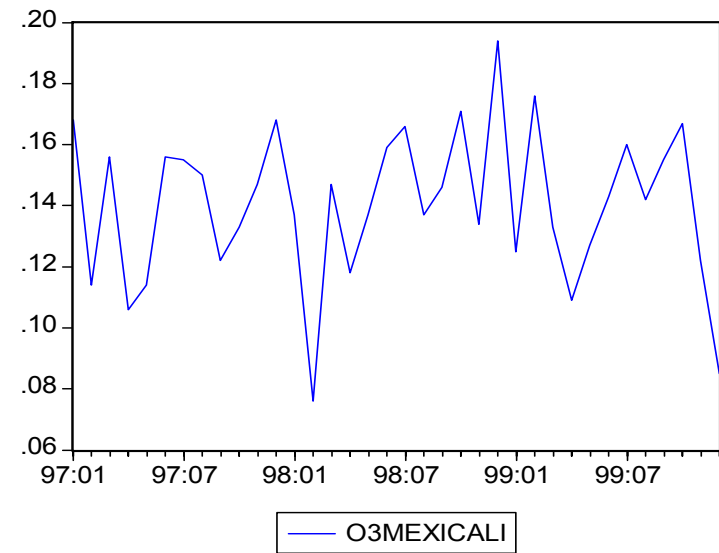
**Ozono en Cd. Juárez 1996-2001**



Fuente: Elaboración propia con base en datos del Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT.

**Gráfica 5.**

**Ozono en Mexicali 1997-1999**

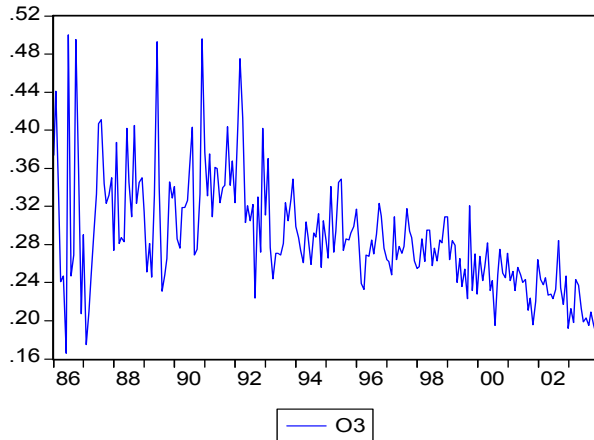


Fuente: Elaboración propia con base en datos del Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT.

# Zona Metropolitana del Valle de México

**Gráfica 6.**

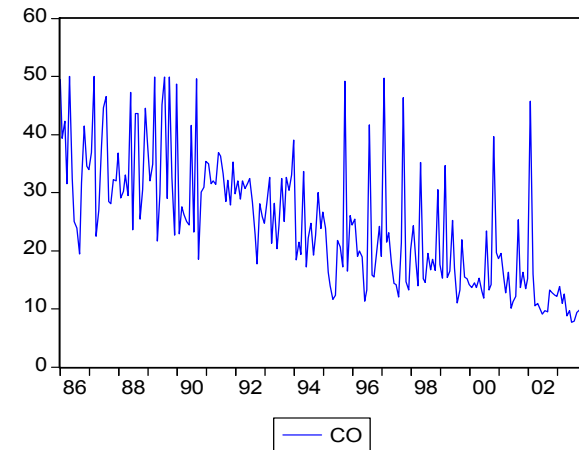
**Ozono en la Zona Metropolitana del Valle de México 1986-2003.**



Fuente: Elaboración propia con base en datos del Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT.

**Gráfica 7.**

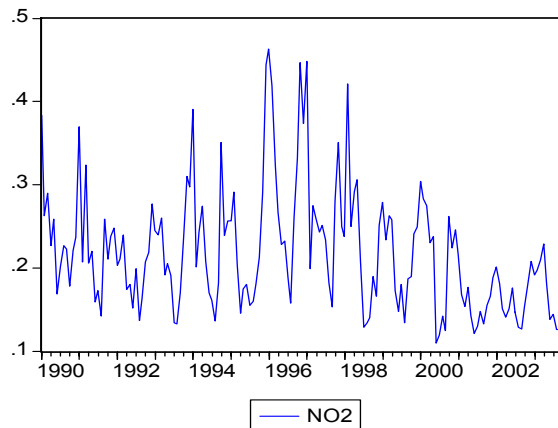
**Emisión de monóxido de carbono en la Zona Metropolitana del Valle de México 1986-2003.**



Fuente: Elaboración propia con base en datos del Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT.

**Gráfica 8.**

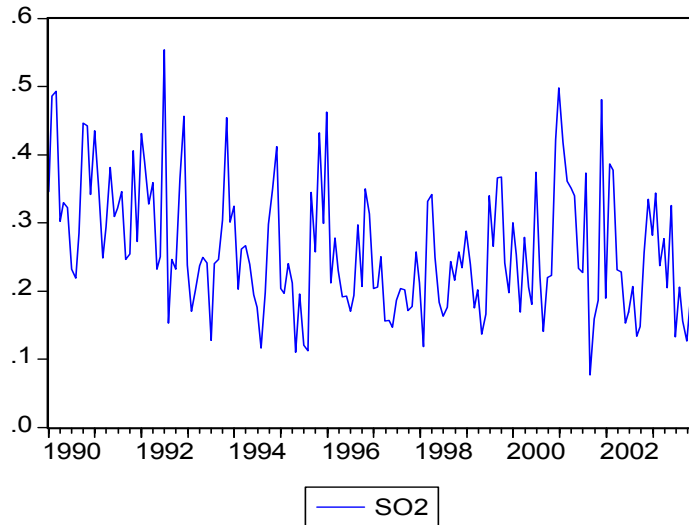
**Emisión de bióxido de nitrógeno de la Ozono en la Zona Metropolitana del Valle de México 1986-2003.**



Fuente: Elaboración propia con base en datos del Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT.

**Grafica 9.**

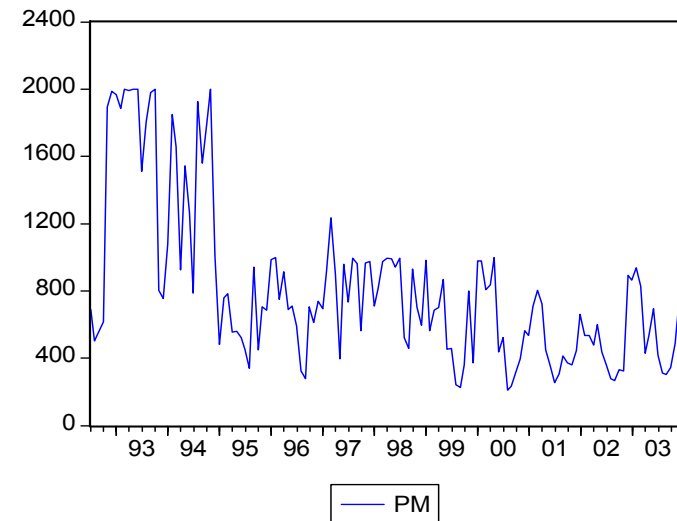
**Emisión de bióxido de azufre en la Zona Metropolitana del Valle de México 1986-2003.**



Fuente: Elaboración propia con base en datos del Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT.

**Gráfica 10.**

**Emisión de partículas suspendidas en la Zona Metropolitana del Valle de México 1992-2003.**



Fuente: Elaboración propia con base en datos del Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT.

Curva U invertida de Kuznetz:

$$(1) em_{1t} = \beta_0 + \beta_1 y_t + \beta_2 y_t^2 + \beta_3 y_t^3 + \beta_4 T + \beta_5 ot_t + u_t$$

$em_{1t}$  = emisiones de contaminantes a la atmósfera.

$y_t$  = ingreso per cápita.

T = tendencia

$U_t$  = término de error.

Crecimiento económico y calidad ambiental:

1.  $\beta_1 > 0$  y  $\beta_2 = \beta_3 = 0$   $\Longrightarrow$  Relación directa

2.  $\beta_1 < 0$  y  $\beta_2 = \beta_3 = 0$   $\Longrightarrow$  Relación inversa

3.  $\beta_1 > 0$ ,  $\beta_2 < 0$  y  $\beta_3 = 0$   $\Longrightarrow$  Relación de U  
invertida con punto de  
inflexión dado por  $(-\beta_1/2\beta_2)$

4.  $\beta_1 > 0$ ,  $\beta_2 < 0$  y  $\beta_3 > 0$   $\Longrightarrow$  Relación de U abierta

## Ozono en Ciudad Juárez

$$(1) \text{ ozcj}_t = -0.395 \cdot \text{ozcj}_{t-2} - 0.035 \cdot \text{ypc}_t^2 - 0.81 \cdot d_{964} - 0.71 \cdot d_{974} - 0.38 \cdot d_{982}$$

(-2.80)            (-9.89)            (-5.03)            (-4.53)            (-2.05)

$R^2 = 0.75$

LM(4): 1.99 (0.15)

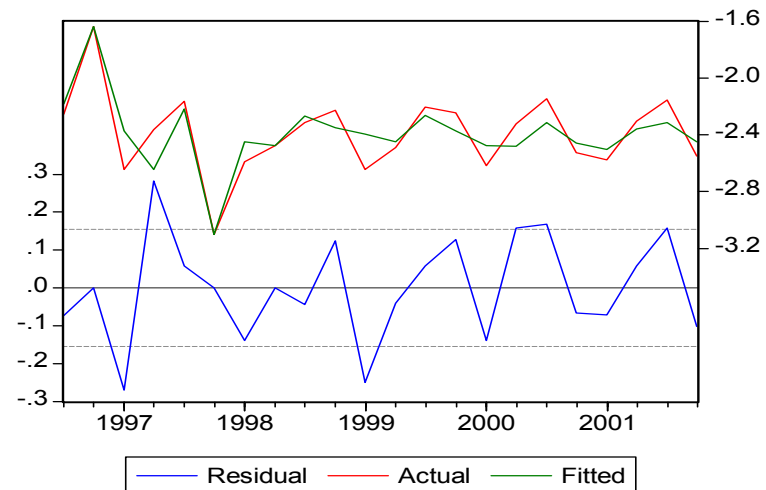
ARCH(4): 0.77 (0.56)

JB: 0.16 (0.92)

Error cuadrático medio: 0.13

Gráfica 11.

Valores reales y proyectados de ozono en Ciudad Juárez



## Ozono en Mexicali

$$(2) \quad \text{ozme}_t = 0.66 \cdot \text{ozme}_{t-1} + 0.74 \cdot \text{ypc}_{t-1} - 0.085 \cdot \text{ypc}_{t-1}^2 - 0.23 \cdot d_{972} + 0.20 \cdot d_{982} - 0.41 \cdot d_{983}$$

(4.35)      (2.28)      (-2.62)      (-3.10)      (2.66)      (-5.67)

$$R^2 = 0.92$$

$$\text{LM}(4): 0.19 (0.91)$$

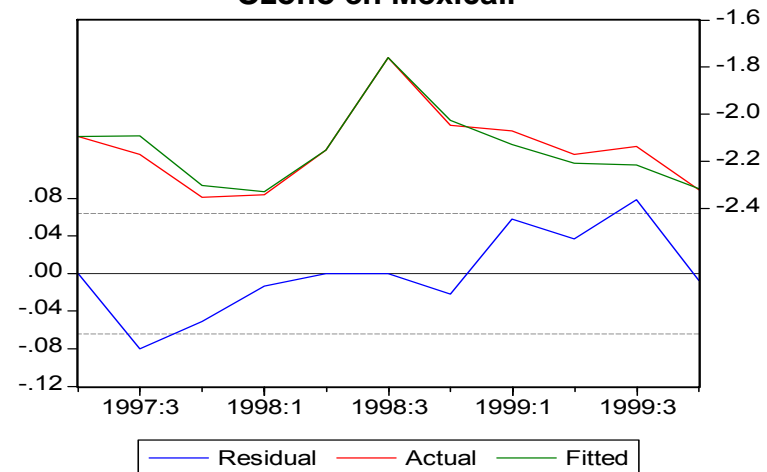
$$\text{ARCH}(4): 3.37 (0.24)$$

$$\text{JB}: 0.09 (0.95)$$

Error cuadrático medio: 0.043

Gráfica 12.

Valores reales y proyectados de Ozono en Mexicali



## Ozono en Monterrey

$$(3) \quad \text{ozmo}_t = 0.51 * \text{ozmo}_{t-1} - 1.4 * \text{ypc}_{t-1} + 0.27 * \text{ypc}_t^2 - 0.01 * \text{ypc}_t^3 - 3 * d_{991} + 0.28 * d_{993}$$

(3.76)      (-3.17)      (2.52)      (-2.17)      (-2.21)      (2.66)

$R^2 = 0.54$

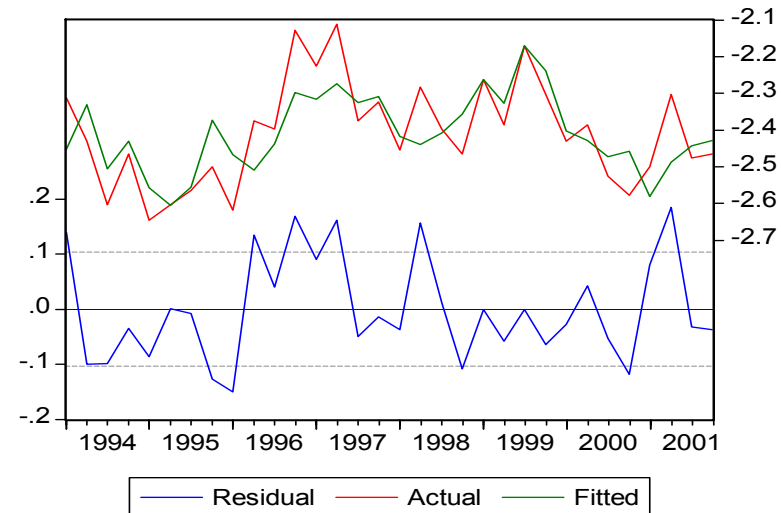
LM(4): 0.38 (0.81)

ARCH(4): 0.52 (0.72)

JB: 2.20 (0.33)

Error cuadrático medio: 0.093

**Gráfica 13.**  
**Valores reales y proyectados de ozono en Monterrey**



## Ozono en Tijuana

$$(4) \quad \text{ozti}_t = -0.40 \cdot \text{ozti}_{t-4} - 2.41 \cdot \text{ypc}_t + 0.21 \cdot \text{ypc}_t^2 - 0.29 \cdot d983$$

(-2.68)            (-4.80)            (4.06)            (-7.12)

$$R^2 = 0.92$$

$$\text{LM}(4): 8.00 (0.09)$$

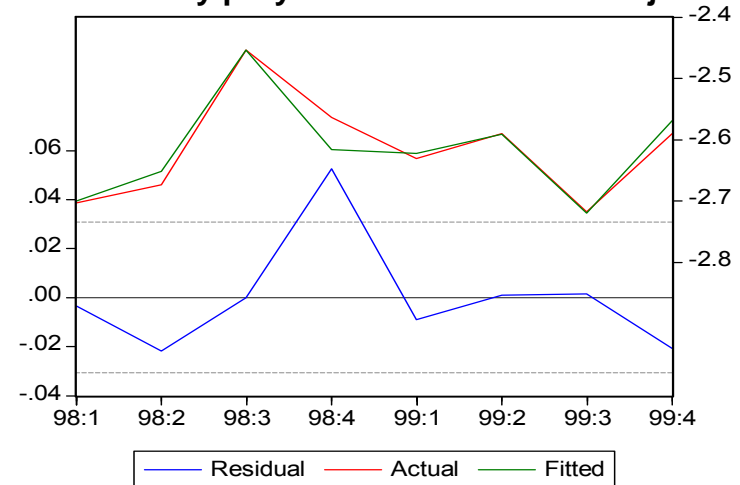
$$\text{ARCH}(3): 0.24 (0.86)$$

$$\text{JB}: 3.92 (0.14)$$

Error cuadrático medio: 0.021

Gráfica 14.

Valores reales y proyectados de ozono en Tijuana



## Ozono en Toluca

$$(5) \quad \text{ozto}_t = -0.37 \cdot \text{ozto}_{t-2} - 0.74 \cdot \text{ypc}_t + 0.04 \cdot \text{ypc}_t^2 - 0.39 \cdot d964 - 0.31 \cdot d012$$

(-2.56)      (-2.95)      (1.74)      (-4.28)      (-4.40)

$$R^2 = 0.59$$

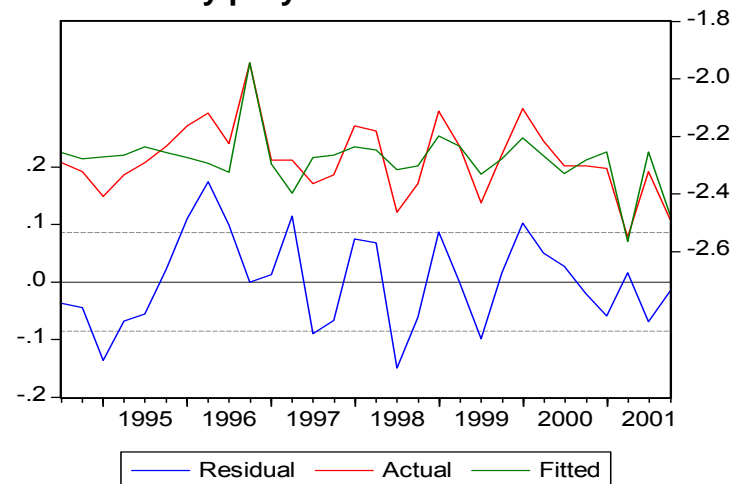
$$\text{LM}(4): 2.55 (0.06)$$

$$\text{ARCH}(4): 1.76 (0.17)$$

$$\text{JB}: 0.67 (0.71)$$

$$\text{Error cuadrático medio: } 0.078$$

**Gráfica 15.**  
**Valores reales y proyectados de ozono en Toluca**



## Ozono en la Zona Metropolitana del Valle de México

$$(6) \quad \text{ozvm}_t = 0.43 \cdot \text{ozvm}_{t-1} + 0.21 \cdot \text{ozvm}_{t-2} + 0.58 \cdot \text{ypc}_t - 0.06 \cdot \text{ypc}_t^2 - 0.43 \cdot \text{d871}$$

(4.39)                      (2.17)                      (2.94)                      (-3.05)                      (-4.17)

$R^2 = 0.63$

LM(4): 2.13 (0.08)

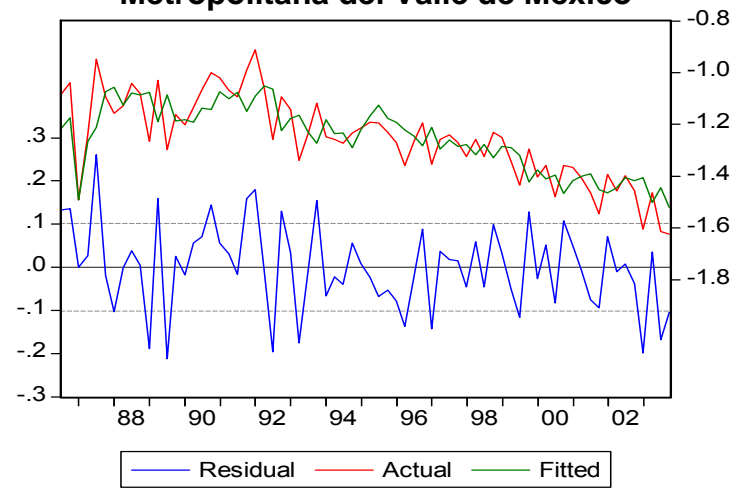
ARCH(4): 0.25 (0.90)

JB: 0.02 (0.98)

Error cuadrático medio: 0.098

Gráfica 16.

Valores reales y proyectados de ozono en la Zona Metropolitana del Valle de México



## Emisión de Monóxido de Carbono (CO) en la Zona Metropolitana del Valle de México

$$(7) \text{ covm}_t = 0.54 * \text{covm}_{t-1} + 2.26 * \text{ypc}_t - 0.22 * \text{ypc}_t^2 - 0.75 * \text{d952}$$

(5.99)                      (4.22)                      (-4.09)                      (-3.14)

$$R^2 = 0.67$$

$$\text{LM}(4): 2.00 (0.10)$$

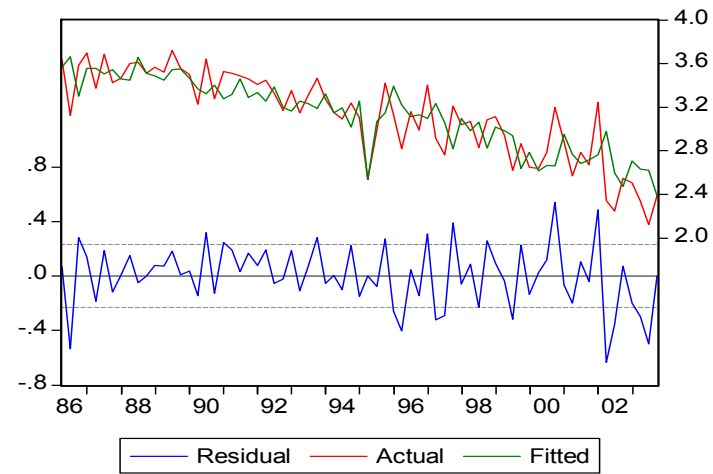
$$\text{ARCH}(4): 1.64 (0.17)$$

$$\text{JB}: 1.50 (0.47)$$

$$\text{Error cuadrático medio: } 0.22$$

Gráfica 17.

Valores reales y proyectados de Monóxido de Carbono en la Zona Metropolitana del Valle de México



## Emisión de Bióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>) en la Zona Metropolitana del Valle de México

$$(8) \text{ no2vm}_t = 0.68 \cdot \text{no2vm}_{t-4} + 0.54 \cdot \text{ypc}_t - 0.06 \cdot \text{ypc}^2 - 2.74 \cdot \text{d893} - 1.86 \cdot \text{d903}$$

(9.00)            (1.69)            (-1.86)            (-14.73)            (-6.79)

$R^2 = 0.82$

LM(4): 0.35 (0.83)

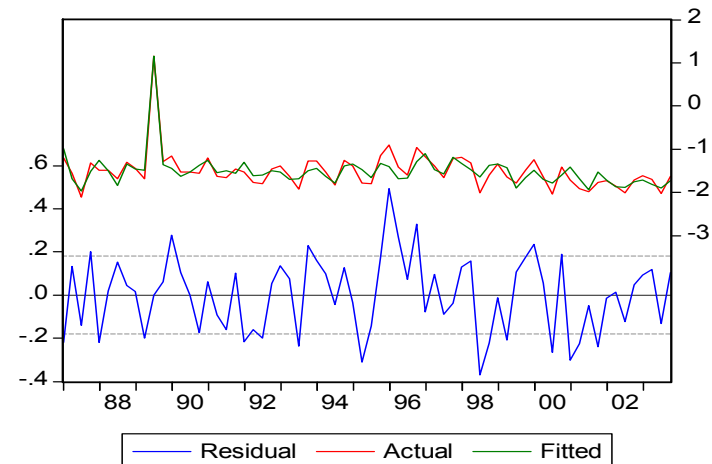
ARCH(4): 3.15 (0.02)

JB: 0.40 (0.81)

Error cuadrático medio: 0.17

Gráfica 18.

Valores reales y proyectados de Bióxido de Nitrógeno en la Zona Metropolitana del Valle de México



## Emisión de Bióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>) en la Zona Metropolitana del Valle de México

$$(9) \quad \text{so2vm}_t = 0.56 \cdot \text{so2vm}_{t-4} + 0.86 \cdot \text{ypc}_t - 0.09 \cdot \text{ypc}_t^2 - 1.26 \cdot \text{d893} - 0.88 \cdot \text{d011}$$

(6.45)            (1.91)            (-2.04)            (-5.10)            (-4.76)

R<sup>2</sup> = 0.64

LM(4): 1.60 (0.18)

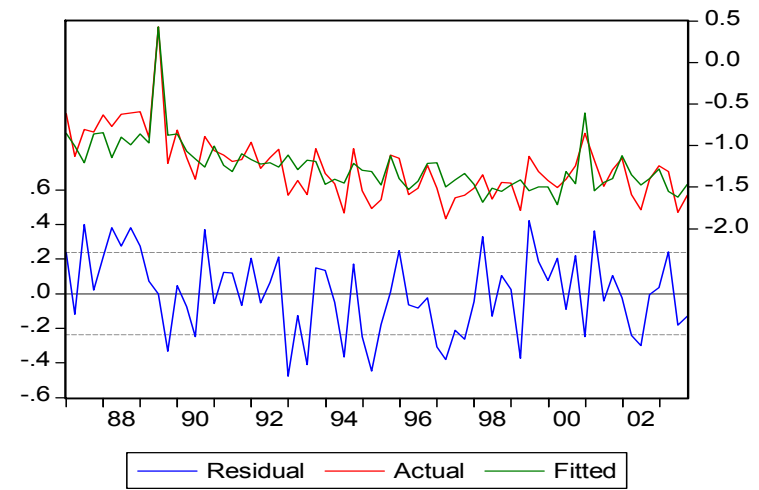
ARCH(4): 0.37 (0.82)

JB: 1.86 (0.39)

Error cuadrático medio: 0.22

Gráfica 19.

Valores reales y proyectados de Bióxido de Azufre en la Zona Metropolitana del Valle de México



## Emisión de Partículas (PM10) en la Zona Metropolitana del Valle de México

$$(10) \quad \text{pmvm}_t = 0.71 \cdot \text{pmvm}_{t-1} - 0.36 \cdot \text{pmvm}_{t-2} + 0.47 \cdot \text{pmvm}_{t-3} + 1.99 \cdot \text{ypc}_t - 1.87 \cdot \text{ypc}_{t-3} \\ - 0.73 \cdot \text{d993} - 0.56 \cdot \text{d003}$$

(6.29)                      (-2.54)                      (4.25)                      (2.71)                      (-2.53)

(-2.76)                      (-2.04)

$$R^2 = 0.74$$

$$\text{LM}(4): 2.33 (0.07)$$

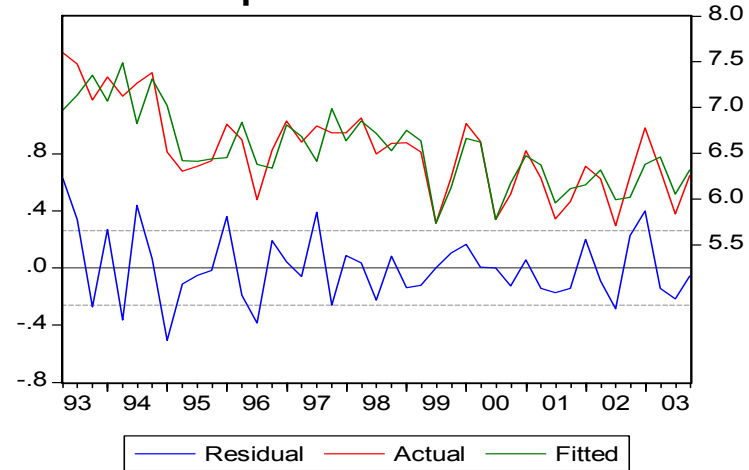
$$\text{ARCH}(4): 1.74 (0.16)$$

$$\text{JB}: 1.21 (0.54)$$

$$\text{Error cuadrático medio: } 0.23$$

**Gráfica 20.**

**Valores reales y proyectados de Partículas (PM10) en la Zona Metropolitana del Valle de México**



Resultados econométricos:

- Coeficientes de determinación: 0.54-0.97.

- Curva invertida de Kuznetz:

Ciudad Juárez, Mexicali y ZMVM

- Curva U:

Tijuana y Toluca .

## Cuadro 1

### Puntos de inflexión de los contaminantes de acuerdo al PIB *per cápita* con un crecimiento de 3 y 4 por ciento.

Ciudad	Año	PIB per capita ( $\Delta$ 3% para el PIB)	PIB per capita ( $\Delta$ 4% para el PIB)	Emisiones de ozono
Zona Metropolitana del Valle de México	2004	16,573		166 punto IMECA
Zona Metropolitana del Valle de México	2004		16,806	166 puntos IMECA
Ciudad Juárez	2003	16,226		0.102 (partes por millón)
Ciudad Juárez	2003		16,339	0.102 (partes por millón)
Mexicali	2003	16,226		0.100 (partes por millón)
Mexicali	2003		16,339	0.100 (partes por millón)
Monterrey	2002	15,885		0.102 (partes por millón)
Monterrey	2002		15,885	0.102 (partes por millón)

- Ritmos demasiado intensos ?

# MODELO PROBABILÍSTICO DE LA CALIDA DEL AIRE EN LA ZMVM

**Cuadro 2.**

**Simulaciones del índice IMECA en la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2025.**

**Número de días por arriba de cierto límite**

<b>Año</b>	<b>Promedio</b>	<b>Desviación Estándar</b>	<b>Días con IMECA (ozono) mayores a 100</b>	<b>Días con IMECA (ozono) mayores a 200</b>	<b>Días con IMECA (ozono) mayores a 220</b>	<b>Días con IMECA (ozono) mayores a 240</b>
2002	154	39.38	334	46	18	5
2003	157	39.95	336	51	21	7
2004	154	39.33	334	45	17	5
2005	150	38.28	330	35	13	3
2006	146	37.20	325	27	9	2
2007	143	36.40	321	21	6	1
2008	140	35.82	318	18	5	1
2009	138	35.13	313	14	4	1
2010	134	34.24	307	10	2	0
2011	131	33.37	300	7	1	0
2012	128	32.57	293	5	1	0
2013	125	31.81	287	3	1	0
2014	122	31.17	278	2	0	0
2015	120	30.68	272	2	0	0
2016	119	30.24	266	1	0	0
2017	116	29.69	259	1	0	0
2018	114	29.00	248	1	0	0
2019	111	28.26	237	0	0	0
2020	108	27.56	224	0	0	0
2021	106	26.92	213	0	0	0
2022	103	26.30	200	0	0	0
2023	101	25.87	191	0	0	0
2024	101	25.66	185	0	0	0
2025	100	25.53	183	0	0	0

Notas: Suponiendo una distribución normal.

### Cuadro 3.

#### Simulaciones del ozono en Ciudad Juárez 2002-2025. Número de días por arriba de cierto límite (unidad de medida del ozono partes por millón)

Año	Promedio	Desviación Estándar	Días con ozono mayores a 0.05	Días con ozono mayores a 0.100	Días con ozono mayores a 0.12
2002	0.091	0.034	324	146	74
2003	0.092	0.034	324	149	76
2004	0.089	0.033	322	137	65
2005	0.088	0.033	319	130	60
2006	0.088	0.033	320	131	62
2007	0.089	0.033	321	134	62
2008	0.090	0.034	322	139	68
2009	0.089	0.033	321	134	63
2010	0.087	0.032	318	124	55
2011	0.085	0.032	315	117	50
2012	0.084	0.031	313	109	44
2013	0.082	0.031	311	103	39
2014	0.083	0.031	312	106	43
2015	0.084	0.031	314	111	46
2016	0.084	0.031	315	113	46
2017	0.083	0.031	312	106	42
2018	0.081	0.030	310	99	37
2019	0.082	0.031	311	101	39
2020	0.082	0.031	311	100	39
2021	0.081	0.030	308	95	35
2022	0.080	0.030	307	91	32
2023	0.080	0.030	307	91	32
2024	0.080	0.030	307	92	33
2025	0.080	0.030	307	91	32

Notas: Suponiendo una distribución normal.

#### Cuadro 4.

Simulaciones del ozono en Mexicali 2002-2025. Número de días por arriba de cierto límite.

(Unidad de medida del ozono partes por millón).

Año	Promedio	Desviación Estándar	Días con ozono mayores a 0.05	Días con ozono mayores a 0.10	Días con ozono mayores a 0.12
2002	0.086	0.025	337	106	33
2003	0.089	0.026	340	123	43
2004	0.087	0.026	338	113	37
2005	0.085	0.025	336	103	31
2006	0.076	0.022	319	50	9
2007	0.070	0.021	304	27	3
2008	0.071	0.021	308	31	4
2009	0.073	0.022	313	39	5
2010	0.077	0.023	323	59	11
2011	0.072	0.021	309	33	4
2012	0.064	0.019	280	10	1
2013	0.057	0.017	243	2	0
2014	0.052	0.015	201	0	0
2015	0.048	0.014	151	0	0
2016	0.051	0.015	191	0	0
2017	0.054	0.016	216	0	0
2018	0.054	0.016	219	0	0
2019	0.050	0.015	181	0	0
2020	0.046	0.014	139	0	0
2021	0.047	0.014	154	0	0
2022	0.046	0.014	141	0	0
2023	0.043	0.013	105	0	0
2024	0.041	0.012	83	0	0
2025	0.041	0.012	82	0	0

Notas: Suponiendo una distribución normal.

### Cuadro 5.

Simulaciones del ozono en Monterrey 2002-2025. Número de días por arriba de cierto límite.

(Unidad de medida del ozono partes por millón).

Año	Promedio	Desviación Estándar	Días con ozono mayores a 0.05	Días con ozono mayores a 0.10	Días con ozono mayores a 0.12
2002	0.083	0.025	336	83	20
2003	0.084	0.026	338	93	24
2004	0.086	0.026	340	101	28
2005	0.083	0.025	337	86	21
2006	0.080	0.022	332	70	14
2007	0.081	0.021	333	72	15
2008	0.080	0.021	332	69	14
2009	0.084	0.022	337	88	22
2010	0.083	0.023	336	84	20
2011	0.080	0.021	332	71	15
2012	0.079	0.019	329	61	11
2013	0.077	0.017	326	52	9
2014	0.074	0.015	319	37	5
2015	0.075	0.014	321	42	6
2016	0.076	0.015	324	49	8
2017	0.078	0.016	327	55	9
2018	0.076	0.016	324	50	8
2019	0.073	0.015	316	34	4
2020	0.074	0.014	320	41	5
2021	0.075	0.014	321	41	6
2022	0.073	0.014	317	35	4
2023	0.072	0.013	313	29	3
2024	0.072	0.012	313	28	3
2025	0.072	0.012	314	30	3

Notas: Suponiendo una distribución normal.

### Cuadro 6.

Simulaciones del ozono en Toluca 2002-2025. Número de días por arriba de cierto límite.

(Unidad de medida del ozono partes por millón).

Año	Promedio	Desviación Estándar	Días con ozono mayores a 0.05	Días con ozono mayores a 0.10	Días con ozono mayores a 0.12
2002	0.105	0.0223	363	216	92
2003	0.104	0.0220	362	206	83
2004	0.104	0.0220	362	207	85
2005	0.104	0.0221	362	209	86
2006	0.104	0.0221	362	209	85
2007	0.104	0.0220	362	209	85
2008	0.104	0.0220	362	207	84
2009	0.104	0.0220	362	209	85
2010	0.104	0.0221	362	210	87
2011	0.105	0.0222	362	213	89
2012	0.105	0.0223	363	214	92
2013	0.105	0.0223	363	217	93
2014	0.105	0.0223	363	216	92
2015	0.105	0.0222	363	214	91
2016	0.105	0.0222	362	214	91
2017	0.105	0.0223	363	216	92
2018	0.105	0.0224	363	217	94
2019	0.105	0.0223	363	217	93
2020	0.105	0.0223	363	217	93
2021	0.106	0.0224	363	219	95
2022	0.106	0.0224	363	220	96
2023	0.106	0.0224	363	220	96
2024	0.106	0.0224	363	220	96
2025	0.106	0.0224	363	220	96

Notas: Suponiendo una distribución normal

### Cuadro 7.

**Simulaciones del ozono en Tijuana 2002-2025. Número de días por arriba de cierto límite.  
(Unidad de medida del ozono partes por millón).**

<b>Año</b>	<b>Promedio</b>	<b>Desviación Estándar</b>	<b>Días con ozono mayores a 0.05</b>	<b>Días con ozono mayores a 0.10</b>	<b>Días con ozono mayores a 0.12</b>
2002	0.074	0.015	344	15	0
2003	0.073	0.015	342	13	0
2004	0.076	0.015	347	21	1
2005	0.073	0.015	343	14	0
2006	0.077	0.016	349	27	1
2007	0.080	0.016	353	41	3
2008	0.079	0.016	352	34	2
2009	0.078	0.016	351	31	1
2010	0.075	0.015	346	18	1
2011	0.078	0.016	351	31	2
2012	0.083	0.017	356	59	6
2013	0.087	0.018	358	84	11
2014	0.091	0.019	360	113	21
2015	0.095	0.019	361	145	36
2016	0.091	0.019	360	118	23
2017	0.089	0.018	359	96	15
2018	0.088	0.018	359	94	14
2019	0.092	0.019	360	123	25
2020	0.097	0.020	362	161	45
2021	0.094	0.019	361	139	33
2022	0.095	0.019	361	145	36
2023	0.099	0.020	362	175	54
2024	0.101	0.021	363	191	66
2025	0.101	0.021	363	188	64

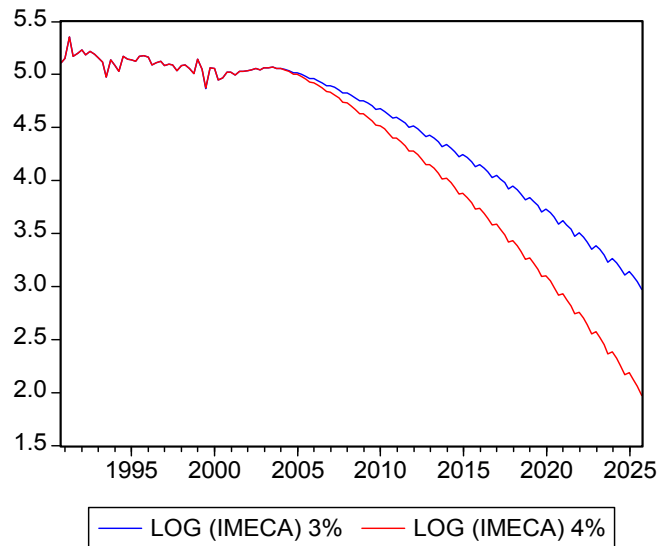
Notas: Suponiendo una distribución normal

## CONCLUSIONES Y COMENTARIOS GENERALES

1. El índice de contaminación del aire se puede representar como un proceso estocástico que puede descomponerse en un componente sistemático y otro aleatorio. (simular el 60 por ciento).
2. La políticas de calidad del aire debe buscar desplazar a la izquierda la media de la distribución.
3. Hacer juicios extremos sobre los episodios probabilísticos . Proyecciones:

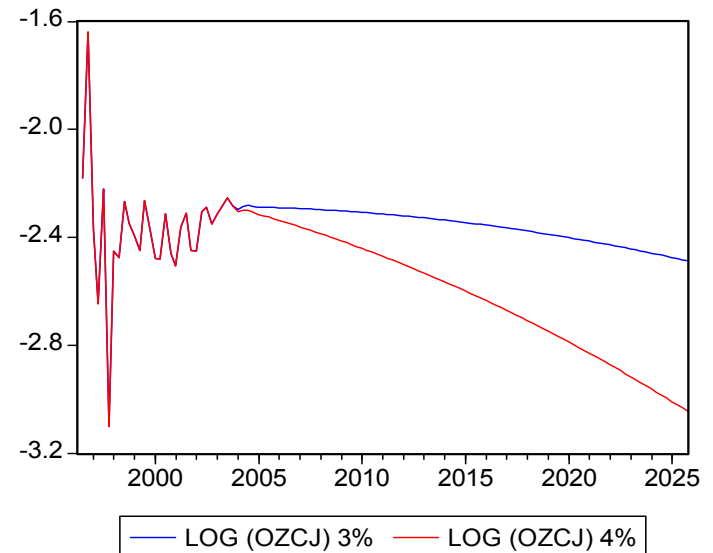
**Gráfica 21.**

**Punto de inflexión del Índice IMECA de la Zona Metropolitana del Valle de México, con crecimiento del PIB de 3 y 4 por ciento para los años pronosticados. Series en logaritmos.**



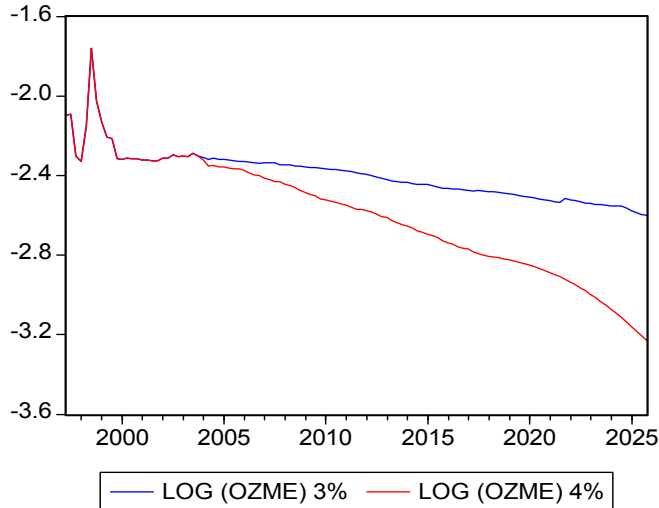
**Gráfica 22.**

**Punto de inflexión de las emisiones del Ozono de Ciudad Juárez, con crecimiento del PIB de 3 y 4 por ciento para los años pronosticados. Series en logaritmos.**



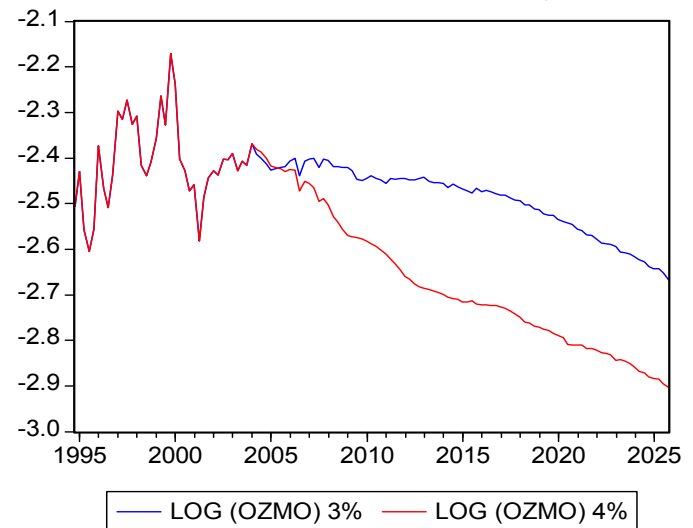
**Gráfica 23.**

**Punto de inflexión de las emisiones del Ozono de Mexicali, con crecimiento del PIB de 3 y 4 por ciento para los años pronosticados. Series en logaritmos.**



**Gráfica 24.**

**Punto de inflexión de las emisiones del Ozono de Monterrey, con crecimiento del PIB de 3 y 4 por ciento para los años pronosticados. Series en logaritmos.**



4. ZMVM, Ciudad Juárez, Mexicali, y Monterrey presenta disminuciones heterogeneas, Toluca y Tijuana muestra tendencia alzista.

# EL MEDIO AMBIENTE Y EL CRECIMIENTO ECONÓMICO EN EL CONTEXTO DE LA PLANEACIÓN AMBIENTAL Y LA REGULACIÓN AMBIENTAL EN MÉXICO.

- Crecimiento económico y medio ambiente.
- Curva de Kuznets invertida

Efecto de escala

Efecto de composición

Efecto tecnológico

Curva invertida:

$$(1) E_{it} = \phi y_t + u_t$$

$$(2) \phi_1 = \phi_2 + \phi_3 y_t$$

$$(3) E_{it} = (\phi_2 + \phi_3 y_t) y_t + u_t = \phi_2 y_t + \phi_3 y_t^2 + u_t$$

Donde:

$E_{it}$  = Emisiones

$y_t$  = Producto

$u_t$  = Término de error

$$(4) \quad EM_{it} = \beta_0 + \beta_1 y_t + \beta_2 y_t^2 + \beta_3 y_t^3 + \beta_4 T + \beta_5 ot + u_t$$

Donde:

$EM_{it}$  = Emisiones

$y_t$  = Producto

$T$  = Tendencia

$ot$  = Otras variables

$u_t$  = Término de error

## Casos:

1.  $\beta_1 > 0$  y  $\beta_2 = \beta_3 = 0 \Rightarrow$  Relación directa

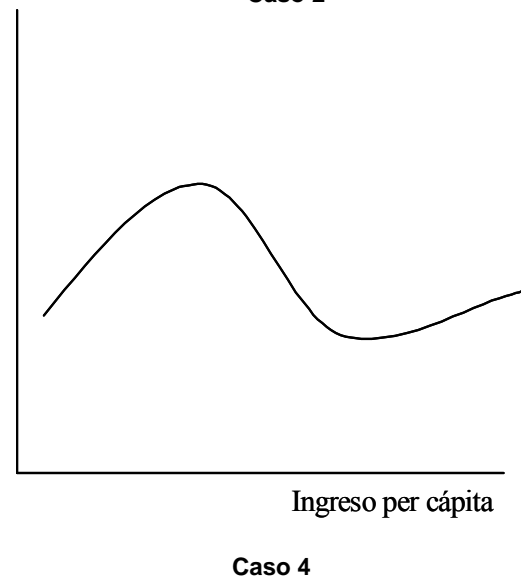
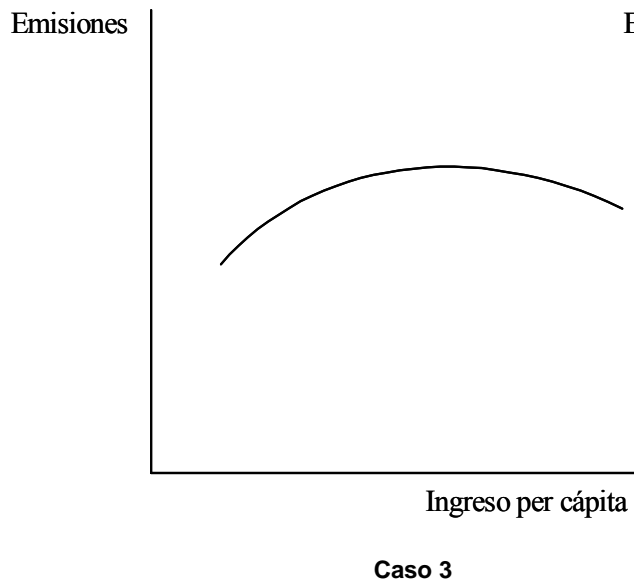
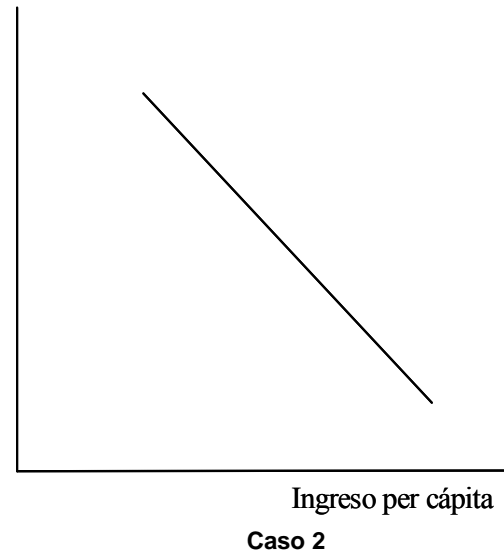
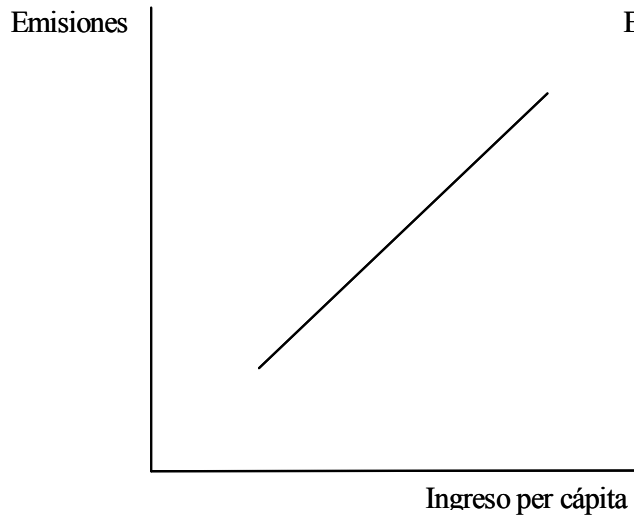
2.  $\beta_1 < 0$  y  $\beta_2 = \beta_3 = 0 \Rightarrow$  Relación lineal e inversa

3.  $\beta_1 > 0$ ,  $\beta_2 < 0$  y  $\beta_3 = 0 \Rightarrow$  Relación como U invertida  
Punto de Inflexión:  $(-\beta_1 / 2 \beta_2)$

4.  $\beta_1 > 0$ ,  $\beta_2 < 0$  y  $\beta_3 > 0 \Rightarrow$  Relación como N abierta

# Gráfica 1.

## Formas de la relación entre medio ambiente y crecimiento económico.



## Cuadro 1.

### Evidencia Empírica Internacional de los puntos de inflexión de los principales contaminantes.

Autor	Contaminante	Punto de Inflexión PIB per capita \$(US) (año)	País
<b>Selden y Song (1994)</b>	Partículas suspendidas	\$(US) 9,800	---
	SO <sub>2</sub>	\$(US) 10,680	---
	NO <sub>x</sub>	\$(US) 12,041	---
<b>Unruh y Moomaw (1998)</b>	CO <sub>2</sub>	\$(US) 8,884 (1973)	Austria
	CO <sub>2</sub>	\$(US) 9,958 (1973)	Bélgica
	CO <sub>2</sub>	\$(US) 14,036 (1979)	Canadá
	CO <sub>2</sub>	\$(US) 11,756 (1979)	Dinamarca
	CO <sub>2</sub>	\$(US) 10,802 (1980)	Finlandia
	CO <sub>2</sub>	\$(US) 10,763 (1973)	Francia
	CO <sub>2</sub>	\$(US) 12,172 (1979)	Alemania
	CO <sub>2</sub>	\$(US) 11,700 (1977)	Islandia
	CO <sub>2</sub>	\$(US) 9,596 (1979)	Italia
	CO <sub>2</sub>	\$(US) 9,100 (1973)	Japón
	CO <sub>2</sub>	\$(US) 12,736 (1974)	Luxemburgo
	CO <sub>2</sub>	\$(US) 11,291 (1979)	Holanda
	CO <sub>2</sub>	\$(US) 11,305 (1970)	Suecia
	CO <sub>2</sub>	\$(US) 13,766 (1973)	Suiza
	CO <sub>2</sub>	\$(US) 9,520 (1973)	Reino Unido
	CO <sub>2</sub>	\$(US) 15,425 (1978)	Estados Unidos
	<b>Cole, Rayner y Bates (1997)</b>	SO <sub>2</sub>	\$(US) 6,900 (1970-92)
PM <sub>10</sub>		\$(US) 7,300 (1970-92)	7 Países OECD
CO		\$(US) 9,900 (1970-92)	7 Países OECD
NO <sub>2</sub>		\$(US) 14,700 (1970-92)	10 Países OECD
<b>Grossman y Krueger (1995)</b>	SO <sub>2</sub>	\$(US) 4,053	
<b>Anderson y Cavendish (2001)</b>	SO <sub>2</sub>	\$(US) 5,000	China
	SO <sub>2</sub>	\$(US) 3,000	India

## REGULACIONES AMBIENTALES, PRECIOS Y PRODUCTO.

$$(5) \quad EM_t = \delta y_t$$

En tasas de crecimiento.

$$(6) \quad \ln \left[ \frac{EM_{t+1}}{EM_t} \right] = \ln \left( \frac{y_{t+1}}{y_t} \right) + \ln \left( \frac{\delta_2}{\delta_1} \right)$$

Donde:

$EM_t$  = Emisiones

$y_t$  = Producto per-cápita

$\delta_1$  = Coeficiente de emisiones en el tiempo t

$\delta_2$  = Coeficiente de emisiones en el tiempo t+1

Suponiendo que  $\ln(\delta_2 / \delta_1)$  depende del ingreso y de los precios relativos se obtiene:

$$(7) \quad \ln\left[\frac{EM_t}{EM_{t+1}}\right] = \delta_0 + \delta_1 \ln\left(\frac{y_t}{y_{t+1}}\right) + \delta_2 \ln y_t + \delta_3 \ln\left(\frac{p_{it}}{p_t}\right) + u_t$$

Donde:

$EM_t$  = Emisiones

$y_t$  = Producto per-cápita

$p_{it}$  = Índice de precios de los insumos referidos

$p_t$  = Índice de precios al consumidor

$u_t$  = Término de error

$\delta_0 < 0 \Rightarrow$  Proceso continuo de reducción de emisiones como resultado de políticas y regulaciones más estrictas.

$\delta_1 > 0 \Rightarrow$  El crecimiento económico tiene un efecto positivo en las emisiones.

$\delta_3 < 0 \Rightarrow$  Los cambios en los precios explican cambios en las emisiones.

Combinando un  $\delta_0$  negativo y un  $\delta_1$  positivo se estima la tasa de crecimiento sustentable.

$$(8) \quad \delta_0 = \delta_1 \Delta y_t$$

Condición de crecimiento económico sustentable donde el crecimiento económico no genera emisiones adicionales.

$$\ln \left[ \frac{EM_t}{EM_{t+1}} \right] = 0$$

Condición:

$$(9) \quad \frac{\ln \left( \frac{y_t}{y_{t-1}} \right) = \delta_2 \ln y_t + \delta_3 \ln \left( \frac{p_{it}}{p_t} \right)}{\delta_0}$$

La ecuación (9) identifica la tasa de crecimiento sustentable para determinado nivel de ingreso per-cápita.

## Cuadro 2.

### Estimaciones de la Curva de Kuznets (ecuación (4)).

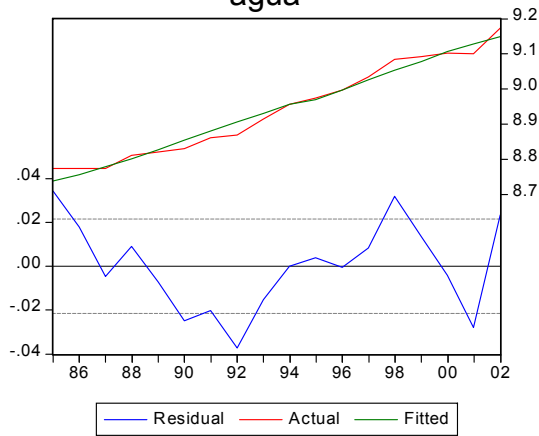
	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	T	Dummy	R <sup>2</sup>
<b>apub<sub>t</sub></b>		1.603(10.51)	-0.08(-4.69)		0.023(11.49)		0.97
<b>aagr<sub>t</sub></b>	-462.5(-3.49)	98.60(3.57)	-5.13(-3.57)				0.46
<b>aind<sub>t</sub></b>		0.971(2.79)	-0.03(-0.77)		0.057(12.27)		0.98
<b>actot<sub>t</sub></b>		2.259(13.36)	-0.12(-6.41)		0.007(3.40)	-0.03(-1.02)	0.77
<b>durb<sub>t</sub></b>		-0.55(-0.18)	0.130(0.20)	-0.01(-0.21)	0.006(8.07)	-0.01(-2.61)	0.98
<b>dind<sub>t</sub></b>		-84.13(-0.91)	17.43(0.91)	-0.908(-0.91)	0.147(6.30)	-0.298(-2.75)	0.97
<b>def<sub>t</sub></b>		3.62(178.79)	-0.19(-86.03)		0.019(53.94)		0.99
<b>CO<sub>2t</sub></b>		5.06(5.78)	-0.398(-4.16)		0.021(1.46)		0.49
<b>CH<sub>4t</sub></b>		2.99(3.76)	-0.249(-2.90)		0.101(7.59)		0.92
<b>NO<sub>x</sub>t</b>		1.449(76.19)	-0.08(-39.16)		0.016(52.90)		0.99
<b>cne<sub>t</sub></b>	-75.81(-1.39)	15.057(1.30)	-0.65(-1.06)				0.95
<b>cng<sub>t</sub></b>		1.277(3.96)	-0.043(-1.26)		0.019(6.48)		0.82

Notas: En la ecuación act<sub>t</sub> se utilizó la variable dummy d01 que representa al año 2001. En las ecuaciones dind<sub>t</sub> y durb<sub>t</sub> se utilizó la variable dummy d02 que representa el año 2002. Las letras en minúsculas representa el logaritmo natural de las series. El período de estimación de apub<sub>t</sub>, aagr<sub>t</sub>, aind<sub>t</sub>, actot<sub>t</sub> es de 1985 - 2002; para durb<sub>t</sub> y dind<sub>t</sub> es 1994 - 2002; para def<sub>t</sub> es 1992 - 2002; para CO<sub>2t</sub>, CH<sub>4t</sub> y NO<sub>x</sub>t es 1990 - 2002 ; para cne<sub>t</sub> es 1965 - 2002 y finalmente para cng<sub>t</sub> es 1980 - 2002.

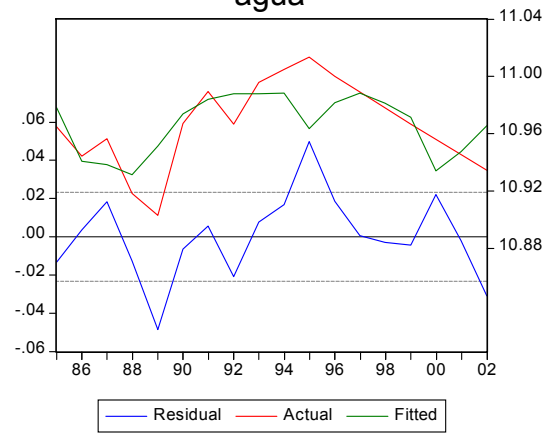
## Gráfica 2.

### Valores reales y proyectados de la curva de Kuznets (ecuación (4)).

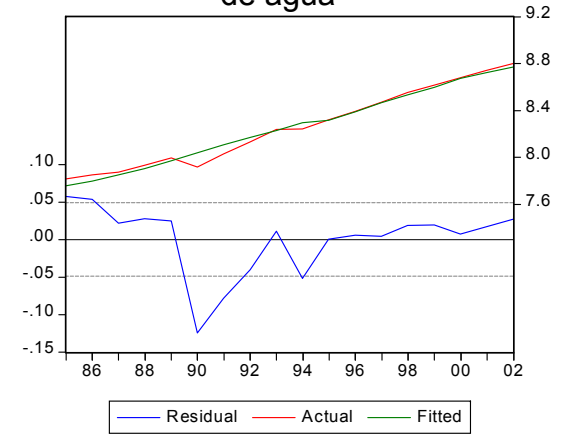
Abastecimiento público de agua



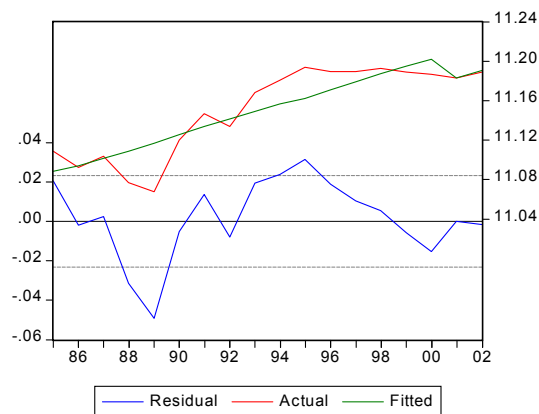
Abastecimiento agrícola de agua



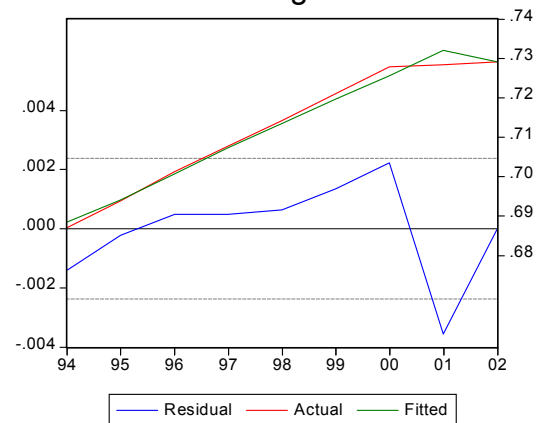
Abastecimiento industrial de agua



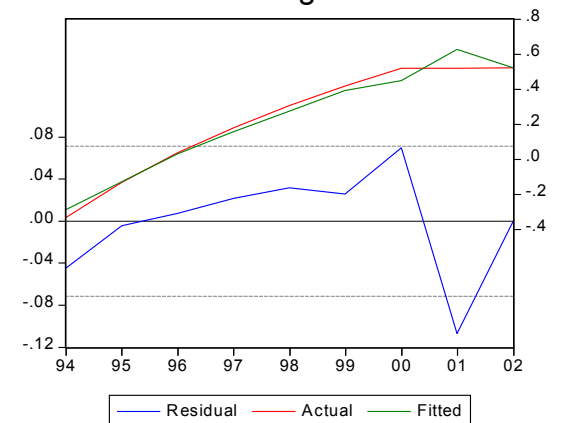
Consumo total de agua



Descarga residual urbana de agua

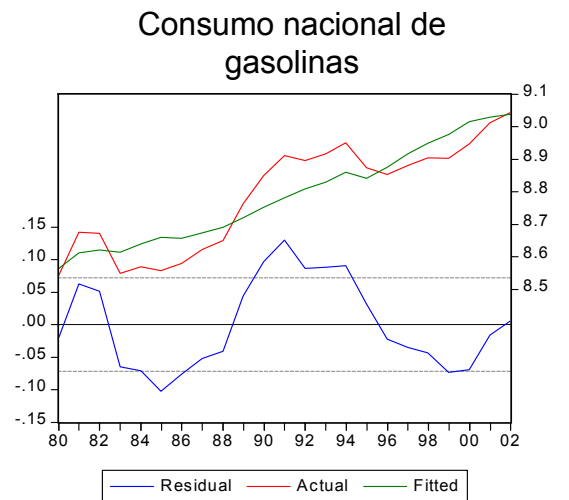
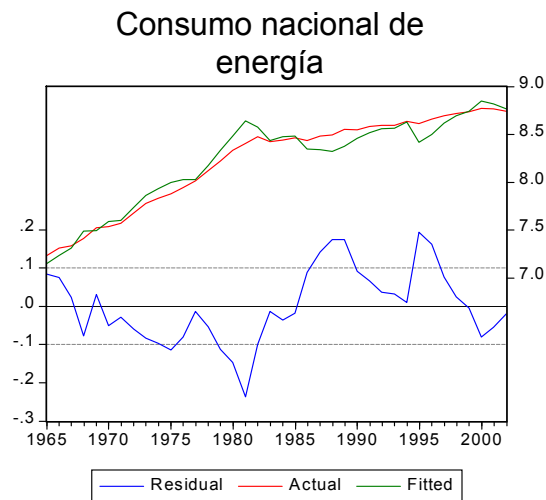
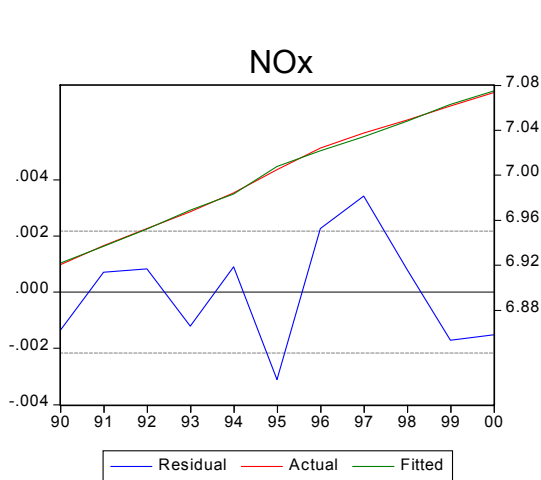
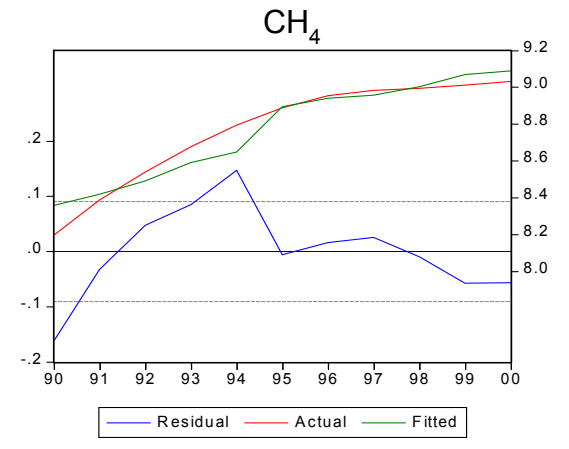
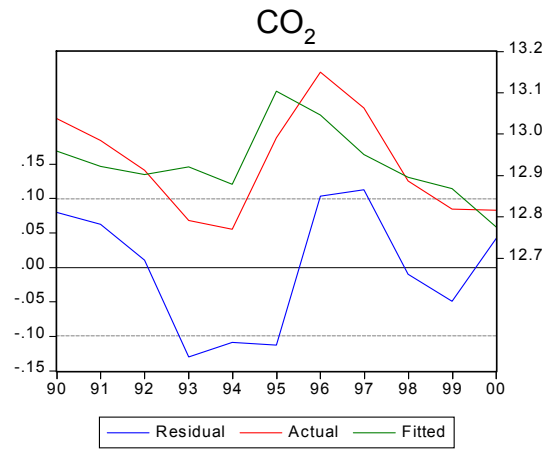
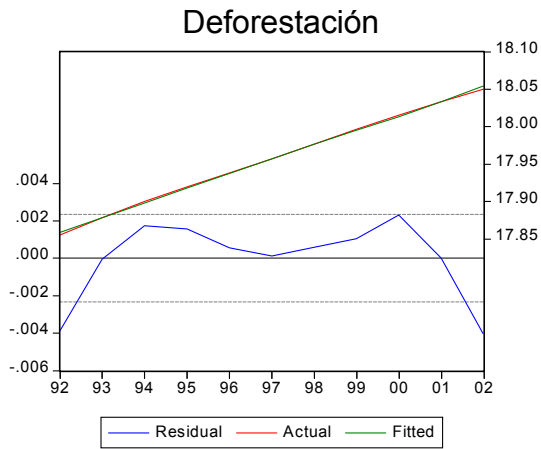


Descarga residual industrial de agua



## Gráfica 2.

### Valores reales y proyectados de la curva de Kuznets (ecuación (4)). Continuación.....



- Kuznets: Abastecimiento público de agua, abastecimiento agrícola e industrial de agua, consumo total de agua, deforestación, emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y NO<sub>x</sub>, consumo total de energía y consumo total de gasolinas.
- Relación cúbica: Descargas residuales de agua urbana e industrial.

**Cuadro 3.**  
**Puntos de inflexión del ingreso *per cápita*.**

Variable	Año	Ingreso <i>per cápita</i> (pesos por habitante)
apub <sub>t</sub>	2002	\$ 15,888.27
aagr <sub>t</sub>	1999	\$ 15,739.71
aind <sub>t</sub>	2002	\$ 15,888.27
actot <sub>t</sub>	2000	\$ 16,456.68
durb <sub>t</sub>	2001	\$ 16,240.39
dind <sub>t</sub>	2001	\$ 16,240.39
def <sub>t</sub>	2002	\$ 15,888.27
CO <sub>2t</sub>	1995	\$ 13,836.14
CH <sub>4t</sub>	2000	\$ 16,456.68
NO <sub>x</sub> <sub>t</sub>	2000	\$ 16,456.68
cne <sub>t</sub>	2000	\$ 16,456.68
cng <sub>t</sub>	2002	\$ 15,888.27

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 4.**  
**Estimaciones de la Curva de Kuznets (ecuación (7)).**

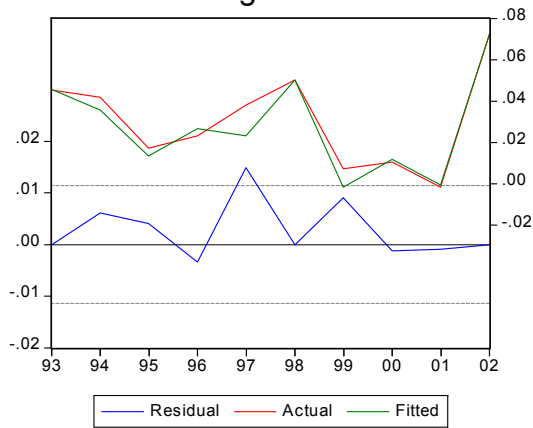
	$\delta_0$	$\delta_1$	$\delta_2$	$\delta_3$	T	Dummy	R <sup>2</sup>
<b>apub<sub>t</sub></b>		0.160(1.53)	-0.0003(-0.37)	-0.139(-3.23)		d1 = -0.02(-2.28) d2 = -0.08(-5.27)	0.86
<b>aagr<sub>t</sub></b>		0.050(0.28)	-0.001(-1.35)	-0.050(-1.35)			0.12
<b>aind<sub>t</sub></b>		0.089(0.31)	-0.001(-0.26)		0.002(2.75)	d1 = 0.07(-1.49) d2 = -0.06(1.34)	0.48
<b>actot<sub>t</sub></b>		0.057(0.38)	-0.0003(-0.30)	-0.028(-0.89)			0.06
<b>durb<sub>t</sub></b>	0.036(0.22)	0.026(1.65)	-0.003(-0.21)	-0.027(-2.40)			0.82
<b>dind<sub>t</sub></b>	5.42(1.67)	0.372(1.16)	-0.557(-1.66)	-0.484(-2.13)			0.88
<b>def<sub>t</sub></b>		0.006(1.65)	-0.0003(-0.29)	-0.031(-3.98)	0.0005(1.85)	d1 = 0.001(-2.58) d2 = -0.002(1.85)	0.97
<b>CO<sub>2t</sub></b>		2.77(0.73)	-0.014(-0.77)	-0.064(-0.17)		d1 = -0.57(-1.33) d2 = 0.06(0.89)	0.59
<b>CH<sub>4t</sub></b>		0.524(0.51)	-0.005(-1.06)	-0.493(-4.87)		d1 = -0.08(-0.73) d2 = -0.004(-0.23)	0.88
<b>NO<sub>x</sub>t</b>	0.524(3.61)	0.043(0.86)	-0.053(-3.51)			d1 = -0.006(-1.13) d2 = 0.001(0.98)	0.82
<b>cne<sub>t</sub></b>	0.884(3.09)	0.789(5.37)	-0.092(-3.04)	-0.052(-2.02)			0.58
<b>cng<sub>t</sub></b>	0.582(0.35)	1.024(3.45)	-0.058(-0.34)				0.40

Notas: En la ecuación  $apub_t$  se utilizaron las variables dummies  $d1 =$  dummy 1998 y  $d2 =$  dummy 2002. En la ecuación  $aind_t$  se utilizaron las variables dummies  $d1 =$  dummy 1990 y  $d2 =$  dummy 1994. En la ecuación  $def_t$  se utilizaron las variables dummies  $d1 =$  dummy 1996 y  $d2 =$  dummy 1999. En las ecuaciones  $CO_{2t}$ ,  $CH_{4t}$  y  $NO_{xt}$  se utilizaron las variables dummies  $d1 =$  dummy 1995 y  $d2 =$  dummy 1998. Las letras en minúsculas representa el logaritmo natural de las series. El período de estimación de  $apub_t$ ,  $aagr_t$ ,  $aind_t$ ,  $actot_t$  es de 1985 - 2002; para  $durb_t$  y  $dind_t$  es 1994 - 2002; para  $def_t$  es 1992 - 2002; para  $CO_{2t}$ ,  $CH_{4t}$  y  $NO_{xt}$  es 1990 - 2002; para  $cne_t$  es 1965 - 2002 y finalmente para  $cng_t$  es 1980 - 2002.

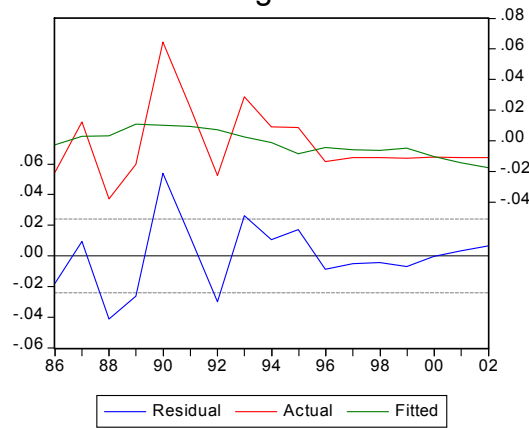
### Gráfica 3.

## Valores reales y proyectados de la curva de Kuznets (ecuación (7)).

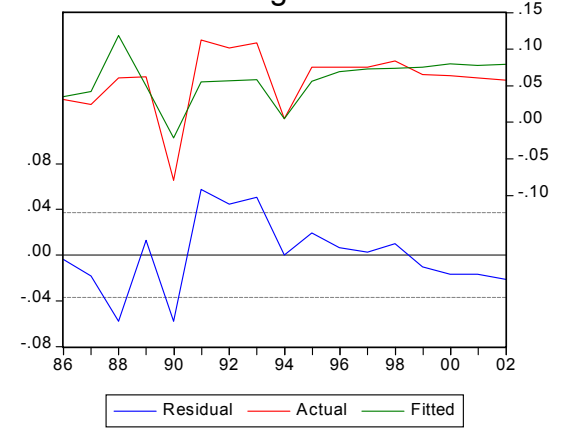
Abastecimiento público de agua



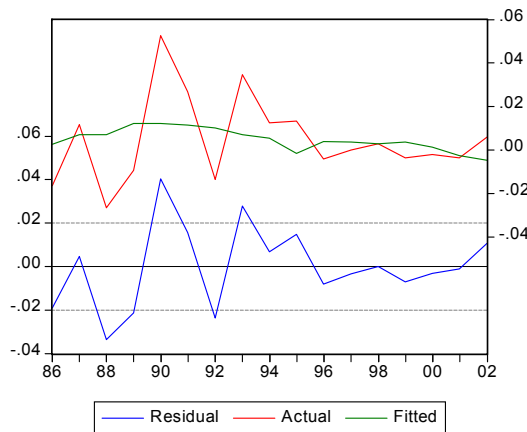
Abastecimiento agrícola de agua



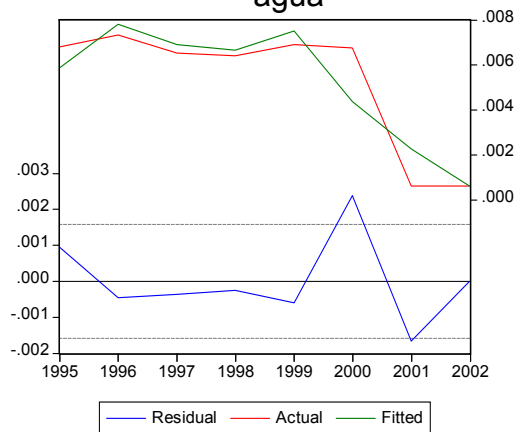
Abastecimiento industrial de agua



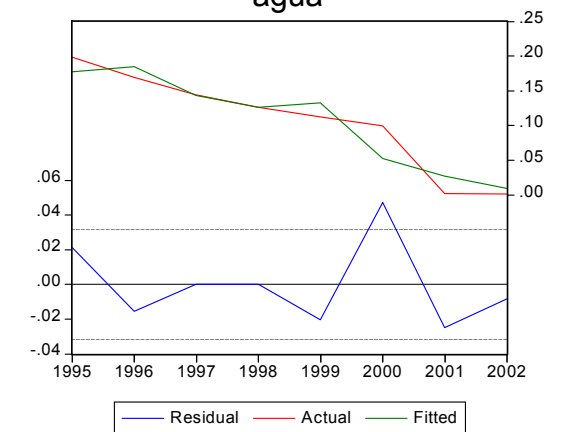
Consumo total de agua



Descarga residual urbana de agua

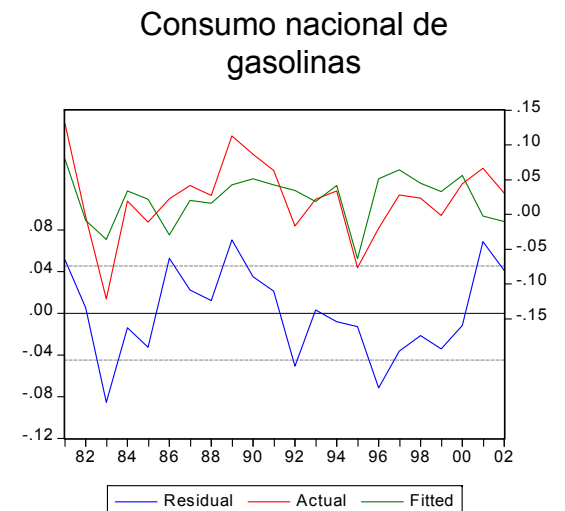
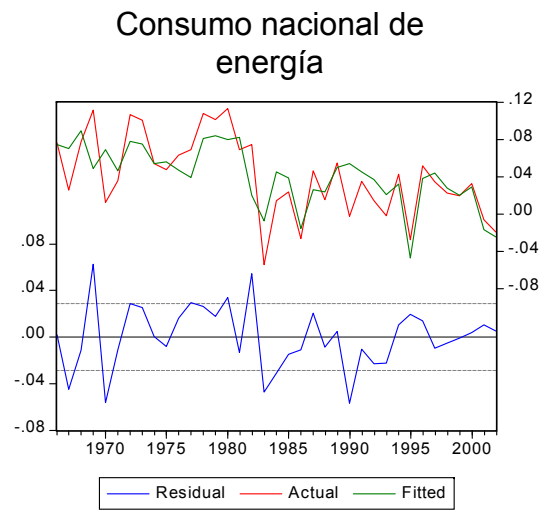
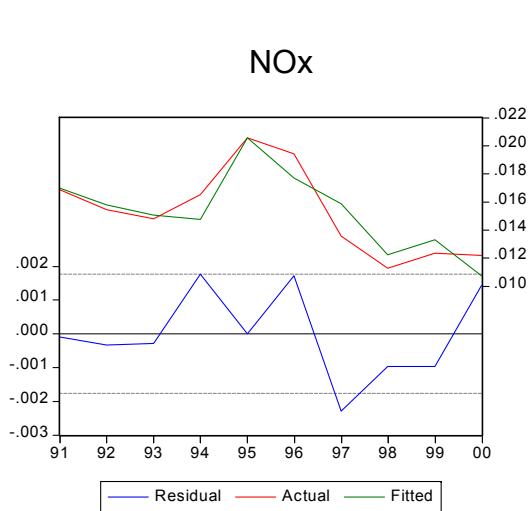
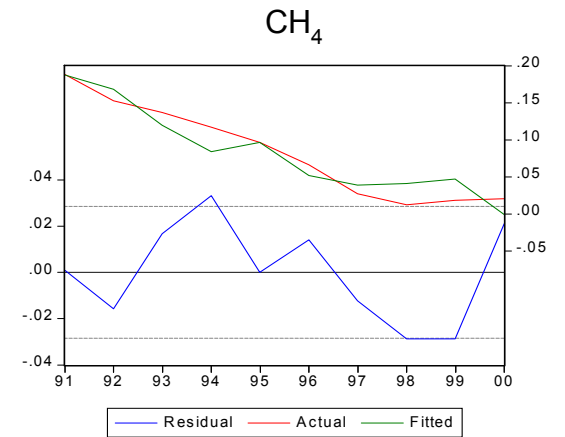
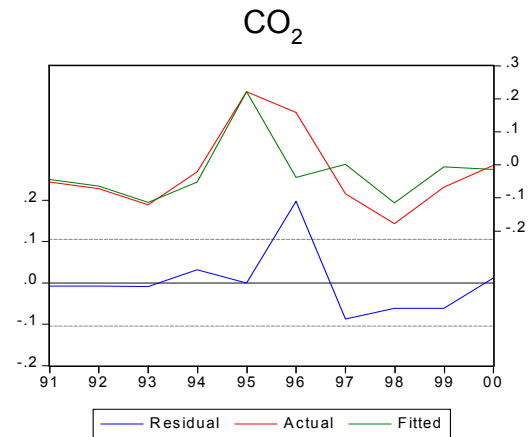
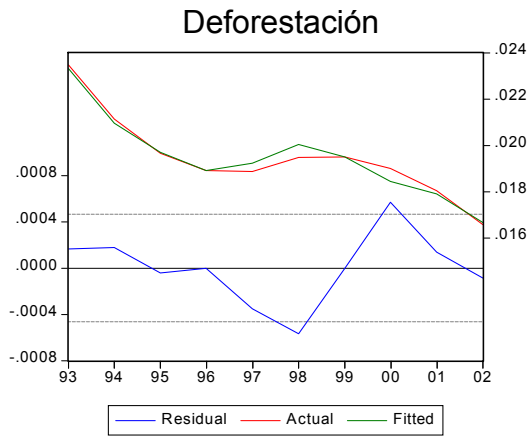


Descarga residual industrial de agua



### Gráfica 3.

## Valores reales y proyectados de la curva de Kuznets (ecuación (7)). Continuación.....



- La constante es estadísticamente significativa en las descargas residuales de agua urbano e industrial, emisiones de NOx, consumo de energía y consumo total de gasolinas.
- El coeficiente  $\delta_1$  es positivo y estadísticamente significativo en el consumo de energía y gasolinas, con un coeficiente cercano a uno, reflejando que un aumento del producto se transfiere con la misma intensidad al consumo.
- En abastecimiento público, agrícola e industrial, consumo de agua total, volúmen de descarga urbano e industrial de agua, la deforestación y CH<sub>4</sub> el  $\delta_1 = 0.5$  indicando que existe una relación menos que proporcional mientras que en CO<sub>2</sub> el aumento es más que proporcional.
- El coeficiente  $\delta_2$  es negativo y estadísticamente significativo en óxido nitroso y consumo total de energía  $\Rightarrow$  Necesario incrementar las regulaciones en las otras áreas.
- El coeficiente  $\delta_3$  es negativo y estadísticamente significativo para abastecimiento público de agua, volúmenes de descarga urbano e industrial, deforestación, metano y consumo de energía total reflejando la importancia de los precios.

## **RESULTADOS ECONOMETRICOS.**

1. En todos los casos existe un efecto positivo del ingreso y efectos importantes de la innovación tecnológica e impactos negativos del ingreso per-cápita y los precios relativos.
2. Necesario instrumentar medidas regulatorias más estrictas que pueden complementarse con políticas de precios en abastecimiento industrial de agua y óxido nitroso.
3. En abastecimiento agrícola de agua, consumo total de agua y la emisión de bióxido de carbono, donde los efectos de precios son estadísticamente significativos, se requieren regulaciones drásticas.

## Cuadro 5.

### Tasas de crecimiento económico máxima sustentable (%).

---

---

<b>Tasa de crecimiento económico máxima sustentable</b>	
<b>apub<sub>t</sub></b>	0.00538
<b>aagr<sub>t</sub></b>	0.00794
<b>aind<sub>t</sub></b>	0.01425
<b>actot<sub>t</sub></b>	0.00172
<b>durb<sub>t</sub></b>	0.09486
<b>dind<sub>t</sub></b>	20.1807
<b>def<sub>t</sub></b>	0.00022
<b>CO<sub>2t</sub></b>	4.00649
<b>CH<sub>4t</sub></b>	0.28218
<b>NO<sub>x</sub><sub>t</sub></b>	2.25776
<b>cne<sub>t</sub></b>	7.27170
<b>cng<sub>t</sub></b>	6.04120

---

Fuente: Elaboración propia con ecuaciones presentadas en el Cuadro 3.

---

## CONCLUSIONES Y COMENTARIOS GENERALES.

- Existen patrones regulares de comportamiento entre ingreso per-cápita y calidad ambiental.
- La curva invertida de Kuznets tiene mayor fundamento para abastecimiento público agrícola e industrial de agua, consumo total de agua, deforestación, bióxido de carbono, metano, óxido nitroso y consumo de energía y gasolinas.
- Volúmen de descarga residual, urbano e industrial de agua tienen más una función cúbica lo que aumentarán los niveles de contaminación.
- La relación entre crecimiento económico y calidad ambiental es compleja  
⇒ No puede salirse creciendo de los problemas ambientales.

Importante:

Regulaciones.

Innovación tecnológica.

Composición del producto.

- El progreso técnico, en el contexto de una regulación adecuada, es fundamental reducir los niveles de contaminación.

- Las tasas de crecimiento sustentables son muy variables.

- No existe evidencia para sostener los dos extremos:

- ⇒ El crecimiento es la solución a los problemas ambientales.

- ⇒ Detener el crecimiento soluciona los problemas ambientales.

- La curva de Kuznets es una forma reducida, no incluye variables de política ambiental.