



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
División de Ciencias Económico-Administrativas

**COSTOS AMBIENTALES DE LA FERTILIZACIÓN
NITROGENADA EN LA AGRICULTURA MEXICANA**

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA
Y DE LOS RECURSOS NATURALES**



Presenta:

MARICELA CAMACHO AMADOR

DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

Noviembre de 2012

Chapingo, Estado de México.

COSTOS AMBIENTALES DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN LA AGRICULTURA MEXICANA

Tesis realizada por la Lic. Maricela Camacho Amador, bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias en Economía Agrícola y de los Recursos Naturales

DIRECTOR:



Dr. Adrián González Estrada.

ASESOR:



Dr. Abel Pérez Zamorano

ASESOR:



Dr. Oscar Javier Galindo Tijerina

Chapingo, México, noviembre de 2012.

DEDICATORIAS

Dedico esta investigación con amor a toda mi familia, en especial a mis padres: Yolanda Amador Amador y Valentín Camacho Mendoza, que por medio de su cariño, enseñanzas y confianza, me han permitido alcanzar innumerables satisfacciones.

A mis hermanos: Elva, Ofelia, Gilberto y César, por su apoyo y ser siempre buenos amigos.

A Omar Alonso Pastor Zarandona, por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Adrián González Estrada, por dirigir la presente tesis profesional, por sus enseñanzas y sus contribuciones a mi formación académica.

A la institución en la que me he formado profesionalmente, la Universidad Autónoma Chapingo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y a la División de Ciencias Económico-Administrativas.

Al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECYT).

Al comité asesor por su colaboración y apoyo.

DATOS BIOGRÁFICOS

Maricela Camacho Amador es originaria de Cocula, Jalisco, México.

Formó parte del Programa de Alto Rendimiento Académico. Estuvo en el Cuadro de Honor durante su estancia en la Preparatoria Agrícola y en todos los años de la Licenciatura en Economía Agrícola, de la Universidad Autónoma Chapingo. Su Tesis Profesional fue: “Introducción de cuentas ecológicas en la matriz de contabilidad social de México”. Se graduó con Mención Honorífica.

Estudió la Licenciatura en Economía Agrícola en la División de Ciencias Económico Administrativas de la Universidad Autónoma Chapingo, generación 2004-2008.

Participó en diversos estudios como: en el “Diagnóstico para un proyecto ecoturístico del Área Natural Protegida ‘Sierra de Quila’, Tecolotlán, Jalisco”; en la “Planeación estratégica y organización administrativa de la sociedad de producción rural ‘Agroproductores Ejidales de San Martín’, Jalisco”, y en el proyecto emblemático: “Rectificación y encauzamiento de las corrientes de la cuenca la Garita, en la Ciudad y Puerto de Acapulco, Gro.”, entre otros.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN/ABSTRACT.....	XIV
I.- INTRODUCCIÓN.....	15
II.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
2.1. Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), los costos y las metas de reducción del Gobierno de México	18
2.2. Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y las metas de reducción del Gobierno en la agricultura mexicana.	25
2.3. Problemas a resolver con esta investigación.	30
III.- OBJETIVOS.....	34
IV.- HIPÓTESIS.	35
V.- MARCO TEÓRICO.....	36
5.1. Fallas del mercado y degradación ambiental en la teoría Neoclásica.	36
Las externalidades y los costos ambientales.	38

5.2. El enfoque marxista..	41
La relacion entre economía y recursos naturales.....	41
La renta del suelo y los fertilizantes en el capitalismo.....	43
5.3. Las externalidades en la teoría del equilibrio general.....	46
Efectos de las externalidades en el producto nacional bruto(PNB).....	48
5.4. Política ambiental óptima	49
Impuestos pigouvianos.....	53
VI.- MATERIALES Y MÉTODOS.....	56
6.1. Emisiones de óxidos nitrosos (N_2O) en términos de bióxido de carbono equivalente (CO_2e), debido a fertilizantes nitrogenados.....	56
6.2.Costo ambiental de la fertilización nitrogenada en la agricultura.	59
6.3. Política fiscal ambiental óptima para el uso eficiente fertilizantes químicos en la agricultura.....	63
6.4. Coeficiente técnico insumo-producto de los fertilizantes... ..	69
6.5.Fuentes estadísticas.....	70

VII.- ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	71
7.1.Panorama de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del sector agropecuario de México.	71
7.2.Uso de fertilizantes químicos en la agricultura mexicana.	73
7.3. Coeficiente técnico insumo-producto de los fertilizantes en México.	75
7.4. Emisiones de óxidos nitrosos (N_2O) en términos de bióxido de carbono equivalente (CO_2e) por uso de fertilizantes nitrogenados en México..	76
7.5. Coeficiente de emisión por consumo de fertilizantes nitrogenados en la agricultura mexicana..	78
7.6. Impuesto ambiental óptimo o eficiente a la fertilización, por tipo de fertilizante nitrogenado..	79
VIII.- CONCLUSIONES.....	82
IX.- BIBLIOGRAFÍA.	85
X.- GLOSARIO DE TÉRMINOS ECONÓMICOS Y AMBIENTALES.....	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Reducciones de gases de efecto invernadero (GEI) por sectores de México en 2012.....	23
Figura 2. Emisiones mundiales de CO ₂ e por sector.	26
Figura 3. Emisiones por sector económico de México en el 2006.	27
Figura 4. Costos externos de producción.	39
Figura 5. Curvas de abatimiento de daños <i>versus</i> función de daños.....	40
Figura 6. Análisis de varianza de la regresión entre el valor bruto de la producción agrícola de México y el valor del consumo nacional de fertilizantes.	75

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Países con mayores emisiones globales de bióxido de carbono (CO ₂) por el consumo de combustibles fósiles, en 2006.....	19
Cuadro 2. Costos totales del cambio climático para el 2100 en México (como % del producto interno bruto).....	20

Cuadro 3. Costo total de la reducción de emisiones de CO ₂ para la meta de 50% en el 2050 (respecto al 2002).	21
Cuadro 4. Costos totales de la reducción de emisiones de CO ₂ para la meta de 50% en el 2100 (respecto al 2002).	22
Cuadro 5. Metas de reducción de gases de efecto invernadero (GEI) para el 2012 y el período 2008–2012 en México.	25
Cuadro 6. Emisiones totales del sector agropecuario de México en gigagramos (Gg) de CO ₂ e (1990-2006).....	73
Cuadro 7. Uso de fertilizantes químicos en la agricultura de México 1980-2002.....	74
Cuadro 8. Emisiones en bióxido de carbono equivalente (CO ₂ e) de los fertilizantes nitrogenados en la agricultura mexicana (1980-2002).	77
Cuadro 9. Coeficiente de emisión por consumo de fertilizantes nitrogenados en la agricultura de México 1980-2002.	78
Cuadro 10. Impuesto ambiental óptimo por tipo de fertilizante nitrogenado en México.....	80

SIGLAS

AMC	Curva de abatimiento marginal de los costos;
BM	Banco mundial;
BMP	Beneficio marginal privado;
BMS	Beneficio marginal social;
C_t	Consumo final;
CI	Gastos para adquirir insumos intermedios;
CF	Consumo total anual de fertilizantes (ton de N aplicado);
CH_4	Metano;
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe;
CO_2	Bióxido de carbono;
CO_2e	Bióxido de carbono equivalente;
CMP	Costo marginal privado;
CMS	Costo marginal social;
Q_{Soc}	Cantidad social;
Q_{Merc}	Cantidad de mercado;
CTADA	Costos totales por agotamiento y degradación ambiental;
D	Ingresos por la venta de la producción nacional;
DOF	Diario Oficial de la Federación;
EPA	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos;
Emisiones N_2O en CO_2	Emisiones de N_2O en CO_2 de la fertilización nitrogenada;
e_i	coeficiente anual de emisión de la rama <i>i-ésima</i> ;
e_f	Coeficiente de emisión por la fertilización nitrogenada;
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura;
FAOSTAT	Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database;
FC	Consumo de fertilizantes;
FDM	Función de daños marginales;
G^E	Pago ambiental por capital natural;
Gg	Gigagramos;
G_i	Gigagramos anuales de GEI de la rama <i>i-ésima</i> ;
G_f	Valor de las emisiones GEI por fertilización en millones de pesos;
GEI	Gases efecto invernadero;

Ha	Hectárea;
I o I_t	Formación bruta de capital o inversión;
INEGEI	Inventario nacional de gases efecto invernadero;
INE	Instituto Nacional de Ecología;
IPCC	Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático;
τ	Impuesto;
$\tau_{\text{Ambiental}}$	Impuesto ambiental;
τ^E	Impuesto ambiental óptimo;
τ_{ef}^*	Impuesto eficiente a la fertilización nitrogenada;
τ_{efj}^*	Impuesto eficiente por cada tipo de fertilizante nitrogenado;
τ_{efjv}^*	Impuesto eficiente por cada tipo de fertilizante nitrogenado como porcentaje de su precio de venta;
K_t	Total de activos;
K_t^E	Total de activos con capital natural;
K_{t+1}^E	Total de activos al final del periodo t con capital natural;
Kg	Kilogramo;
L_t	Factor trabajo;
M	Importaciones;
Mt	Millones de toneladas;
MtCO ₂ e	Millones de toneladas de bióxido de carbono equivalente;
MIP	Matriz de insumo producto;
N	Nitrógeno;
N ₂ O	Óxido nitroso;
O	Oferta;
P_i	Valor bruto de la producción anual de la rama i
P_f	Valor bruto de la producción agrícola en millones de pesos;
PACDS	Programa Nacional de Acción contra la Degradación de las Tierras Desertificación y Mitigación de los Efectos de la Sequía;
PIB	Producto interno bruto;
PIB _{PM}	Producto interno bruto a precios de mercado;
P_{Soc}	Precio social;
P_{Merc}	Precio de mercado;
P^*	Precio de equilibrio;

P_{vfj}	Precio de venta de cada tipo de fertilizante nitrogenado;
PB	Precio del bono;
PECC	Programa especial para el cambio climático;
PTF	Productividad total de los factores;
Q^*	Cantidad de equilibrio;
SAS	<i>Statistical Analysis System</i> ;
SCEEM	Sistema de cuentas económicas y ecológicas de México;
SCUSS	Uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura;
SEMARNAT	Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales;
SIACON	Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta;
T^x	Impuestos a los productos y producción;
TCP	Tipo de cambio promedio de cada año;
Ton	Toneladas;
VBP	Valor bruto de la producción;
VBP_A	Valor bruto de la producción agrícola;
VAB	Valor agregado bruto;
W_l	Tasa salarial;
W_k	Tasa de ganancia del capital;
X^L	Remuneración a la mano de obra;
X^K	Excedente bruto de operación;
Δ	Tasa de depreciación;
δ^E	Tasa de depreciación del capital natural;
%N	Porcentaje de nitrógeno activo por cada tipo de fertilizante nitrogenado.

COSTOS AMBIENTALES DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN LA AGRICULTURA MEXICANA

ENVIROMENTAL COSTS OF NITROGEN FERTILIZATION IN MEXICAN AGRICULTURE

Camacho Amador, Maricela¹ y Adrián González Estrada²

RESUMEN

La agricultura mexicana es una fuente importante de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente a través de la fertilización nitrogenada, la cual emite un importante gas de efecto invernadero: el óxido nitroso (N_2O). No obstante su importancia, se desconoce el monto total de las emisiones de gases de efecto invernadero producidas por la fertilización química en México y su equivalente en términos de bióxido de carbono (CO_2e). El problema principal de ésta investigación fue cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero producidas por la fertilización nitrogenada en la agricultura mexicana, durante el período 1980-2002 y con base en esa información, calcular los costos ambientales de dichas emisiones. El método seguido para la cuantificación de esas emisiones fue el propuesto por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos. Una vez cuantificadas las emisiones, se calculó el impuesto ambiental óptimo general y por tipo de fertilizante nitrogenado; luego, se propuso una política óptima y eficiente de control de las emisiones de la fertilización química en México. Se concluyó que una agricultura económicamente eficiente y óptima desde el punto de vista social, debe introducir dichos costos en su estructura económica, con lo cual, necesariamente, debería reducirse el uso de fertilizantes nitrogenados.

Palabras clave: emisiones de óxidos nitrosos (N_2O) por consumo de fertilizantes nitrogenados, costos ambientales de la fertilización nitrogenada, impuesto ambiental óptimo para la fertilización nitrogenada.

ABSTRACT

Mexican agriculture is a major source of greenhouse gases (GHGs), this happens mainly through, which emits significant greenhouse gas: nitrous oxide (N_2O). Despite its importance, it is unknown the total emissions of greenhouse gases produced by chemical fertilization in Mexico and its equivalent carbon dioxide (CO_2e). The main problem of this research was to quantify the emissions of greenhouse gases produced by nitrogen fertilization in Mexican agriculture during the period 1980-2002, based on that information, and to calculate the environmental costs of these emissions. The method used to quantify these emissions was proposed by the Environmental Protection Agency of the United States (EPA). Once the emissions were quantified, it was calculated the optimal environmental tax overall and its type of nitrogen fertilizer, then, it was proposed an optimal and efficient policy of control of emissions of chemical fertilization in Mexico. From the social point of view, was concluded that an efficient and optimal agriculture economy, must enter these costs in its economic structure, which, necessarily, must reduce the use of nitrogen fertilizers.

Keywords: nitrous oxide emissions (N_2O) by nitrogen fertilizer consumption, environmental costs of nitrogen fertilization, optimal environmental tax to nitrogen fertilization.

¹Tesista

²Director

I. –INTRODUCCIÓN.

La sociedad que agota su capital natural, que no introduce en su economía los costos de esa degradación y que no lleva a cabo políticas eficientes de control, no tiene futuro a largo plazo.

La indiferencia ante el agotamiento y degradación de los recursos naturales, así como el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de origen antropogénico, comprometen cada vez más la base material sobre la que se sustentan el crecimiento y el bienestar futuro.

En el aspecto económico, se disminuye el potencial productivo y se incrementan los costos económicos directos e indirectos, debido a la presencia de externalidades negativas. Por ello, se vuelve imprescindible la cuantificación rigurosa de dichos costos ambientales.

En el año 2004 los costos totales por agotamiento y degradación ambiental (CTADA) en México representaron el 9.2 % del PIB; es decir, 712,344 millones de pesos, monto que refleja la cantidad por capital natural que se apropiaron como excedentes o ganancias extraordinarias los agentes económicos beneficiados (González-Estrada y Camacho-Amador, 2011). Estos últimos autores también estimaron el impuesto ambiental eficiente para cada sector económico de México. Por ejemplo, el sector agropecuario, silvícola y de pesca produjo una degradación ambiental equivalente a 49, 226 millones de pesos, por lo que el impuesto ambiental eficiente que debería pagar es de 13.15% en el 2004 (González-Estrada y Camacho-Amador, 2011).

La presente investigación se basa en varias partes del trabajo de González-Estrada y Camacho-Amador (2011). El objetivo de esta investigación fue calcular los costos ambientales por emisiones de óxidos nitrosos (N_2O) de la fertilización química en la agricultura mexicana. Para tal fin fue necesario estimar las emisiones de N_2O por consumo de fertilizantes nitrogenados y transformarlas a la unidad comúnmente utilizada, el bióxido de carbono equivalente (CO_2e). Después, se definió la correspondiente política eficiente de control de emisiones.

En esta tesis se estimó también un indicador de emisiones, llamado *coeficiente de emisión por fertilización*, el cual muestra la relación que existe entre el costo de las emisiones (en CO₂e) producidas por la fertilización química en la agricultura y el valor bruto de la producción agrícola (VBPA) de México, ambos en pesos corrientes. Es decir, representa el costo porcentual ambiental en que incurre la agricultura por la emisión de óxidos nitrosos (N₂O), expresados en CO₂e, que se generan por los fertilizantes nitrogenados.

En la sociedad actual la instrumentación de una política ambiental óptima y eficiente enfrentará, sin duda grandes dificultades, principalmente debido a los intereses creados. Sin embargo, hacer caso omiso del problema y no hacernada, con el argumento de que es muy costoso implementar políticas eficientes de control, tendrá consecuencias aún mayores. Debido esa falla del sistema, que brota de la esencia de sus intereses fundamentales se hace necesaria la intervención del Estado y la acción colectiva, pues la renuencia a pagar por los costos sociales que producen los que destruyen el capital natural-social, es uno de los obstáculos fundamentales de toda política ambiental racional (González-Estrada y Camacho-Amador, 2011).

Deseo que la presente investigación contribuya a la reflexión científica y crítica de los problemas de México y del mundo.

II.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En este capítulo se presentan tres apartados para conocer el planteamiento del problema de ésta investigación. En el primero, se desarrollaron las implicaciones económicas que tienen los costos por las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en México y lo que está realizando el gobierno para mitigar y adaptarse al cambio climático. En el segundo apartado, se muestra el tema de las emisiones de (GEI) y las metas de reducción del Gobierno en la agricultura mexicana. Por último, se plantea el problema específico de esta investigación, el cálculo de los costos ambientales por emisiones de óxidos nitrosos (N_2O) de la fertilización química en la agricultura mexicana.

2.1. Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), los costos y las metas de reducción del Gobierno de México.

A nivel mundial en el año 2006, cerca de 20 países generaron el 76% de las emisiones mundiales de bióxido de carbono (CO_2) debido a la quema de combustibles, de los cuales tan sólo dos países, Estados Unidos y China contribuyeron con el 40% de las emisiones totales (Cuadro 1). México en ese año ocupó la posición número 12 de los 20 países, con un total de 416.26 millones de toneladas de CO_2 ; es decir, contribuyó con el 1.5% de las emisiones globales (INE-SEMARNAT, 2009).

Por otra parte, según reportes del Banco Mundial se han incrementado las emisiones *per cápita* CO₂ de México, las cuales presentaron la siguiente variación: en 1970 se incrementaron 1.33 veces con 2.20 ton de bióxido de carbono por habitante respecto a 1960 (cuando fue de 1.64 ton de CO₂); en 1980 aumentó 2.37 veces respecto a 1960 (con 3.9 ton) y recientemente en 2008, las emisiones *per cápita* de México fueron de 4.30 ton de CO₂ por habitante, por lo que aumentaron 2.62 veces en relación a las emisiones de 1960.

Cuadro 1. Países con mayores emisiones globales de bióxido de carbono(CO₂) generadas por el consumo de combustibles fósiles, en 2006.

Posición del país emisor de CO ₂	País	Población (millones)	PIB (miles de millones de dólares) 2000	PIB <i>per cápita</i> (dólares) 2000	Emisiones de CO ₂ (millones ton)	CO ₂ (ton <i>per cápita</i>)	Contribución a emisiones globales en (%)
1	Estados Unidos	299.8	11,265.2	37,572	5696.8	19.00	20.34
2	China	1,311.8	2,092.2	1,595	5606.5	4.27	20.02
3	India	1,109.8	703.3	634.00	1249.7	1.13	4.46
4	Japón	127.8	5,087.1	39,818	1212.7	9.49	4.33
5	Alemania	82.4	2,011.2	27,373	823.5	10.00	2.94
6	Reino Unido	60.5	1,684.7	27,832	536.5	8.86	1.92
7	Francia	63.2	1,468.3	23,233	377.5	5.97	1.35
8	Italia	58.9	1,157.0	19,657	448.0	7.61	1.60
9	Brasil	189.3	765.1	4,041	332.4	1.76	1.19
10	Rusia	142.5	373.2	2,619.00	1587.2	11.14	5.67
11	España	44.1	708.2	16,070	327.7	7.43	1.17
12	México	104.8	665.2	6,350.00	416.3	3.97	1.49
13	Canadá	32.6	844.6	25,892	538.8	16.52	1.92
14	Corea del Sur	48.3	671.3	13,899	476.1	9.86	1.70
15	Indonesia	223	219.3	983	334.6	1.50	1.20
16	Austria	20.7	481.4	23,211	394.5	19.02	1.41
17	Turquía	73.0	261.2	2,580	239.7	3.29	0.86
18	Argentina	39.1	340.2	8,693	148.7	3.80	0.53
19	Tailandia	63.4	165.0	2,600	217	3.42	0.77
20	Irán	70.1	140.3	2,002	432.8	6.17	1.55 =76.42

Fuente: Elaboración propia con datos de INE-SEMARNAT (2009). *México Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Págs. 107-109.

De acuerdo con los resultados de investigaciones económicas con base científica, “a nivel global los impactos directos adversos previsibles —debidos al incremento de la temperatura, la elevación del nivel del mar y la intensificación de fenómenos meteorológicos extremos— implicarán costos superiores al 1% del PIB anual, y podrían incrementarse hasta un 15% o más si se mantiene la inacción en el presente” (SEMARNAT, 2008).

En cuanto a la valuación de los costos totales del cambio climático en México, se han realizado proyecciones como la del 2100, que se sintetiza en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Costos totales del cambio climático para el 2100 en México (como %del producto interno bruto).

Sector	2100											
	Tasa de descuento 0.5%				Tasa de descuento 2%				Tasa de descuento 4%			
	B1	A1B	A2	Promedio de los escenarios	B1	A1B	A2	Promedio de los escenarios	B1	A1B	A2	Promedio de los escenarios
Agrícola	7.54	11.15	11.05	9.91	3.34	4.83	4.63	4.26	1.35	1.91	1.74	1.67
Agua	18.85	18.85	18.85	18.85	9.41	9.41	9.41	9.41	4.5	4.5	4.5	4.5
Uso de suelo	-0.41	-0.28	-0.15	-0.28	-0.12	-0.08	-0.04	-0.08	-	-	-	-0.02
Biodiversidad	0.18	0.67	0.71	0.52	0.06	0.22	0.24	0.17	0.02	0.05	0.06	0.04
Turismo Internacional	0.09	0.19	0.18	0.16	0.04	0.08	0.07	0.06	0.02	0.03	0.03	0.02
TOTAL	26.24	30.58	30.64	29.16	12.73	14.46	14.30	13.83	5.86	6.48	6.32	6.22
Pecuario	3.76	5.27	5.18	4.73	1.68	2.32	2.21	2.07	0.69	0.94	0.86	0.83
Biodiversidad Indirecto	3.63	8.53	7.58	6.58	1.35	3.04	2.63	2.34	0.42	0.80	0.69	0.63
TOTAL (Incluyendo pecuario y biodiversidad indirecto)	33.63	44.38	43.40	40.47	15.76	19.82	19.14	18.24	6.96	8.21	7.86	7.68

Fuente: SEMARNAT-SHCP (2009). La economía del cambio climático en México, pág. 55.

Los costos totales del cambio climático para México en el año 2100 serán de aproximadamente el 6.2% del producto interno bruto (PIB), a una tasa de descuento del 4%. El sector agrícola contribuirá con 1.67% de los costos. En ésta evaluación se consideró una separación entre los costos de mercado y aquellos que no pasan por el mercado, por lo que los resultados anteriores son muy sensibles a los supuestos utilizados, tales como las tasas de descuento o el ritmo de crecimiento económico.

En México se ha planteando la necesidad de realizar acciones para reducir las emisiones en un 50% para el 2050 (tomando como base el año 2002). Los pronósticos de los costos totales de la reducción de emisiones de bióxido de carbono (CO₂) para la meta de 50% en el 2050 se sintetizan en el Cuadro 3. Estos costos se ubican, con una tasa del 4%, entre 0.56% y 1.75% del PIB dependiendo del precio de la tonelada de carbono. Asimismo, se incluyeron los costos de mitigación con reducciones al 50% de emisiones al 2100 (respecto al 2002) que para una tasa del 4% se ubicaron entre 0.7% y 2.2% del PIB, dependiendo del valor de la tonelada de carbono (Cuadro 4).

Cuadro 3. Costo total de la reducción de emisiones de CO₂ para la meta de 50% en el 2050 (respecto al 2002).

COSTOS	% PIB		
	0.50%	2%	4%
9.56 dólares por tonelada	1.03	0.77	0.56
30 dólares por tonelada	3.24	2.43	1.75

Fuente: SEMARNAT-SHCP (2009). La economía del cambio climático en México, pág. 55.

Cuadro 4. Costos totales de la reducción de emisiones de CO₂ para la meta de 50% en el 2100 (respecto al 2002).

COSTOS	% PIB		
	0.50%	2%	4%
9.56 dólares por tonelada	2.10	1.20	0.70
30 dólares por tonelada	6.60	3.76	2.21

Fuente: SEMARNAT-SHCP (2009). La economía del cambio climático en México, pág. 55.

Ambos resultados representan un avance en términos del cálculo aproximado de los costos de las emisiones que se generan en el país. Sin embargo, su estimación se basa en predicciones de modelos climatológicos, con poca exactitud en cuanto a los costos objetivos que se generan. Además, faltan estudios particulares que calculen los verdaderos costos por emisiones de gases efecto de invernadero (GEI) que ocasionan las diferentes actividades económicas o prácticas, como la fertilización agrícola de México.

Ante el problema del incremento de las emisiones de gases efecto invernadero, el gobierno mexicano está planteando la necesidad de realizar acciones para reducir las emisiones generadas por los diferentes sectores económicos. Por ejemplo, en 2007 el presidente de México (Felipe Calderón) presentó públicamente la *estrategia nacional de cambio climático* y dio instrucciones para que, con base en ella, la comisión intersecretarial de cambio climático elaborara un programa especial de cambio climático (PECC) 2008–2012, en el marco del Plan Nacional de Desarrollo 2007–2012.

Se estima que con el cumplimiento cabal del PECC se podría alcanzar una reducción total de emisiones anuales en 2012, de alrededor de 51 millones de toneladas (Mt) de CO₂e, con respecto al escenario tendencial (línea base al 2012 que ascendería a 786 Mt de CO₂e), y como resultado de acciones desarrolladas en los sectores relacionados con la generación y uso de energía, agricultura, bosques y otros usos del suelo, y desechos. Así, la meta total de reducción de GEI al 2012, desagregada por categoría y subcategoría, se resume en la Figura 1 y en el Cuadro 5.

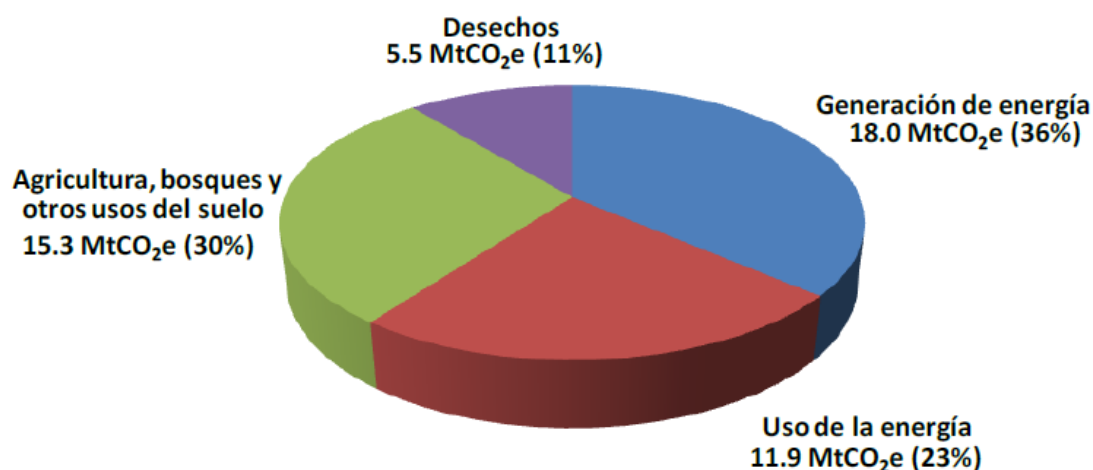


Figura 1. Reducciones de gases de efecto invernadero (GEI) por sectores de México en 2012.

Fuente: DOF (2009). *Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012*. Pág. 14.

En el rubro correspondiente a generación de energía se tiene contemplado reducir la mayor cantidad, con 18 MtCO₂e (o el 36%); le siguen en orden de importancia la agricultura, bosques y otros usos del suelo con 15.3 MtCO₂e (30%); en materia de uso de energía, la meta de reducción asciende a 11.9 MtCO₂e (23%); en tanto que en la categoría de desechos se reducirán 5.5 MtCO₂e o el 11% (DOF, 2009).

En el Cuadro 5 se observa que, en lo que respecta a la categoría de la agricultura, bosques y otros usos de suelo, las subcategorías con las que se plantea realizar una mayor reducción de las emisiones de GEI en el 2012 son la de bosques, con 9.96 MtCO₂e (65.1%), y la de frontera forestal agrícola con 3.48MtCO₂e (22.75 %), el resto lo aportarían la agricultura, con 0.95 MtCO₂e o 6.21%, y la ganadería con 0.91 MtCO₂e (5.95%).

Datos paradójicos los anteriores, ya que a pesar de que la ganadería contribuye según el Instituto Nacional de Ecología (INE, 2006) con aproximadamente el 84% de las emisiones de esta categoría, es en la que se han planteado menores metas de reducción.

Cuadro 5. Metas de reducción de gases de efecto invernadero (GEI) para el 2012 y el período 2008–2012 en México.

Categoría	INEGEI* (MtCO ₂ e)	Meta de mitigación (MtCO ₂ e)			
		2008-2012	2012	Acumulado	
	2006			Del 2012	%
Generación de energía	196.53	51.78	18.03	18.03	35.6
▪ Petróleo y gas	84.07	40.83	10.33	10.33	20.4
▪ Electricidad	112.46	10.95	7.70	18.03	35.6
Uso de energía	233.50	22.21	11.87	29.90	59.0
▪ Transporte	144.63	11.35	5.74	23.77	46.9
▪ Sector residual, comercial y municipios	24.88	8.80	5.53	29.30	57.8
▪ Industria	56.83	1.82	0.52	29.82	58.9
▪ Administración Pública Federal	...	0.25	0.08	29.90	59.0
▪ Otros usos	7.16	...	...	...	...
Agricultura, bosques y otros usos de suelo	131.56	46.46	15.29	45.19	89.2
▪ Agricultura	42.56	2.52	0.95	30.85	60.9
▪ Ganadería		2.14	0.91	31.76	62.7
▪ Bosques	89.00	30.20	9.96	41.72	82.4
▪ Frontera forestal agropecuaria		11.60	3.48	45.19	89.2
Desechos	100.42	8.58	5.46	50.65	100.0
▪ Disposición de residuos sólidos urbanos	53.83	7.56	4.44	49.63	98.0
▪ Descargas y tratamiento de aguas residuales	46.39	1.02	1.02	50.65	100.0
▪ Otros residuos	0.20	...	...	...	...
Procesos industriales	53.29	...	...	...	...
Total	715.30	129.03	50.65	50.65	100.0

*Datos preliminares de INEGEI 2006, a publicarse en 2009.

Fuente: DOF (2009). *Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012*. Pág. 29.

2.2. Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y metas de reducción del Gobierno en la agricultura mexicana.

A nivel mundial, el grupo del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), en su informe de síntesis sobre el cambio climático 2007, señalan que “las actividades agrícolas con el 13.5% y la silvicultura con 17.4% contribuyen en aproximadamente un tercio del total de emisiones de CO₂e y son la mayor fuente de metano (CH₄) procedente de la producción de ganado y de arrozales anegados. Por su parte, los óxidos nitrosos (N₂O) provienen principalmente de la utilización de fertilizantes inorgánicos nitrogenados”, como se observa en la Figura 2.

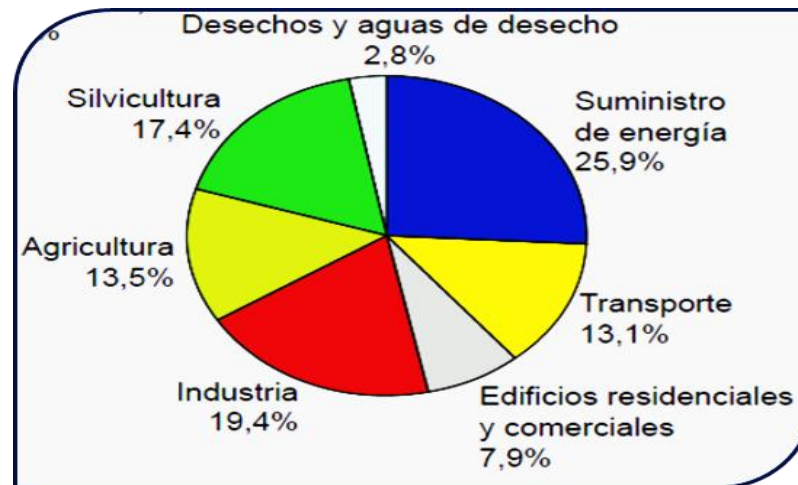


Figura 2. Emisiones mundiales de CO₂e por sector.

Fuente: OMM-PNUMA(2008). Cambio climático 2007. Informe de síntesis. Pág. 5.

La agricultura juega un papel importante en el balance de los tres gases de efecto invernadero (GEI) más importantes y el potencial de calentamiento global del N₂O y del CH₄ es considerable, de 296 y 23 veces (respectivamente) el valor de una unidad de bióxido de carbono equivalente (CO₂e), después de cien años.

En el caso de México, en el inventario nacional de gases efecto invernadero (INEGEI), se reporta que en el 2006 se emitieron aproximadamente en total 709 millones o 709,005.3 gigagramos (Gg) de toneladas de bióxido de carbono equivalente (CO₂e), de las cuales el sector agropecuario contribuyó con el 6.4% de dichas emisiones; es decir, con 45.5 millones de toneladas de CO₂e (Figura 3).

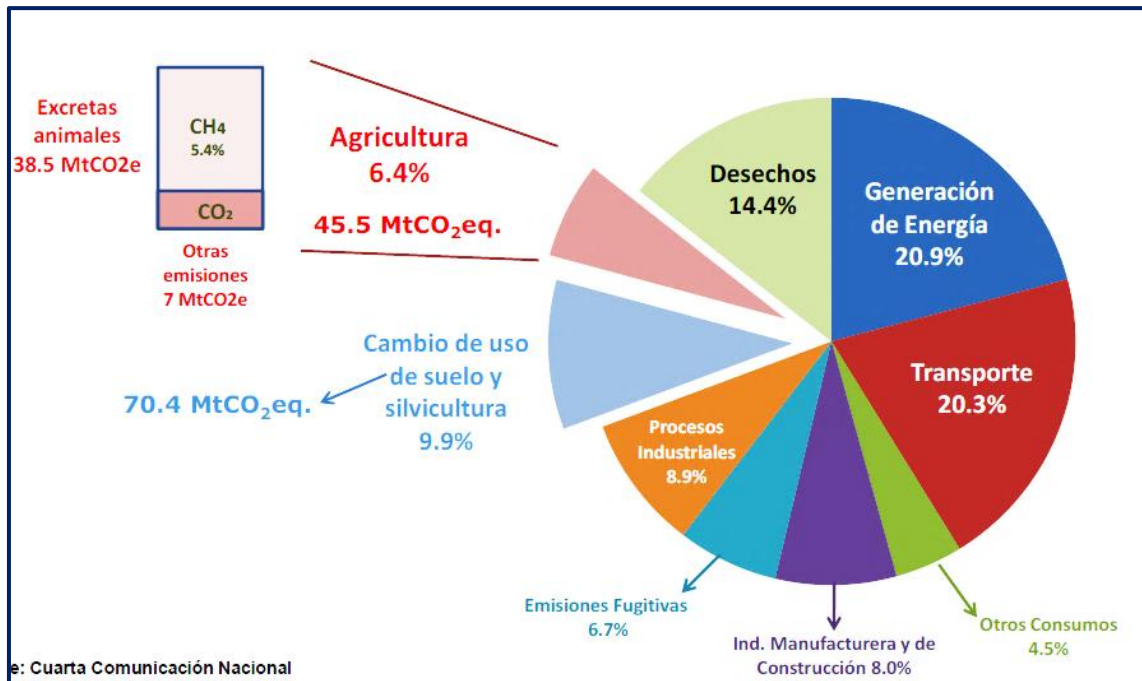


Figura 3. Emisiones por sector económico de México en el 2006.

Fuente: INE-SEMARNAT (2009). *México cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.*

El resto de las emisiones estuvo conformado, en orden de importancia, por las siguientes categorías (en CO₂e): la categoría energía representó el 60.7% de las emisiones, con 430,097 Gg; le siguieron las categorías de desechos con 14.1% (99, 627.5 Gg), la de uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura (SCUSS) con 9.9% (70,202.8 Gg) y la de procesos industriales con 9% (63,526 Gg).

En general, se han planteado diferentes objetivos y metas específicas para mitigar y adaptarse al cambio climático, algunos de ellos fueron enumerados en este apartado conforme aparecieron publicados en el programa especial para el cambio climático (PECC) 2009-2012 (DOF, 2009).

Los objetivos y las metas del programa especial para el cambio climático (PECC) de la categoría agricultura son enfocados a cuatro áreas fundamentales: reconversión productiva, uso eficiente de fertilizantes, labranza de conservación y ganadería sustentable. En éste trabajo se mencionan los objetivos generales de las cuatro áreas y sólo se describen más exhaustivamente el objetivo y las metas relacionados con las emisiones de N_2O provenientes de los fertilizantes, objeto de estudio en ésta investigación.

Respecto a la mitigación se proponen alcanzar niveles máximos deseables de emisión, que en los años 2020, 2030 y 2050, podrían ser de 43.5 MtCO₂e, 31.6 MtCO₂e y 21.4 MtCO₂e, respectivamente. Los objetivos y metas fueron publicados en el PECC 2009-2012 (DOF, 2009) y son:

Objetivo 2.3.1. Reconvertir tierras agropecuarias degradadas y con bajo potencial productivo y siniestralidad recurrente a sistemas sustentables.

Objetivo 2.3.2. Fomento a la cosecha en verde de la caña de azúcar.

Objetivo 2.3.3. Reducir emisiones de N_2O provenientes de fertilizantes.

Metas

M.59 Desarrollar y publicar un manual de buenas prácticas para el uso de fertilizantes, durante el periodo 2008-2012.

M.60 Producir bio-fertilizantes para su aplicación en un área de 2 millones de hectáreas en 2012, con un ahorro de 15% de fertilizantes: 0.29 MtCO₂e (2008-2012); 0.12 MtCO₂e (en 2012).

Objetivo 2.3.4. Fomentar prácticas agrícolas sustentables, como la labranza de conservación para mantener las reservas de carbono e incrementar sus capacidades de captura.

En cuanto a la adaptación, los objetivos planteados en el programa especial para el cambio climático (PECC) se refieren a los avances deseables hasta el año 2012, y se enfocan hacia la instauración de un proceso de adaptación integral en el sector agrícola del país, con los siguientes objetivos:

Objetivo 3.3.1 Reducir la vulnerabilidad del sector agrícola y asegurar la agrobiodiversidad del país ante los efectos del cambio climático.

Objetivo 3.3.2 Modernizar la infraestructura hidroagrícola y tecnificar las superficies agrícolas en coordinación con usuarios y autoridades locales.

Objetivo 3.3.3 Profundizar el conocimiento sobre los impactos y la vulnerabilidad del sector agrícola ante la variabilidad y el cambio climático.

2.3. Problemas a resolver con esta investigación.

Está científicamente documentado que las actividades productivas de la sociedad actual impactan en el desarrollo del planeta tierra, con el creciente calentamiento global de origen antropogénico, en la dinámica de los climas y en la disponibilidad de recursos naturales (González-Estrada y Camacho-Amador, 2011 y Vinogradov, 1991).

No obstante la relevancia del problema, se ha descuidado la investigación para la generación de inventarios de emisiones de gases efecto invernadero (GEI) y la evaluación de los costos ambientales por emisiones que ocasionan las diferentes actividades económicas y, en específico, las que se generan por diferentes prácticas agrícolas, como la fertilización, y se han enfocado más en pronosticar las repercusiones del cambio climático y la vulnerabilidad de los sectores económicos. Preocupados por el futuro se han olvidado del presente.

Dentro de los sectores económicos, la agricultura mexicana es una fuente importante de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente a través de la fertilización nitrogenada, la cual emite un importante gas de efecto invernadero: el óxido nitroso (N_2O). No obstante su importancia, se desconoce el nivel de emisiones en bióxido de carbono equivalente (CO_2e) por (N_2O) de la fertilización en México. Es por ello que el primer problema a resolver en ésta investigación fue el de realizar un inventario de gases de efecto invernadero (GEI) de la fertilización para el período 1980-2002.

El inventario de gases de efecto invernadero producidos por la fertilización química resulta importante. Se conoce que el óxido nitroso (N_2O) es generado por procesos naturales y que se incrementa con el uso excesivo y la aplicación ineficaz de fertilizantes nitrogenados. China, el mayor consumidor de fertilizantes nitrogenados en el mundo, tiene pérdidas equivalentes a la mitad del nitrógeno aplicado por volatilización y de un 5 a un 10% más por infiltración. Se prevé que las emisiones a nivel mundial de óxidos nitrosos (N_2O) por la agricultura aumentarán en un 50% para el año 2030 (FAO, 2002).

En México se han hecho intentos por estimar los impactos económicos de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del uso de fertilizantes nitrogenados, los cuales son parciales e insatisfactorios. En 2002, se reportó el dato de que se consumieron cerca de 1.5 millones de toneladas de fertilizantes nitrogenados y que sus emisiones tuvieron un valor en bonos de carbono de aproximadamente 757 millones de pesos anualmente, estimación que varía según el tipo de cambio y el precio del bono (INE-SEMARNAT, 2005).

Por todo lo anterior, resulta necesario y relevante, que una vez cuantificadas las emisiones por el uso de fertilizantes nitrogenados en la agricultura mexicana (en CO_2e), se calcule su respectivo costo ambiental. Esta información es absolutamente necesaria para poder definir las metas y los objetivos de mitigación-adaptación al cambio climático, para la evaluación de los costos ambientales reales producidos por las emisiones que se generan en la producción agrícola de México y, en particular, para la cuantificación de los costos ambientales de la fertilización química en México.

Otro problema de investigación fue la definición de una política óptima y eficiente de control de las emisiones de óxidos nitrosos (N_2O) generados por la fertilización en México y de la estimación del impuesto ambiental óptimo por cada tipo de fertilizante nitrogenado.

En general, éstos efectos negativos (externalidades ambientales) tienen un considerable costo para la sociedad y no están siendo cubiertos por quienes los ocasionan y se benefician en mayor medida. En consecuencia, los verdaderos costos de la producción agrícola actual son considerablemente mayores a los costos contables, de carácter privado, que son los que pagan las empresas y demás agentes económicos. En estas condiciones, el proceso económico resulta ineficiente desde el punto de vista económico, social y ecológico, ya que los agentes económicos no se enfrentan en la toma decisiones con los verdaderos costos de sus actividades; como lo señalan para tales casos González-Estrada (2003 y 2004) y González-Estrada y Camacho-Amador (2011).

Lo anterior significa que para obtener asignaciones eficientes en presencia de externalidades se requiere que los agentes paguen el costo correcto por sus acciones (Gonzalez-Estrada,2004).

III.- OBJETIVOS.

- Calcular las emisiones de óxidos nitrosos (N_2O), en bióxido de carbono equivalente (CO_2e), de la fertilización nitrogenada en la agricultura mexicana;
- Obtener los costos ambientales de las emisiones de óxidos nitrosos (N_2O) en CO_2e por el consumo de fertilizantes nitrogenados en la agricultura mexicana;
- Estimar el impuesto ambiental óptimo de las emisiones de los fertilizantes y por cada tipo de fertilizante nitrogenado, y
- Definir la política óptima y eficiente para el uso de fertilizantes nitrogenados en la agricultura de México.

IV.- HIPÓTESIS.

- Con las prácticas actuales de fertilización nitrogenada, la producción y las políticas agrícolas son ineficientes, pues no son consistentes con los costos ambientales que genera ésta actividad económica;
- Las externalidades negativas causadas por la fertilización nitrogenada en la agricultura mexicana no están siendo pagadas por el generador de la misma y, por lo tanto, no aparecen en los costos privados de producción de las empresas, ni se expresan en el precio de mercado. Por lo que aparecen entonces, como una falla del mercado que es asumida por toda la sociedad, y
- Si se incorporan en la estructura de costos de los agentes económicos los “costos ambientales”, se introduciría eficiencia en la economía en general y se contribuiría a mitigar los efectos negativos que se ocasionan.

V.- MARCO TEÓRICO.

En este capítulo se revisan los fundamentos teóricos económicos de los diferentes enfoques de equilibrio parcial y general de la economía que se han propuesto para internalizar las externalidades negativas, como la contaminación ambiental, en la estructura de costos de la economía.

Para ello, se estudian los planteamientos de la perspectiva Neoclásica de análisis de equilibrio parcial; un enfoque comúnmente difundido y no obstante, insatisfactorio. Además, se retoman los planteamientos de Marx referente a la relación entre economía, recursos naturales, uso de suelo y fertilizantes. Por último, se aborda un enfoque teóricamente más completo, el del equilibrio general y la propuesta de la política de control ambiental óptima, propuesto por González-Estrada (2003 y 2004).

5.1. Fallas del mercado y degradación ambiental en la teoría Neoclásica.

Las fallas de mercado son un componente esencial para explicar la degradación ambiental en la corriente neoclásica.

Las fallas del mercado pueden deberse a varios factores:

1. La existencia de competencia imperfecta;

2. Ausencia de información perfecta acerca de cualquier fase del mercado;
3. La existencia de bienes públicos, y
4. La presencia de externalidades.

La degradación ambiental producida por las actividades económicas provoca costos sociales que deben sumarse a los costos privados. Esta externalidad es una de las llamadas fallas del mercado, ya que se produce un efecto negativo sobre el bienestar de la población y sobre la riqueza social.

Cuando las acciones de un agente afectan el entorno de otro agente, decimos que existe una externalidad, ésta puede ocurrir en el consumo o en la producción. Existe una *externalidad en el consumo*, cuando la utilidad de un consumidor se ve afectada directamente por las acciones de otro. También, se dice que existe una *externalidad en la producción* cuando el conjunto de producción de una empresa se ve afectado directamente por las acciones de otro agente (Varian, 1992).

Las externalidades y los costos ambientales.

Se entiende por “externalidad” a todos los costos o beneficios que recaen sobre la sociedad y el ambiente como consecuencia de una actividad económica. También se interpreta como una divergencia, ya sea entre los costos privados y los costos sociales, o entre la ganancia privada y la ganancia social (Leroy, 1995).

La teoría de las externalidades ha sido ampliamente estudiada a partir de Coase (1960). Su cuantificación, basada generalmente en resultados experimentales «obtenidos por métodos estadísticos» fue aplicada al medio ambiente por Hartwick (1977 y 1990), Tietenberg (1988), Daly (1989) Cummings y Harrison (1995), Hausman (1993), Johansson (1990), Loomis (1995), Pearce (1993), Pearce y Turner (1990).

“El problema de estas externalidades es que tienen efectos acumulativos y que no se toman previsiones para su restauración hasta que el fenómeno causa víctimas o destruye visiblemente el ambiente o las inversiones realizadas” (Tomasini, 1995).

Así, antes de definir el pago a realizar, es necesario determinar el verdadero costo ambiental para poder implementar las políticas fiscales-ambientales socialmente óptimas.

Los costos inducidos por externalidades causan un cambio en la curva de oferta (O^0), cuya desviación estará en proporción a la diferencia entre el costo marginal social y el costo marginal privado (Figura 4).

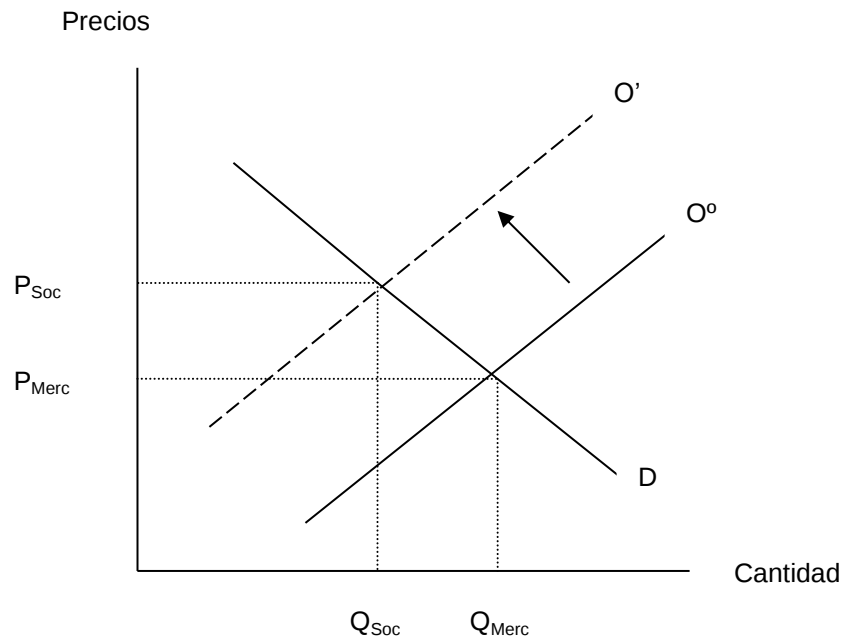


Figura 4. Costos externos de producción.

Fuente: Apuntes del curso de Microeconomía II, (González-Estrada, 2010).

Así, se concluye que el impuesto ambiental (a pagar por el agente contaminador) debe ser igual a la diferencia entre el precio social (P_{Soc}) y el precio de mercado (P_{Merc}):

$$\tau_{Ambiental} = P_{Soc} - P_{Merc}.$$

En la figura 5. Se observa que “las tasas impositivas a las externalidades provocarán una curva de relación entre los costos de la producción y los costos de la contaminación que se nombran como curva de abatimiento marginal de costos, AMC y función de daños marginales, FDM.

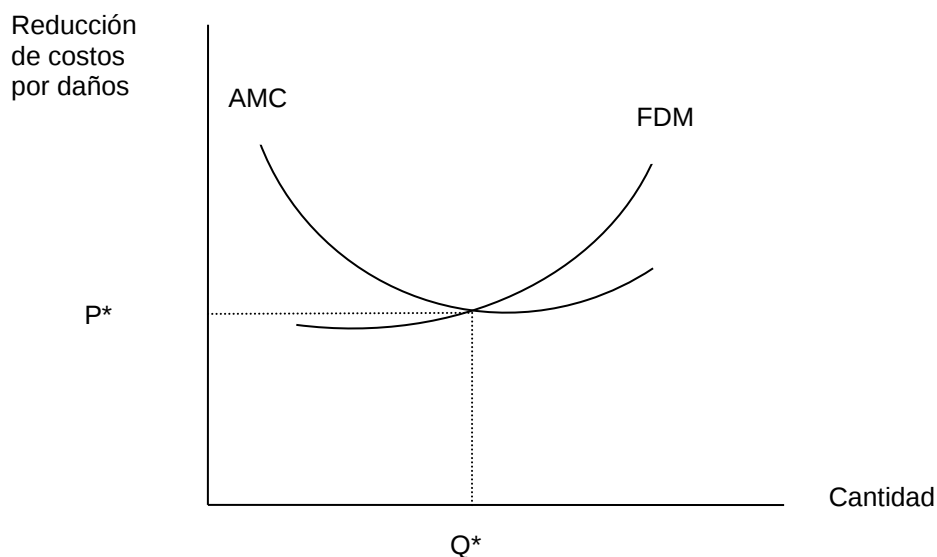


Figura 5. Curvas de abatimiento de daños versus función de daños.

Fuente: Tarrab(2004).

El punto en que las curvas se cortan, es aproximadamente el que tenderá a llevar el mercado a regular la emisión de contaminantes, como la de los fertilizantes químicos, con base en los costos sociales marginales.

De ser posible resolver las externalidades con los impuestos a las actividades contaminantes, se llegaría en algún momento a reducir, estabilizar o hacer retroceder la contaminación (Tarrab, 2004).

La explicación neoclásica propone soluciones que no pueden ser desechadas, porque están intentando reasignar parte de los recursos de la producción capitalista a la restauración del ambiente.

5.2. El enfoque marxista.

La relación entre economía y recursos naturales.

En cuanto a la relevancia de los recursos naturales, Marx (1999) señala que:

“las condiciones de la naturaleza exterior se agrupan económicamente en dos grandes categorías: riqueza natural de medios de vida, es decir, fecundidad del suelo, riqueza pesquera, etc., y riqueza natural de medios de trabajo, saltos de agua, ríos navegables, madera, metales, carbón, entre otros. En los comienzos de la civilización es fundamental y decisiva la primera clase de riqueza natural; al llegar a un cierto grado de progreso, la primacía corresponde a la segunda”.

También Marx menciona que: “cuanto más reducidas sean las necesidades naturales de indispensable satisfacción y mayores la fecundidad natural del suelo y la bondad del clima, menor será el tiempo de trabajo necesario para la conservación y reproducción del productor, y mayor podrá ser, el remanente del trabajo entregado a otros después de cubrir con el sus propias necesidades” (Marx, 1999). Como se ve, estos enunciados son de suma importancia, pues nos indican la relación entre el nivel de consumo de los recursos naturales *versus* provisión natural de los mismos y el tiempo de trabajo necesario para la conservación de los recursos y reproducción del productor.

Sin embargo, “el régimen de producción capitalista presupone el dominio del hombre sobre la naturaleza. Una naturaleza demasiado prodiga «lleva al hombre de la mano como un niño en andaderas». No le obliga, por imposición natural, a desenvolver sus facultades”. En el sector agrícola ocurre algo similar pues según Marx: “todo progreso realizado en la agricultura capitalista no es solamente un progreso en el arte de esquilmar al obrero, sino también en el arte de esquilmar la tierra...” (Marx, 1999).

Como ejemplo del arte de esquilmar la tierra, tenemos los cambios en la fertilidad del suelo y su influencia indirecta en el precio de la renta del suelo (a través de la renta diferencial II) y, por tanto, en el precio final de los productos. Pues la fertilidad del suelo se modifica debido no sólo a las condiciones naturales, sino, también, a las condiciones económico-sociales (como las prácticas agrícolas de fertilización) que, a su vez, cambian según el carácter del desarrollo de la ciencia y la aplicación de sus resultados en la agricultura.

Donde el progreso técnico, es un proceso de desarrollo y perfeccionamiento de la técnica y de la tecnología de la producción en la economía nacional, que puede elevar la productividad del trabajo social y permitir incrementar la fabricación de productos con gastos menores de trabajo.

La renta del suelo y los fertilizantes en el capitalismo.

En la agricultura desempeña un papel de singular importancia la tierra, cuya particularidad estriba en no ser un producto del trabajo humano, como ocurre con otros medios de producción y se halla limitada no sólo la cantidad de toda la tierra, sino, además, las dimensiones de las tierras de diferente calidad.

Bajo el capitalismo, la renta del suelo presenta dos formas principales: la renta diferencial (que se divide, a su vez, en renta diferencial I y II) y la renta absoluta.

Por renta diferencial, se entiende al excedente de la ganancia sobre la ganancia media, obtenida en las tierras explotadas en las condiciones más favorables de producción; ésta renta constituye la diferencia entre el precio general de producción, determinado por las condiciones de ésta en las tierras peores, y el precio individual de producción en las tierras mejores y medianas. Esta ganancia adicional la crea el trabajo de los obreros agrícolas y la diferencia de fertilidad entre las tierras es, simplemente, la premisa para una productividad más alta del trabajo en las tierras mejores (Academia de ciencias de la URSS, 1960).

La renta diferencial I, se refiere al excedente de la ganancia por encima de la ganancia media obtenida a consecuencia de la diferente productividad de los capitales invertidos en tierras desiguales por su fertilidad natural o por susituación respecto al mercado. La formación de la renta diferencial I va unida, ante todo, a la diferencia de fertilidad natural de las tierras. La renta diferencial I es el resultado del plustrabajo de los obreros, trabajo que posee mayor productividad en las tierras relativamente mejores (Borisov, 2009).

En resumen, la renta diferencial I se halla relacionada con la diferente fertilidad del suelo y las diferentes situaciones de la tierra con respecto al mercado de venta de productos (Academia de ciencias de la URSS, 1960).

La renta diferencial II, es el excedente de la gananciasobre la ganancia media obtenido gracias a inversiones adicionalesde capital relativamente más productivas.

La magnitud de la renta diferencial II es determinada por la diferencia entre el precio social y el precio individual de producción, diferencia que surge cuando se realizan inversiones adicionales de capital. Así, la renta II es producto de la inversión de trabajo y de medios de producción adicionales (como el uso de fertilizantes) en la misma área de tierra, es decir, de la intensificación de la agricultura.

Es en la renta diferencial II, donde se identifica la repercusión indirecta que tiene la utilización de fertilizantes en los precios de la renta del suelo.

No obstante la relevancia de la utilización de los fertilizantes en la agricultura y su repercusión indirecta en el precio de mercado de los productos agrícolas, no se deben olvidar los costos correspondientes a las externalidades ambientales, serie de gastos que no asumen las empresas capitalistas, pero que existen objetivamente. Es decir, la repercusión ambiental del uso de fertilizantes en la agricultura, aún no es considerada en los costos de producción. Por lo que aparece como una falla del mercado, que es generada por las empresas y que paga toda la sociedad.

Al mismo Marx se le olvidó este aspecto, pues sólo señaló: “la compra de mercancías en el mercado para ingresarlos en el proceso productivo se realiza siguiendo las reglas de ese mercado, y el valor que se debe incorporar en los costos de producción deben ser exactamente los que se gastaron para producirlos” (Marx, 1999). Como se observa, no contabiliza las externalidades negativas.

El marxismo no señala cómo imputar un costo de oportunidad o precio sombra por las externalidades ambientales que generan los sectores económicos. Por tanto, ¿cómo imputarles un costo de oportunidad o precio sombra?

Para dar respuesta a la interrogante anterior se retoman en esta tesis algunos planteamientos del equilibrio general y las soluciones propuestas y demostradas por González-Estrada (2003 y 2004).

5.3. Las externalidades en la teoría del equilibrio general.

El equilibrio general de una economía es un conjunto de secuencias de precios y de asignaciones tales que: las empresas maximizan ganancias, dada su tecnología y disponibilidad de recursos; las unidades familiares maximizan bienestar sujeto a su presupuesto intertemporal; se cumplen las condiciones de factibilidad económica y, finalmente, los mercados de bienes y factores se equilibran (González-Estrada, 2010).

González-Estrada (2003) señala que la inclusión explícita de las externalidades en los modelos de equilibrio general resulta importante porque es el procedimiento para incluir todo tipo de distorsiones en el análisis global. Donde la inclusión de externalidades en el modelo Herckscher-Ohlin-Samuelson (H-O-S) de equilibrio general, requiere la modificación de la estructura de costos de las empresas, de tal manera que sean incluidos los efectos externos de la producción. También, se requiere que la función de decisión que define el consumo de cada una de las unidades familiares tenga como argumento los niveles de consumo de las demás unidades familiares (Wan, 1992). La generalización de esta sugerencia metodológica se encuentra en González-Estrada (2003).

En general, González-Estrada (2003) reformuló la teoría Heckscher-Ohlin-Samuelson (H-O-S) del equilibrio general para una economía con contaminación ambiental, presentó la caracterización del equilibrio competitivo general para esa clase de economías y los teoremas que definen los efectos Stolper-Samuelson sobre la contaminación y la calidad ambiental, así como las demostraciones respectivas.

El método usado en la anterior investigación consistió en introducir la contaminación en las funciones de producción y en la estructura de costos de las empresas, dentro de la teoría H-O-S de equilibrio general. Se partió de la estructura axiomatizada de esa teoría y se le modificó con la introducción de externalidades ambientales.

El instrumento analítico usado es la teoría de la dualidad, debido a lo cual se usan funciones indirectas de costo, de gasto, de utilidad y del producto nacional bruto (PNB), en lugar de funciones directas de producción, de utilidad, y de transformación técnica (González-Estrada, 2003).

Efectos de las externalidades en el producto nacional bruto (PNB)

De acuerdo con González-Estrada (2004): “es claro que el producto nacional bruto (PNB) obtenido espontáneamente por el mercado en un medio con externalidades ambientales negativas es mayor que la solución óptima en el sentido de Pareto, puesto que en las asignaciones libres de mercado $\tau = 0$ ”. Es decir, las asignaciones de equilibrio general de la economía con contaminación no son eficientes ni óptimas en el sentido de Pareto. Por lo que la solución eficiente produciría un PNB menor que el que produce el mercado competitivo. La expresión matemática es la siguiente:

$$Y_1 \text{ planificación. Social} = \frac{\delta \text{ PNB}}{p_1 + \tau} < Y_1 \text{ mercado} = \frac{\delta \text{ PNB}}{p_1}, 0 < \tau < 1;$$

y en consecuencia:

$$\text{PNB}_{\text{planificación. Social}} < \text{PNB}_{\text{mercado}}$$

Sin embargo, lo correcto sería que:

$$\text{PNB}_{\text{planificación. Social}} = \text{PNB}_{\text{mercado}}$$

La afirmación anterior se puede corroborar prácticamente a nivel agregado en la matriz de contabilidad social (MCS) con capital natural y solución social óptima (González-Estrada y Camacho-Amador, 2011).

Además González-Estrada y Camacho-Amador (2011), demostraron que existe un producto nacional bruto sobrestimado, al no incorporar los costos por agotamiento-degradación ambiental del capital natural y al no introducir el impuesto ambiental óptimo que debería pagarse por dichas externalidades negativas.

“Por lo que es de crucial importancia realizar la internalización de la externalidad ambiental y proponer soluciones óptimas en el sentido de Pareto” (González-Estrada, 2004).

5.4. Política ambiental óptima.

González-Estrada (2004), en el artículo: *La economía de la contaminación en la teoría del equilibrio general competitivo: II. Efectos Rybczynski y políticas eficientes y óptimas de control*, dedujo matemáticamente las condiciones que debe reunir una política de control de la contaminación para ser óptima y eficiente.

Se dice que una asignación de factores de la producción es óptima de Pareto si la producción no se puede reorganizar para aumentar la cantidad producida de uno o más bienes sin disminuir la producción de algún otro artículo. En forma análoga, una asignación de bienes es un óptimo de Pareto, si la distribución no se puede reorganizar para aumentar la utilidad de uno o más individuos sin disminuir la utilidad de algún otro individuo.

De acuerdo con González-Estrada (2004): “en presencia de contaminación o de cualquier clase de externalidad, los resultados del mercado son ineficientes y no se cumple el primer teorema fundamental de la economía del bienestar”. Es decir, las asignaciones del mercado o del equilibrio general no son Pareto óptimas en presencia de externalidades.

Primer teorema fundamental: “Si las preferencias son localmente no saciadas y si (x^*, y^*, p^*) es un vector de precios de equilibrio con transferencias, entonces la asignación (x^*, y^*) es un óptimo de Pareto. En particular, las asignaciones de equilibrio walrrasiano son óptimos de Pareto” (Mas-Colell, *et al.*, 1995).

La solución teórica al problema anterior de acuerdo con González-Estrada (2004) es: “la definición de asignaciones eficientes en presencia de externalidades ambientales, lo cual presupone la definición de políticas que aseguren que los agentes económicos se enfrenten a precios que reflejen correctamente los efectos de sus decisiones”. Por lo que para lograr una asignación eficiente en presencia de externalidades significa esencialmente asegurarse de que los agentes paguen el precio correcto por sus acciones (Varian, 1992).

La aplicación de lo anterior es descrita por el segundo teorema de la economía del bienestar, pues menciona cómo cualquier asignación óptima de Pareto puede ser instrumentada como una asignación de equilibrio de mercado con transferencias o por una adecuada redistribución del ingreso inicial (González-Estrada, 2010).

Segundo teorema fundamental: “Considérese una economía específica por $(\{x_i, \succeq_i\}_{i=1}^I), (\{Y_j\}_{j=1}^J, \hat{w})$, y suponga que Y_j es convexa y que cada relación de preferencia $\succeq_i$ es convexa y localmente no saciada, entonces para cada asignación óptima de Pareto (x^*, y^*) , existe un vector de precios”, tal que (x^*, y^*, p) es un vector de quasiequilibrio con transferencias” (Mas-Colell, et al., 1995).

González-Estrada (2004) planteó los posibles escenarios jurídico-políticos de políticas óptimas de control de la contaminación para dos sectores, los cuales cambian con el régimen de propiedad existente. Ya que de acuerdo con el teorema de Coase (1960), si los derechos de propiedad están bien definidos y si los costos de transacción son nulos, el mercado conduciría espontáneamente a la internalización de la externalidad, independientemente de la forma en que los derechos de propiedad hayan sido definidos. El problema en el caso de algunos recursos naturales es que no existen derechos de propiedad bien definidos y de ahí el uso irracional.

En esta investigación la economía se divide en z sectores: el sector I, el agrícola y el sector II, que representa al resto de sectores de la economía.

Para una economía con contaminación, en la que el sector I contamina con el uso de fertilizantes, existe un plan de producción alternativo $\{Y_1', Y_2'\}$ que es estrictamente preferible al plan $\{Y_1, Y_2\}$, desde el punto de vista social, el cual incrementa las ganancias agregadas y produce incentivos de mercado para que se coordinen los planes de producción, y se internalice la externalidad ambiental.

Impuestos pigouvianos.

Pigou (1920), propuso para resolver el problema de las externalidades el cobro de un impuesto, similar a la disparidad entre el costo social y los costos privados. Si esta tasa es pagada por el generador de la externalidad, esto servirá para igualar el costo social marginal con el costo marginal privado.

Este autor además, intentó demostrar que existe una serie de situaciones -no sólo las externalidades negativas- en las que el funcionamiento del mercado no conduce a una buena asignación de recursos o a resultados socialmente adecuados. Idea que suponía cuestionar profundamente el funcionamiento del sistema de libre competencia, y en consecuencia era conveniente acudir a la intervención del Estado para alcanzar el óptimo social.

De acuerdo con Varian (1992), lo que ocurre es que el precio al que se enfrentan las empresas contaminantes no es el adecuado, por lo que se puede imponer un pago correctivo que asigne eficientemente los recursos, este tipo de impuesto es llamado comúnmente impuesto pigouviano.

El principio es que el Estado les cobre un impuesto (τ) a los agentes económicos que produzcan una externalidad negativa. Lo contrario si la externalidad es positiva:

$$0 < \tau \equiv e'(x) < 1$$

De acuerdo con González-Estrada (2010), el caso de que la agricultura genere una externalidad negativa como las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) por el uso de fertilizantes nitrogenados, el problema es:

$$\text{Max}[(p - \tau) x - c'(x)]$$

CPO:

$$(p - \tau) x - c'(x) = 0$$

es decir:

$$p^* = c'(x) + \tau = c'(x) + e'(x)$$

En consecuencia la política eficiente de control de la externalidad negativa, consiste en introducir un impuesto óptimo:

$$\tau^* = -e'(x)^*$$

tal que

$$p^* = c'(x)^* + e'(x)^*$$

Por lo que la política de control de la contaminación sería imponer un impuesto Pigouviano a los agentes contaminantes y que lo recabado sea para abatir el problema.

La solución social óptima puede instrumentarse como una solución de equilibrio, si se define rigurosamente un sistema de transferencias e impuestos que cumpla con las condiciones expresadas matemáticamente en el artículo de González-Estrada (2004), y donde el mercado proveería los incentivos adecuados para ajustar eficientemente los derechos de propiedad.

VI.- MATERIALES Y MÉTODOS.

En este apartado se presenta el instrumental metodológico utilizado para estimar el costo ambiental por emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de los fertilizantes nitrogenados en la agricultura mexicana. Para calcular el costo ambiental fue necesario, primero, calcular las emisiones de óxido nitroso (N_2O) en términos de bióxido de carbono equivalente (CO_2e), que se generan por el consumo de fertilizantes, y en segundo lugar, relacionarlas con el indicador económico apropiado. Además, se plantea el método para la definición de la política fiscal ambiental óptima eficiente por las emisiones de GEI de los fertilizantes en México y se calcula el coeficiente técnico insumo-producto de los fertilizantes.

6.1. Emisiones de óxidos nitrosos (N_2O), en términos de bióxido de carbono equivalente (CO_2e), debidas a fertilizantes nitrogenados.

El óxido nitroso (N_2O) proviene fundamentalmente de los procesos de transformación química del nitrógeno amoniacal o nítrico, que puede observarse regularmente en la naturaleza, pero que ocurre con mayor intensidad en los casos en los que se aplican fertilizantes nitrogenados en la agricultura.

La Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos reporta que la ecuación para estimar las emisiones de N₂O asociados con la aplicación de fertilizantes es la siguiente:

$$\text{Emisiones N}_2\text{O} = \text{FC} * \text{EC} * \left(\frac{44}{28}\right)$$

donde:

FC: consumo de fertilizantes (ton de N aplicado);

EC: coeficiente de emisión (0.0117 ton N₂O - N/ton N-aplicado), es decir, el 1.17 % del nitrógeno aplicado como fertilizante se libera a la atmósfera como el N₂O, y

$\frac{44}{28}$: relación de peso molecular del N₂O con relación a las moléculas de N del N₂O (N₂O/N₂O-N)³

Una vez estimadas las emisiones de óxido nitroso, es necesario conocer el poder del N₂O como gas de efecto invernadero (GEI), el cual es reportado en el inventario nacional de emisiones de efecto invernadero (1990-2002), y estimado en 296 toneladas de CO₂ por ton de N₂O (INE, 2006).

³El término $\frac{44}{28}$: se refiere a la relación de pesos moleculares; el 44 es la suma total de pesos moleculares del N₂O, de sus dos moléculas de nitrógeno que suman 28 y la de oxígeno de 16, finalmente se relaciona con el 28, el peso molecular del N₂.

La estimación de las emisiones de N₂O de México fue basada en la dinámica de consumo nacional (en nitrógeno activo) de los fertilizantes nitrogenados, para lo cual se utilizó la base de datos de FAOSTAT (Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database) del periodo de 1980 al 2002.

En resumen, la ecuación para calcular las emisiones de óxidos nitrosos (N₂O) en bióxido de carbono equivalente (CO₂e) que se generan por el uso de fertilizantes nitrogenados fue:

$$\text{Emisiones N}_2\text{O en CO}_2\text{e} = \text{FC} * \text{EC} * \left(\frac{44}{28}\right) * 296$$

donde:

FC: consumo de fertilizantes (ton de N aplicado);

EC: coeficiente de emisión (0.0117 ton N₂O - N/ton N-aplicado), es decir, el 1.17 % del nitrógeno aplicado como fertilizante se libera a la atmósfera como el N₂O;

$\frac{44}{28}$: relación de peso molecular del N₂O con relación a las moléculas de N del N₂O (N₂O/N₂O-N), y

296: factor de equivalencia o poder del N₂O como GEI.

6.2. Costo ambiental de la fertilización nitrogenada.

El planteamiento teórico que sustenta este apartado, es considerar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), externalidades negativas y a las que se le debe asociar un costo ambiental, el cual debe ser pagado en mayor o menor proporción según el efecto que genera cada agente económico (González-Estrada y Camacho Amador, 2011).

González-Alcot, *et al.* (2008), señalan que el deterioro de los recursos naturales, es directamente proporcional al tamaño de la actividad económica, lo cual nos proporciona las bases para estimar los costos ambientales que generan las diferentes ramas económicas, o una actividad específica, como la fertilización química en la agricultura (González-Estrada y Camacho-Amador, 2011).

En el trabajo *Distribución de los costos del cambio climático entre los sectores de la economía mexicana, un enfoque de insumo-producto* (SEMARNAT, 2009), se identifican los costos que representa para la economía mexicana la emisión de gases contaminantes. Como respuesta se generó un modelo insumo-producto para la estimación de costos de contaminantes y se planteó un indicador llamado: “coeficiente de emisión por rama”. Para ello, se normalizaron los valores de emisión respecto al valor bruto de la producción (VBP) en 2003.

La formula para la estimación del coeficiente de emisión por rama económica que propusieron fue la siguiente:

$$e_i = \frac{G_i}{P_i}$$

donde:

e_i : coeficiente anual de emisión de la rama i ;

G_i : gigagramos anuales (Gg) de GEI de la rama i , y

P_i : valor bruto de la producción anual de la rama i en millones de pesos.

El coeficiente anterior relaciona las emisiones de gases contaminantes (en Gg) respecto al valor bruto de la producción (VBP). No obstante la importancia de este indicador, tiene la deficiencia que consiste en la mezcla de unidades físicas con unidades monetarias, por lo que es necesario modificarlo para poder expresarlo en las mismas unidades.

Una vez reformulado, este indicador puede aplicarse no sólo a una rama económica, sino a una actividad económica en concreto y estimar el costo que representan las emisiones de óxidos nitrosos (N_2O) en bióxido de carbono equivalente (CO_2e) producidas por la fertilización química en la agricultura respecto al valor bruto de la producción agrícola de México.

La expresión para estimar el “coeficiente de emisión por uso de fertilizantes nitrogenados en la agricultura”, es:

$$e_f = \frac{G_f}{P_f}$$

donde:

e_f : coeficiente de emisión por la fertilización nitrogenada;

G_f : valor de las emisiones de GEI por fertilización en millones de pesos, y

P_f : valor bruto de la producción agrícola en millones de pesos.

Este indicador permitirá conocer el costo (porcentual) ambiental en que incurre la agricultura por las emisiones de óxidos nitrosos N_2O (en CO_2e) generados por el consumo de fertilizantes nitrogenados.

Para obtener el valor de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) por fertilización fue necesario: 1) estimar las emisiones de óxido nitroso (N_2O) en bióxido de carbono equivalente (CO_2e) de la fertilización nitrogenada en México; 2) identificar el precio de bono de carbono a aplicar, y 3) conocer el tipo de cambio promedio de cada año durante el período 1980-2002.

En consecuencia, la expresión matemática para el cálculo del valor de las emisiones de gases de efecto invernadero por fertilización fue:

$$G_f = \text{Emisiones } N_2O \text{ en } CO_2e * PB * TCP$$

donde:

G_f : valor de las emisiones de gases de efecto invernadero por fertilización en millones de pesos;

Emisiones N_2O en CO_2e : emisiones de N_2O en CO_2e de la fertilización nitrogenada;

PB: precio del bono, y

TCP: tipo de cambio promedio de cada año.

Además, el valor bruto de la producción agrícola (VBP_A) es una identidad macroeconómica importante y similar al valor bruto de la producción (VBP), pero que en este caso sólo corresponde al sector agrícola. En general, el VBP representa la suma total del valor de los bienes y servicios generados por una sociedad, independientemente de que se trate de insumos, es decir, bienes intermedios que se utilizan en el proceso productivo o de artículos que se destinan al usuario final (INEGI, 1992).

La formula macroeconómica básica del VBP es:

$$VBP = D = CI + VAB$$

donde:

D: ingresos por la venta de la producción nacional;

CI: gastos para adquirir insumos intermedios, y

VAB: valor agregado bruto o PIB_{PM} .

La expresión del valor agregado bruto es:

$$VAB = X^L + X^K + X^X = PIB_{PM}$$

donde:

X^L : remuneración a la mano de obra;

X^K : excedente bruto de operación;

X^X : impuestos a los productos y producción, y

PIB_{PM} : producto interno bruto a precio de mercado calculado por el método de ingreso.

6.3. Política fiscal ambiental óptima para el uso eficiente de fertilizantes químicos en la agricultura.

El planteamiento de una asignación socialmente óptima (pago ambiental por emisiones de los fertilizantes) implementada como una asignación de equilibrio de mercado con transferencias, cumpliría lo especificado en el segundo teorema del bienestar. Además, representaría una política ambiental óptima, siempre y cuando, los ingresos correspondientes al impuesto por emisiones de gases efecto invernadero (GEI) de la fertilización, sean usados para abatir los niveles de GEI y para mitigar los efectos negativos que producen dichos gases.

El sustento matemático general de la solución planteada (solución económicamente eficiente y socialmente óptima, instrumentada como una asignación de equilibrio general de la economía con transferencias) fue una aportación de González-Estrada y Camacho-Amador (2011), para ello se reformuló la ecuación fundamental del crecimiento económico. Por lo que la nueva ecuación fundamental del crecimiento económico fue:

$$C_t + K_{t+1}^E - (1 - \delta^E)K_t^E = (1 - \tau^E)W_K K_t^E + W_L L_t + G^E$$

siendo $G^E \tau \equiv K_t^E$, donde:

C_t : consumo;

K_{t+1}^E : total de activos al final del periodo t con capital natural;

δ^E : tasa de depreciación del capital natural;

K_t : total de activos;

K_t^E : total de activos con capital natural;

τ^E : impuesto ambiental óptimo;

W_K : tasa del capital;

W_L : tasa salarial;

G^E : pago ambiental por capital natural, y

L_t : factor trabajo.

En la ecuación propuesta ya aparece el capital natural dentro de los activos totales, su depreciación, el impuesto ambiental óptimo y el pago ambiental, elementos necesarios para una solución eficiente económicamente y óptima desde un punto de vista social.

González-Estrada (2004), planteó que existen dos casos en los cuales se puede retomar la solución planteada eficiente económica y socialmente óptima para el estudio de la política fiscal ambiental. En esta investigación se retomó el primer caso, donde la solución social óptima puede instrumentarse como una solución de equilibrio general de la economía, si se define rigurosamente un sistema de transferencias e impuestos que cumpla con las condiciones expresadas matemáticamente en el artículo de González-Estrada (2004), donde el plan de producción resultante puede ser soportado como una solución de equilibrio o de mercado con transferencias, ya que con esos niveles de producción, las empresas maximizarían ganancias, y el esquema de transferencias no es distorsionante.

De acuerdo con González-Estrada (2010), la agricultura al generar externalidades negativas como las emisiones de GEI (de N_2O) por el uso de fertilizantes nitrogenados, plantea la necesidad de resolver el problema siguiente:

$$\text{Max}[(p - \tau) x - c'(x)]$$

CPO:

$$(p - \tau) x - c'(x) = 0$$

es decir:

$$p^* = c'(x) + \tau = c'(x) + e'(x)$$

En consecuencia una política eficiente de control de la externalidad negativa, consiste en introducir un impuesto:

$$\tau^* = -e'(x)^*$$

tal que

$$p^* = c'(x)^* + e'(x)^*$$

El impuesto ambiental óptimo o eficiente por fertilización nitrogenada debe ser equivalente al costo marginal de la externalidad ambiental generada. Es decir, debe representarel costo de la emisión por fertilizantes nitrogenados cuando se incrementa el consumo de dichos fertilizantes en una unidad (1 ton). Por lo que la expresión para estimar el impuesto eficiente a la fertilización nitrogenada es:

$$\tau_{ef}^* = \frac{G_f}{CF}$$

donde:

τ_{ef}^* : impuesto eficiente a la fertilización nitrogenada;

G_f : valor de las emisiones de GEI por fertilización en millones de pesos, y

CF: consumo total anual de fertilizantes (ton de N aplicado).

Una vez conocido el impuesto eficiente a los fertilizantes nitrogenados se puede calcular el impuesto eficiente a cada tipo de fertilizante nitrogenado como: la urea, nitrato amónico, sulfato amónico, fosfato amónico y otros fertilizantes nitrogenados complejos.

La expresión que se utilizó para calcular el impuesto eficiente por cada tipo de fertilizante nitrogenado fue:

$$\tau_{efj}^* = \tau_{ef}^* * \%N$$

donde:

τ_{efj}^* : impuesto eficiente por cada tipo de fertilizante nitrogenado;

τ_{ef}^* : impuesto eficiente a la fertilización nitrogenada, y

$\%N$: porcentaje de nitrógeno activo de cada fertilizante.

Además, éste impuesto se puede calcular como un porcentaje del precio de venta de cada tipo de fertilizante nitrogenado, por lo que la expresión para estimarlo fue la siguiente:

$$\tau_{efjv}^* = \frac{\tau_{efj}^*}{P_{vj}} * 100$$

donde:

τ_{efjv}^* : impuesto eficiente por cada tipo de fertilizante nitrogenado como porcentaje de su precio de venta;

τ_{efj}^* : impuesto eficiente por cada tipo de fertilizante nitrogenado;

P_{vfj} : precio de venta de cada tipo de fertilizante nitrogenado, y
100: cien por ciento.

Aunque la reducción de la contaminación por medio de los derechos de contaminación parezca muy diferente de la reducción por medio de impuestos pigouvianos, en realidad las dos medidas son equivalentes cuantitativamente, si son en realidad eficientes.

Con los impuestos pigouvianos, las empresas contaminantes deben pagar un impuesto al Estado, el cual debe destinar lo recabado a abatir los daños de la contaminación. En tanto, con los derechos de contaminación, deben pagar para comprar el derecho (incluso las que ya poseen los derechos deben pagar por contaminar: el costo de oportunidad de contaminar es lo que podrían haber recibido vendiendo sus derechos en el mercado abierto). Tanto los impuestos pigouvianos como los derechos de contaminación internalizan la externalidad de la contaminación.

6.4. Coeficiente técnico insumo-producto de los fertilizantes.

Un coeficiente técnico insumo-producto representa la cantidad necesaria de un bien, para producir una unidad de otro bien. Es decir, los insumos intermedios (bienes o servicios) que necesita una rama y que son producidos por el resto de las ramas económicas para obtener una unidad de producción. Así, para obtener el coeficiente técnico insumo-producto de los fertilizantes se realizó una regresión al origen, por lo que el modelo se redujo a la forma (Martínez, 1974):

$$y_{it} = \beta X_{it} + e_{it}, i = 1, 2, \dots, n.$$

donde:

y_{it} : valor bruto de la producción agrícola (VBP_A) de México;

X_{it} : gasto por fertilización en México;

β : parámetro que mide la influencia que la variable explicativa tiene sobre la variable dependiente, y

e_i : errores de la regresión.

En la regresión se consideró como variable dependiente (y_{it}), el valor bruto de la producción agrícola (VBP_A) de México, que es un indicador que contempla el consumo de bienes intermedios (en los que están incluidos los fertilizantes) y como variable independiente (X_{it}), el gasto por fertilización en México. El modelo anterior se llevó a cabo con el apoyo de SAS (Statistical Analysis System) para el período 1980-2002.

6.5. Fuentes estadísticas.

Para los fines de esta investigación se revisaron las siguientes fuentes estadísticas: 1) el inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero (INEGEI) del período 1990-2006, 2) el inventario de gases efecto invernadero (GEI) de la agricultura 2009, 3) reportes de la cuarta comunicación nacional, 4) las bases de datos de FAOSTAT (Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database), 5) reportes de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos, 6) el anuario estadístico de la CEPAL (2011), 7) el sistema de información agroalimentaria de consulta, SIACON (1980-2010), 8) estadísticas de facilitadores del mercado del carbono (como *Point Carbon*), entre otros.

Se consultaron, algunos trabajos como: a) la *distribución del cambio climático entre los sectores de la economía mexicana* (SEMARNAT, 2009), donde el propósito fue evaluar a través del enfoque de insumo-producto, el impacto de las emisiones de gases contaminantes en los precios y en las cantidades de la producción de 79 ramas económicas en el 2003, b) *el impacto del cambio climático en las tierras y sus características* (SEMARNAT, 2009), en éste estudio se buscó realizar la estimación económica de las interrelaciones del cambio climático con la agricultura y la degradación de las tierras, para ello tomaron en cuenta un aspecto importante para esta investigación, a la agricultura como fuente de gases de efecto invernadero, entre otros más.

VII.- ANÁLISIS DE RESULTADOS.

En este capítulo se proporciona un panorama de las emisiones del sector agropecuario de México y se muestran los resultados más importantes de la investigación, los cuales fueron: 1) el uso de fertilizantes químicos en la agricultura mexicana de 1980-2002; 2) el coeficiente técnico insumo-producto de los fertilizantes; 3) las emisiones en bióxido de carbono equivalente (CO_2e) por consumo de fertilizantes nitrogenados en México; 4) el coeficiente de emisión por consumo de fertilizantes nitrogenados de la agricultura de México, 5) el impuesto ambiental eficiente de la fertilización en general y por cada tipo de fertilizante nitrogenado.

7.1. Panorama de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del sector agropecuario de México.

En México según datos reportados por el inventario nacional de gases efecto invernadero, INEGEI (1990-2006), de la *categoría agricultura* el 84% de las emisiones de bióxido de carbono equivalente (CO_2e) provienen de la ganadería y el 16% restante corresponden a la agricultura (Cuadro 6). No obstante, la aportación de dichas actividades al producto interno bruto (PIB) agropecuario difiere, ya que la agricultura aportó en promedio de 1990-2006 el 70% del PIB agropecuario y la ganadería solamente el 23% en el mismo período.

La producción ganadera es una actividad que emite mucho más gases de efecto invernadero (GEI) que la agricultura y sin embargo, contribuye menos al PIB agropecuario.

Adicionalmente, en el trabajo: *Impacto del cambio climático en sus tierras y características* desarrollado por la SEMARNAT (2009) se señala que: “la ganadería es la actividad productiva más diseminada en el medio rural, ya que se desarrolla aproximadamente en 55.8% del territorio nacional, con 109.7 millones de hectáreas (PACDS, 2007: 42). Esta actividad se realiza sin excepción en todas las regiones ecológicas del país y aun en condiciones climáticas adversas (PACDS, 2007: 41)”.

También, no se debe olvidar que dentro de las metas del programa especial para el cambio climático (PECC) de 2012, la ganadería es la subcategoría en la que menor cantidad de gases contaminantes se plantean reducir, el 0.91 MtCO₂e o el 5.95% de la categoría agricultura en general, lo cual es claramente paradójico e inconsistente.

Cuadro 6.-Emisiones totales del sector agropecuario de México en gigagramos (Gg) de CO₂e (1990-2006).

Año	Total	Por ganado	% de emisiones del ganado	Por Agricultura	% de emisiones de la agricultura
1990	47,428	39,976	84.29	7,451	15.71
1992	46,050	39,081	84.87	6,969	15.13
1994	45,504	38,424	84.44	7,080	15.56
1996	44,077	36,883	83.68	7,194	16.32
1998	45,445	37,688	82.93	7,757	17.07
2000	45,527	37,458	82.28	8,069	17.72
2002	46,146	38,528	83.49	7,619	16.51
2004	45,594	38,415	84.25	7,179	15.75
2005	45,125	38,151	84.54	6,974	15.46
2006	45,552	38,356	84.20	7,196	15.80

Fuente. Elaboración propia con datos reportados del INE II, Inventario de Gases de efecto invernadero (INEGI) 1990-2006.

7.2. Uso de fertilizantes químicos en la agricultura mexicana.

El nivel de uso de fertilizantes varía enormemente entre las regiones del mundo. Por ejemplo, América del norte, Europa occidental, Asia oriental y Asia meridional representaron las cuatro quintas partes del uso de fertilizantes en el mundo durante período de 1997-1999. Los valores más altos, con una media de 194 kilogramos (kg) de nutrientes por hectárea (ha), se aplicaron en Asia oriental, seguida por los países industriales con 117 kg por ha. En el otro extremo están los agricultores del África subsahariana que sólo aplicaron 5 kg por ha (FAO, 2002).

En la agricultura mexicana el uso de fertilizantes químicos de 1980 al 2002, fue relativamente bajo. No obstante, existen regiones agrícolas en México con un uso muy intensivo de fertilizantes.

En el Cuadro 7 se observa que los fertilizantes nitrogenados son los de mayor uso a nivel nacional. El año de mayor aplicación (en Kg de nitrógeno activo/ha) fue el 2001, con 1.8 veces respecto de 1980. En cuanto a los fosfatados, el año de 1994 fue el de mayor aplicación y se incrementó su uso en 1.6 veces, en comparación con 1980. Por último, los fertilizantes potásicos son los de menor aplicación en el país, sin embargo, aumentó su uso en 1.8 veces en el año 2002 respecto de 1980.

Cuadro 7. Uso de fertilizantes químicos en la agricultura de México 1980-2002.

Año	Fertilizantes nitrogenados		Fertilizantes fosfatados		Fertilizantes potásicos	
	Consumo total (ton métricas de nitrógeno activo)	(kg de nitrógeno activo/ha)	Consumo total (ton métricas de fósforo activo)	(kg de fosfato activo/ha)	Consumo total (ton métricas de potasio activo)	(kg de potasio activo/ha)
1980	209,596.89	13.80	91,334.86	6.02	39,972.00	2.63
1981	283,845.52	16.63	149,196.07	8.74	32,685.70	1.91
1982	296,578.50	17.85	157,091.50	9.45	41,398.84	2.49
1983	279,450.00	16.25	122,225.00	7.11	28,164.57	1.64
1984	297,873.00	18.53	138,305.00	8.61	20,387.05	1.27
1985	341,113.50	19.90	161,455.00	9.42	17,414.00	1.02
1986	351,809.00	21.14	147,271.00	8.85	15,645.00	0.94
1987	380,327.10	22.37	163,731.00	9.63	19,030.00	1.12
1988	341,043.00	21.08	136,984.00	8.47	17,476.00	1.08
1989	335,815.00	21.67	140,115.00	9.04	22,378.00	1.44
1990	369,507.00	23.16	155,291.50	9.73	21,094.00	1.32
1991	289,423.00	18.89	149,489.50	9.76	13,674.00	0.89
1992	346,855.00	23.11	123,400.00	8.22	28,700.00	1.91
1993	328,555.00	22.38	132,560.00	9.03	25,467.00	1.73
1994	351,410.50	21.42	163,030.00	9.94	23,220.00	1.42
1995	302,585.00	18.32	64,345.00	3.89	13,250.00	0.80
1996	338,495.00	20.17	134,100.00	7.99	47,655.00	2.84
1997	332,480.00	19.43	110,090.00	6.43	83,096.00	4.86
1998	392,575.00	23.00	128,175.00	7.51	77,076.00	4.52
1999	386,315.00	22.96	134,915.00	8.02	74,590.00	4.43
2000	388,040.00	23.44	129,090.00	7.80	72,270.00	4.37
2001	397,228.00	24.29	131,950.00	8.07	66,460.34	4.06
2002	340,674.50	21.08	122,509.50	7.58	80,100.00	4.96

Fuente: Elaboración propia con datos de la FAOSTAT (2012) y del SIACON (2010).

7.3. Coeficiente técnico insumo-producto de los fertilizantes en México.

Un coeficiente técnico insumo-producto representa la cantidad necesaria de un bien, como los fertilizantes, para producir una unidad de otro bien y pueden ser expresados en unidades monetarias. En macroeconomía, expresa las necesidades que tiene una rama o sector de actividad de los productos de otra para satisfacer su producción.

Con el fin de obtener el coeficiente técnico insumo-producto de los fertilizantes en México, se realizó una regresión al origen y se consideró como variable dependiente el valor bruto de la producción agrícola (VBP_A) de México y como variable independiente el gasto por fertilización en México, ambos para el período 1980-2002, en millones de pesos corrientes.

Sistema SAS		12:14 Sunday, June 6, 2012 1			
		procedimiento REG			
		Modelo: MODEL1			
		Variable dependiente: VBPA			
		NOTA: No intercept in model. R-Square is redefined.			
Analysis of Variance					
			Sum of	Mean	
Fuente	DF	Squares	Square	F-Valor	Pr> F
Modelo	1	99484160889	99484160889	1836.60	<.0001
Error		22	1191688562	54167662	
Total no corregid		23	1.006758E11		
Root MSE	7359.86834	R-cuadrado	0.9882		
	Media dependiente	48064	Adj R-Sq	0.9876	
Coeff Var	15.31277				
Parámetros estimados					
Parameter	Standard				
	Variable	DF	Estimate	Error	Valor t Pr > t
GASTFendie	1	217.13833	5.06675	42.86	<.0001

Figura 6. Análisis de varianza de la regresión entre el valor bruto de la producción agrícola de México y el valor del consumo nacional de fertilizantes.

Fuente: Elaboración propia con datos de la FAOSTAT (2012) y CEPAL (2011).

De acuerdo con la Figura 6, las pruebas de F y de t resultaron altamente significativas. El coeficiente técnico estimado de los fertilizantes es de 0.0046. Este estimador se aproxima al coeficiente técnico reportado para los abonos y fertilizantes en la matriz insumo producto de México de 1980, el cual fue de 0.0047. Dado que ese coeficiente es el recíproco del parámetro estimado, significa que para obtener \$1000 brutos en la agricultura mexicana, se requieren gastar 4.6 pesos en la compra de fertilizantes.

7.4. Emisiones de óxidos nitrosos (N_2O) en términos de bióxido de carbono equivalente (CO_2e) por uso de fertilizantes nitrogenados en México.

Un elemento importante para calcular el costo ambiental por emisiones de óxidos nitrosos (N_2O), fue conocer las emisiones de N_2O por consumo de fertilizantes nitrogenados en México y transformarlas a la unidad comúnmente utilizada, el bióxido de carbono equivalente (CO_2e), y finalmente, realizar su estimación con base a la metodología planteada en el capítulo de Materiales y Métodos.

Uno de los resultados más importantes de este apartado es que existe una relación directa entre el consumo de fertilizantes nitrogenados y emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), ya que se observa que en el año de mayor consumo de fertilizantes nitrogenados, que fue el 2001, se presentaron las mayores emisiones de 2, 224,971.92 de ton métricas. Además, en el Cuadro 8 se aprecia que se ha incrementado en casi dos veces la cantidad de emisiones de N₂O en CO₂ de los fertilizantes nitrogenados durante el período 1980-2002. Este resultado indica la importancia de cuantificar los costos y proponer políticas fiscales eficientes y óptimas respecto al uso de fertilizantes nitrogenados, con el objetivo de internalizar los efectos negativos de estas emisiones y reducir los daños generados.

Cuadro 8. Emisiones en bióxido de carbono equivalente (CO₂e) de los fertilizantes nitrogenados en la agricultura mexicana (1980-2002).

Año	Consumo total de nitrógeno activo (ton métricas)	Emisiones de bióxido de carbono equivalente (CO ₂ e) por fertilización nitrogenada (ton métricas)
1980	219,792,810.00	1,196,150.15
1981	292,051,585.00	1,589,394.79
1982	308,580,500.00	1,679,347.98
1983	290,007,000.00	1,578,267.81
1984	310,861,000.00	1,691,758.85
1985	349,409,500.00	1,901,546.40
1986	367,500,000.00	1,999,998.00
1987	387,824,100.00	2,110,605.24
1988	351,141,000.00	1,910,969.52
1989	344,264,000.00	1,873,543.70
1990	376,052,000.00	2,046,539.45
1991	299,368,000.00	1,629,211.98
1992	352,465,000.00	1,918,174.95
1993	334,165,000.00	1,818,583.22
1994	359,060,500.00	1,954,068.79
1995	307,685,000.00	1,674,474.52
1996	343,595,000.00	1,869,902.89
1997	339,960,000.00	1,850,120.60
1998	400,055,000.00	2,177,167.89
1999	393,795,000.00	2,143,099.90
2000	399,770,000.00	2,175,616.87
2001	408,839,000.00	2,224,971.92
2002	358,813,500.00	1,952,724.58

Fuente: Elaboración propia con datos de la FAOSTAT(2012).

7.5. Coeficiente de emisión por consumo de fertilizantes nitrogenados en la agricultura mexicana.

Un indicador relevante es el coeficiente de emisión por fertilizantes nitrogenados, pues indica la relación que existe entre el costo de las emisiones en bióxido de carbono equivalente (CO_2e) producidas por la fertilización química en la agricultura de México y el valor bruto de la producción agrícola (VBP_A) de México, ambos en pesos corrientes. Este indicador representa el costo porcentual ambiental en que incurre la agricultura por la emisión de CO_2e producido por el óxido nitroso (N_2O) generado por los fertilizantes nitrogenados (Cuadro 9).

Cuadro 9.- Coeficiente de emisión por consumo de fertilizantes nitrogenados en la agricultura de México 1980-2002.

Año	Costo ambiental en % del VBP_A
1980	0.36
1981	0.35
1982	0.68
1983	0.66
1984	0.55
1985	0.53
1986	0.81
1987	0.77
1988	0.71
1989	0.56
1990	0.49
1991	0.35
1992	0.40
1993	0.36
1994	0.43
1995	0.46
1996	0.41
1997	0.41
1998	0.47
1999	0.48
2000	0.51
2001	0.50
2002	0.45

Fuente: Elaboración propia con datos de la CEPAL (2011) Y FAOSTAT (2012).

En el cuadro anterior se puede apreciar que los años de mayores costos ambientales por fertilización en la agricultura mexicana fueron en 1986, 1987 y 1988, ya que representaron, respectivamente, el 0.81%, 0.77% y 0.71% del valor bruto de la producción agrícola (VBP_A). Mientras que el año de menores costos ambientales de la fertilización nitrogenada en México fue 1991, con 0.35% del VBP_A .

7.6. Impuesto ambiental óptimo eficiente a la fertilización, por tipo de fertilizante nitrogenado.

De acuerdo con lo expuesto en los capítulos: Marco Teórico y en Materiales y Métodos, el impuesto ambiental óptimo debe ser equivalente al costo marginal de la externalidad ambiental generada, lo cual significa que se debe calcular el costo de la emisión por fertilizantes nitrogenados cuando se incrementa el consumo de dichos fertilizantes en una unidad (1 ton).

En general, para la estimación del impuesto se consideran dos elementos importantes: 1) el valor de mercado de las emisiones de óxidos nitrosos (N_2O), en bióxido de carbono equivalente (CO_2e) de los fertilizantes nitrogenados. Aquí se requiere conocer las emisiones de los fertilizantes nitrogenados y el precio de mercado por ton de CO_2e , que en este caso se retomó el del 2008 (de 27.93 dólares a un tipo de cambio de 11.13 pesos por dólar), y 2) el consumo total de nitrógeno aplicado (en ton) de todos los fertilizantes y por tipo de fertilizante nitrogenado.

Una vez realizados los cálculos, el impuesto ambiental óptimo por ton de nitrógeno aplicado en México fue de 1691.71 pesos y el impuesto aplicable por tipo de fertilizante nitrogenado se puede apreciar en orden de importancia en el Cuadro 10. Se encontró que la urea es el fertilizante nitrogenado al que se le debe aplicar una tasa impositiva mayor, de 778.19 pesos/ton, lo cual representa el 10.69% respecto al precio de la urea en 2008.

Cuadro 10. Impuesto ambiental óptimo por tipo de fertilizante nitrogenado en México.

Fertilizantes	Impuesto por ton de nitrógeno aplicado(en pesos)	% del impuesto respecto al precio del fertilizante
Urea	778.19	10.69
Nitrato Amónico	566.72	9.73
Fosfato Amónico	355.26	ND
Sulfato Amónico	346.80	8.19
Otros Fertilizantes Complejos	287.59	ND

Fuente: elaboración propia con datos de la FAOSTAT (2012).

NOTA.ND: faltaron datos para poder calcular el impuesto.

Como es obvio, el obstáculo más importante para aplicar una política fiscal-ambiental optima, es la oposición de todos aquellos productores que generan esas emisiones.

Se debe identificar a qué parte dentro de la cadena productiva se aplicará el cobro del impuesto, de tal manera que recaiga realmente en los que producen esas emisiones con sus actividades. Se entiende que existen productores, que dadas sus condiciones económicas, no podrían afrontar el pago por los costos de agotamiento y degradación ambiental que generan. Además se es consiente que los grandes productores, también se opondrían, porque no estarían dispuestos a pagar todos los costos ecológicos de sus actividades.

Por tales razones, se requerirá la acción del Estado y de la organización social o acción colectiva y de cambios en las políticas-jurídicas.

No se debe olvidar que una política económica eficiente y óptima para los sectores económicos del país sería aquella que promoviera, sanamente y sin introducir distorsiones en la economía (externalidades), el crecimiento acelerado del cambio técnico y de la productividad total de los factores, PTF (Parente y Prescott, 2000 y González-Estrada, 2002). Por ello, resulta crucial impulsar el cambio técnico y la productividad en todos los procesos productivos, en este caso, con mejores prácticas agrícolas y la aplicación de las dosis óptimas y eficientes socialmente de fertilización y procesos menos contaminadores o de menor deterioro ambiental (González-Estrada, 2004). Se es consciente, desde luego, de que tratándose de externalidades globales, las soluciones locales, por buenas que sean, no podrán por sí solas, alcanzar la eficiencia.

VIII.- CONCLUSIONES.

La sociedad que agota y degrada los recursos naturales y no introduce en su estructura de decisiones los costos por dichas acciones, no tiene futuro a largo plazo.

El Gobierno de México no debe omitir, en sus estrategias y programas de desarrollo, la realización de estudios de impacto económico, social y ambiental, para identificar y cuantificar los costos de las externalidades que se generan en las distintas actividades productivas y mucho menos, dejar de instrumentar soluciones óptimo-económicas y eficientes desde un punto de vista social.

Dados los altos costos que tienen las emisiones de gases de efecto invernadero por fertilización en México, una agricultura económicamente eficiente y óptima desde el punto de vista social, debe introducir dichos costos en su estructura económica, con lo cual, necesariamente, debería reducirse el uso de fertilizantes nitrogenados.

Los años de mayores costos ambientales por fertilización en la agricultura mexicana fueron 1986, 1987 y 1988, ya que representaron, respectivamente, el 0.81%, 0.77% y 0.71% del valor bruto de la producción agrícola (VBP_A) de México. Mientras que el año de menores costos ambientales de la fertilización nitrogenada en México fue en 1991, con 0.35 porciento del VBP_A .

Se incrementó en casi dos veces la cantidad de emisiones por fertilización nitrogenada en el 2002, respecto a 1980. Además, existe una relación directa entre el consumo de fertilizantes nitrogenados y emisiones, ya que el año de mayor consumo de fertilizantes nitrogenados, en 2001, presentó las mayores emisiones en bióxido de carbono equivalente (2, 224, 971.92 ton de CO₂e).

El impuesto ambiental óptimo por ton de nitrógeno aplicado, fue en general para los fertilizantes nitrogenados de 1691.71 pesos.

En cuanto al impuesto eficiente por tipo de fertilizante nitrogenado, se identificó que la urea es el fertilizante al que se le debe aplicar una tasa impositiva mayor, de 778.19 pesos o un impuesto de 10.69% respecto al precio de la urea en 2008. Le sigue en orden de importancia el nitrato de amonio con un impuesto de 566.72 pesos o 9.73% del precio de dicho fertilizante, el fosfato amónico con 355.26 pesos, el sulfato amónico con 346.80 pesos y otros fertilizantes complejos con 287.59 pesos, todo esto bajo el supuesto de que todos los agentes y países pagan un monto eficiente.

Habría, sin duda, grandes dificultades para llevar a cabo la política del pago del impuesto ambiental óptimo por fertilización nitrogenada en la agricultura de México, principalmente por los intereses creados. Sin embargo, los costos alternativos que tendría la política de hacer caso omiso de los problemas de deterioro y de agotamiento de los recursos naturales, serían aún mayores.

“La intervención del Estado y la acción colectiva son necesarias. La renuencia de los contaminadores a pagar por los costos de la contaminación que producen, es el obstáculo fundamental de toda política de control” (González-Estrada, 2004).

“La política económica eficiente y óptima para los sectores económicos del país sería aquella que promoviera, sanamente y sin introducir distorsiones en la economía (externalidades), el crecimiento acelerado del cambio técnico y de la productividad total de los factores, PTF (Parente y Prescott, 2000 y González-Estrada, 2002)”. Resulta crucial impulsar el cambio técnico en todos los procesos productivos, en este caso, con mejores practicas agrícolas de fertilización y procesos menos contaminadores o de menor deterioro ambiental” (González-Estrada, 2004).

“Se requieren crear las condiciones sociales, económicas e institucionales para la adopción de innovaciones técnicas más eficientes económica y ambientalmente en los procesos productivos” (González-Estrada, 2002).

La instrumentación de políticas ambientales y ecológicas eficientes económicamente y óptimas desde un punto de vista social, requieren de cambios socioeconómicos y tecnológicos importantes. ¿Será capaz la sociedad actual de llevarlas a cabo?

IX.- BIBLIOGRAFÍA.

1. Academia de Ciencias de la URSS. 1960. Manual de economía política. Editorial Grijalbo. México, D.F.
2. Borrayo L. R. 2002. Sustentabilidad y desarrollo económico. McGraw-Hill. México, D.F.
3. Borisov E. F., Zhamin V. A., Makarova M. F. 2009. Diccionario de economía política. Editorial Grijalbo. Págs.270.
4. Consejo Coordinador Empresarial (CCE-Céspedes). 2009. Cambio climático: oportunidad para el sector empresarial. Visión del sector empresarial mexicano sobre el cambio climático. México, D.F.
5. Coase, Rodald R. 1960. The problems of social cost. Journal of law and economics, October: 1-44.
6. Cornes, R. y T. Sandler. 2000. The theory of externalities, public goods, and club goods. Cambridge University Press. Cambridge.
7. Dobb M. 1969. Economía del bienestar y economía del socialismo. Primera edición en español 1971. Editorial Siglo XXI. México, D.F.

8. Diario Oficial de la Federación (DOF). 2009. Programa especial de cambio climático 2009-2012. México D.F.
9. Organización para la Alimentación y la Agricultura de la Organización de las Naciones Unidas (FAO). 2002. Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030. Roma, Italia
10. González-Alcot, R., Matus-Gardea, J. y González-Guillén, M. 2008. Efecto de las políticas económicas en los recursos naturales y el medio ambiente en México. *Agrociencia*. 42:847-855.
11. González-Estrada, Adrián. 2002. Dinámica de los cultivos básicos en la liberalización comercial de México: Modelo dinámico multisectorial de equilibrio general. Libro técnico núm. 5. INIFAP-CONACYT. Chapingo, México.
12. González-Estrada, Adrián. 2003. La Economía de la contaminación en la Teoría del equilibrio general competitivo: I. Reformulación del modelo y efectos Stolper-Samuelson. *Agrociencia* 37(1): 45-55.
13. González-Estrada, Adrián. 2004. La Economía de la contaminación en la Teoría del equilibrio general competitivo: II. Efectos Rybczynski y políticas eficientes y óptimas de control. *Agrociencia* 38: 313-324.

14. González-Estrada, Adrián. 2010. Apuntes del curso de Microeconomía II. Maestría en Economía Agrícola y de los Recursos Naturales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
15. González-Estrada Adrián y Camacho-Amador Maricela. 2011. Incorporación de cuentas ecológicas y servicios ambientales en las matrices de contabilidad social. Revista mexicana de ciencias agrícolas, Vol. 2 Núm. 5: 715-731.
16. Hartwick, J. M. 1977. Intergenerational equity and the investing of rents from exhaustible resources. American Economic Review 67(5):972-974.
17. Hartwick, J. M. 1990. Natural resources, natural accounting and economic depreciation. Journal of Public Economics43:291-304.
18. Instituto Nacional de Ecología (INE). 2006. Inventario nacional de emisiones de gases efecto invernadero 1990-2002. México D.F.
19. INEGI. 2009. Inventario nacional de gases efecto invernadero 2009. México D.F.

20. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1992. Sistema de cuentas nacionales de México 1980-1991, Metodología. México D.F.
21. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 2010. Sistema de cuentas nacionales de México, cuentas económicas y ecológicas de México 2003-2007. México D.F.
22. Instituto Nacional de Ecología (INE)–Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2005. Cambio climático una visión desde México. México D.F.
23. Kemp, M. C., and T. Negishi. 1990. Variable returns to scale, commodity taxes, factor market distortions, and their applications for trade gains. *Swedish Journal of Economics* vol.72, núm. 1: 1-11.
24. Leroy M. R. 1995. Microeconomía moderna. Séptima edición. Editorial HARLA. Madrid, España.
25. Martínez Garza, Ángel. 1974. Teoría de la regresión y sus aplicaciones econométricas, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

26. Marx. C. 1999. El capital, Tomo I. Traducción de Wenceslao Roces. Editorial Fondo de Cultura Económica. México, D.F.
27. Mas-Colell, Andreu, Michael D. Whinston and Jerry R. Green. 1995. Microeconomic theory. Oxford University Press. Cambridge, England.
28. Organización Meteorológica Mundial (OMM)-Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). 2008. Cambio climático 2007, informe de síntesis. Ginebra, Suiza.
29. Parente, S. L. and Prescott, E. C. 2000. Barriers to riches. The Walras-Pareto lectures, Université de Lausanne. The Massachusetts Institute of Technology Press. Cambridge, M. A. and London. 164 p.
30. Programa Nacional de Acción contra la Degradación de las Tierras Desertificación y Mitigación de los Efectos de la Sequía (PACDS). 2007. *Programa nacional de acción contra la degradación de las tierras desertificación y mitigación de los efectos de la sequía 2007-2030*. México, D.F.
31. Pigou, A.C. 1920. Economía del bienestar. Editorial MacMillan. London.

32. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2009. México cuarta comunicación nacional ante la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático. México D.F.
33. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2008. Reporte: acciones de México de mitigación y adaptación ante el cambio climático global. México, D.F.
34. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2009. Cambio climático. Ciencia, evidencia y acciones. México D.F.
35. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2009. Consecuencias sociales del cambio climático en México, análisis y propuestas. México D.F.
36. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP). 2009. La economía del cambio climático en México. México D.F.
37. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2009. Impacto del cambio climático en las tierras y sus características. México D.F.

38. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2009. Distribución de los costos del cambio climático entre los sectores de la economía mexicana un enfoque de insumo producto. México, D.F.
39. Stone, R. 1947. Measurement of national income and the construction of social accounts. Geneva, Suiza.
40. Stone, R. 1985. The disaggregation of the household sector in the national accounts. In Social accounting matrices: A basis for planning, ed. G. Pyatt and J. I. Round, pp. 145–85. The World Bank. Washington, D.C.
41. Taylor, L.(ed). 1990. Socially relevant policy analysis: Structuralist computable general equilibrium models for the developing world. MIT Press. Cambridge, Mass.
42. Tarrab, A. E., 2004. Fundamentos económicos para el cobro de derechos ambientales. Tesis de maestría de la facultad de Economía, UNAM. México, D.F.

43. Tomasini. D. 1995. Bases económicas para el manejo sustentable. IV Curso sobre desertificación y desarrollo sustentable en América Latina. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Organización para la Alimentación y la Agricultura de la Organización de las Naciones Unidas.
44. Varian. 1992. Análisis microeconómico. Editorial Antoni Bosch. Barcelona, España.
45. Varian, H. R. 1997. Microeconomic analysis. W. W. Norton and Company. New York.
46. Vinogradov, A. 1991. El progreso técnico y la protección de la biósfera. La sociedad y el medio ambiente. Editorial Progreso. Moscú. 246 p.
47. Wan, H. Y. 1992. A note on trading gains and externalities. Journal of International Economics vol. 2: 173-180.

X.- GLOSARIO DE TÉRMINOS ECONÓMICOS Y ECOLÓGICOS.

A

Agotamiento. Disminución cuantitativa de los recursos naturales ocasionada en gran medida por la inadecuada extracción, sustracción, explotación, desgaste o pérdida de la calidad de estos recursos naturales (INEGI, 2010).

Ambiente. Espacio sociedad-naturaleza, en el que se mantienen intercambios recíprocos y afectaciones como resultado de sus procesos por separado (INEGI, 2010).

Atmósfera. Masa global de aire alrededor de 100 Km. por encima de la superficie terrestre, está compuesta en su mayoría por nitrógeno (78%), oxígeno (21%) y otros gases como el argón, neón, bióxido de carbono, vapor de agua y otros compuestos inorgánicos (INEGI, 2010).

B

Bióxido de carbono. Gas incoloro e inodoro que resulta de la combustión de combustibles fósiles (INEGI, 2010).

C

Calentamiento global. Es la manifestación más evidente del cambio climático y se refiere al incremento promedio de las temperaturas terrestres y marinas globales (SEMARNAT, 2009).

Cambio climático. Todo cambio que ocurre en el clima a través del tiempo resultado de la variabilidad natural o de las actividades humanas (SEMARNAT, 2009).

Capital Natural. Es el acervo y calidad de los suelos, vegetación y aguas combinados, y que finalmente determinarán la calidad de los ecosistemas en términos ecológicos, a través de indicadores de diversidad, estabilidad o resiliencia (Borrayo, 2002).

Comercialización de emisiones. Es un mecanismo del Protocolo de Kioto mediante el cual las partes Anexo I pueden participar en actividades de comercio de los derechos de emisión (CCE-Cespedes, 2009)

Consumo intermedio. Representa el valor total de las compras y ventas de insumos que se realizan en las diferentes actividades económicas del país y a este concepto se le denomina “demanda intermedia” o “consumo intermedio” (INEGI, 1992).

Costos privados. “Costos con que incurren las personas cuando emplean recursos que son escasos, también se les conocen como gastos internos” (Leroy, 1995).

Costos sociales. “Es el costo completo que soporta la sociedad cuando se da una acción que implica el uso de un recurso” (Leroy, 1995).

Contaminación. Presencia directa o indirecta de materia sólida, líquida, gaseosa, química, física o biológica cuya naturaleza, ubicación y cantidad producida provoca alteraciones o efectos adversos o nocivos para la salud humana, vegetal o animal.

Contaminación del agua. Adición de cualquier forma de materia y energía, que modifique y altere las propiedades físicas, químicas y biológicas de la misma, de tal manera que produzca daños a ecosistemas que dependen directa o indirectamente de ella (INEGI, 2010).

Contaminación del aire. Presencia de sustancias contaminantes en el aire que no se dispersan adecuadamente e intervienen de manera nociva en la salud humana. Estos contaminantes se encuentran en forma de partículas sólidas, líquidas, gaseosas o combinadas (INEGI, 2010).

Contaminante. Cualquier clase de sustancia o materia cuyas combinaciones o compuestos químicos o biológicos que afectan o modifican la naturaleza del agua, aire, flora, fauna o a cualquier otro elemento del medio ambiente (INEGI, 2010).

Costos por agotamiento (CAG). Costos en que tendría que incurrir la sociedad para reparar al medio ambiente por la disminución y pérdida de los recursos naturales, resultado o consecuencia de su continuo empleo en los procesos productivos (INEGI, 2010).

Costos por degradación (CDG). Costos en que tendría que incurrir la sociedad en su conjunto para remediar o prevenir el deterioro de la calidad del ambiente, producto de las actividades económicas (INEGI, 2010).

Costos totales por agotamiento y degradación (CTADA). Costos en que tendría que incurrir la sociedad en su conjunto, para remediar, restituir o prevenir el agotamiento y degradación de los recursos naturales y el medio ambiente, como resultado de los procesos de producción, distribución y de consumo humano (INEGI, 2010).

Costos totales por agotamiento y degradación sobre el producto interno bruto (CTADA/PIB). Indicador que muestra el impacto ambiental derivado del agotamiento de los recursos naturales y la degradación del medio ambiente en el producto interno bruto. La comparación entre ambos es útil para el análisis de la contabilidad del ambiente y para la toma de decisiones en materia de sustentabilidad (INEGI, 2010).

D

Degradación. Deterioro cualitativo del medio ambiente, consecuencia de la presencia de un sin número de agentes contaminantes originados por las actividades económicas (INEGI, 2010).

Derechos de propiedad privada. Son los derechos exclusivos de propiedad que permiten el uso, transferencia e intercambio de la propiedad (Leroy, 1995).

Desarrollo. Por desarrollo se entiende no solo crecimiento cuantitativo de variables indicativas como el producto interno bruto (PIB), escolaridad, nivel de salud, índice de desarrollo humano, etc., sino también la transformación de las estructuras económicas y sociales para adaptarse con rapidez a la transición global del mundo. Implica la modernización de las instituciones, cambios en las actitudes, hábitos y valores, y, por supuesto, cambios en las capacidades y conocimientos de las personas (Borrayo, 2002).

Desarrollo sustentable. Proceso que se funda en medidas apropiadas de preservación del equilibrio ecológico, protección del ambiente y aprovechamiento de recursos naturales, para la satisfacción de las generaciones presentes, sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras (Borrayo, 2002).

E

Emisión. Expulsiones de partículas contaminantes a la atmósfera provenientes de chimeneas y otros conductos de escape de las áreas industriales, comerciales y residenciales, así como de los vehículos automotores, locomotoras o escapes de aeronaves y barcos (INEGI, 2010).

Equilibrio general. Conjunto de vectores de precios y de asignaciones tales que: las empresas maximizan ganancias, dada su tecnología y nivel de recursos; las unidades familiares maximizan bienestar sujeto a su presupuesto intertemporal; se cumplen las condiciones de factibilidad económica y los mercados de bienes y factores se equilibran (González-Estrada, 2010).

Externalidad. Es cuando un costo privado difiere de un costo social, por que los individuos que toman la decisión no internalizan todos los costos. es una divergencia ya sean entre los costos privados y los costos sociales, o entre la ganancia privada y la ganancia social. En estos casos de “fallas de mercado” la búsqueda de ganancias privadas no conduce al máximo de bienestar social (Leroy, 1995).

G

Gastos de protección ambiental. Erogaciones que se realizan por la sociedad en su conjunto, para prevenir o disminuir el daño ambiental generado por las actividades de producción, distribución y consumo. En el SCEEM se refiere exclusivamente a los gastos generados por el Gobierno Federal, Gobierno del Distrito Federal, empresas paraestatales de control directo y los 31 Estados de la República Mexicana. Así como a los gastos efectuados por los hogares en la recolección de basura (INEGI, 2010).

Gastos de protección ambiental, corrientes. Erogaciones, que se realizan a favor del ambiente contemplado en el clasificador por objeto del gasto; relacionado con los servicios personales, materiales y suministros, y servicios generales (INEGI, 2010).

Gastos de protección ambiental, de capital. Erogaciones, que se realizan a favor del ambiente, contempladas en el clasificador por objeto del gasto, tales como: bienes muebles e inmuebles (INEGI, 2010).

GEI. Gases de efecto invernadero, el más comunes el CO₂, aunque también están: el metano, el óxido nitroso, los clorofluorocarbonos, los hidroclorofluorocarbonos y el hexafluoruro de azufre. El potencial de calentamiento de estos gases se homologa al del CO₂e; de modo que las emisiones de GEI usualmente se refieren como emisiones de bióxido de carbono equivalente (CCE-Céspedes, 2009).

I

Impacto ambiental. Alcance o efecto derivado de la realización de un conjunto de acciones o actividades inmersas o relacionadas con la interrelación entre la sociedad y el medio ambiente (INEGI, 2010).

Impuestos a los productos netos.

Impuestos que se pagan por unidad de un determinado bien o servicio; puede ser un monto específico o calcularse como un porcentaje del precio por unidad o valor de los bienes y servicios que pasan por el mercado, menos los subsidios (INEGI, 2010).

Inventario de emisiones. Listado por tipo de fuentes contaminantes del aire descargadas en cantidades a la atmósfera de una comunidad (INEGI, 2010).

M

Manejo sostenible. Conjunto de actividades que tienen por objeto mantener o incrementar las existencias de los recursos naturales (INEGI, 2010).

Monóxido de carbono. Gas venenoso, incoloro, resultado de la combustión incompleta de combustibles de origen fósil (INEGI, 2010).

N

NITRÓGENO. Elemento necesario para la nutrición de microorganismos y vegetales.

O

Óptimo de Pareto. Se dice que una asignación de factores de la producción es óptima de Pareto si la producción no se puede reorganizar para aumentar la cantidad producida de uno o más bienes sin disminuir la producción de algún otro artículo. En forma análoga, de una asignación de bienes se puede decir que es la óptima de Pareto si la distribución no se puede reorganizar para aumentar la utilidad de uno o más individuos sin disminuir la utilidad de algún otro individuo (Dobb, 1969).

P

Precios básicos. Precios de los bienes y servicios establecidos antes de sumarse los impuestos sobre los productos netos de los subsidios correspondientes, menos cualquier impuesto a pagar y más cualquier subvención a cobrar por esa unidad de producto como consecuencia de su producción o venta.

Precio al productor. Cantidad a cobrar por el productor al comprador, por una unidad de un bien o servicio producido, menos el IVA u otro impuesto deducible análogo facturado al comprador, incluyen además los precios básicos, los impuestos menos los subsidios sobre los productos, distintos de los impuestos al valor agregado.

Precio de adquisición o comprador. Monto a pagar por el comprador, excluido cualquier IVA deducible o impuesto deducible análogo, con el fin de hacerse cargo de una unidad de un bien o servicio en el momento y lugar requerido por el comprador, incluye cualquier gasto de transporte pagado separadamente por el comprador.

Producción de mercado. Producción que es vendida a precios económicamente significativos o que es cedida de otra manera en el mercado, o que se destina a su venta o cesión en el mercado.

Producto Interno Bruto. Suma de los valores monetarios de los bienes y servicios producidos por el país en un año (INEGI, 1992).

Producto Interno Bruto a Precios de Mercado. Suma de los valores agregados brutos a precios básicos, de todos los productores residentes, más todos los impuestos, menos los subsidios sobre los productos.

Propiedad común. “Propiedad de todos por tanto de ninguno. El agua y el aire son ejemplos de propiedad común” (Leroy, 1995).

Protección ambiental. Conjunto de políticas, normas o disposiciones encaminadas a mantener o restaurar el equilibrio ambiental, trastocado por las actividades humanas.

R

Recursos forestales. Todo tipo de vegetación, natural o inducida, con cada uno de sus productos y/o residuos.

Residuos. Materiales generados por las distintas actividades económicas, cuya calidad de los mismos ya no permiten su utilización nuevamente en algún proceso productivo.

V

Valor Bruto de la Producción.

Este concepto representa la suma total del valor de los bienes y servicios producidos por una sociedad, independientemente de que se trate de insumos, es decir de bienes intermedios que se utilizan en el proceso productivo o artículos que se destinan al usuario final (INEGI, 1992).

Valor agregado bruto a precios básicos. Producción valorada a precios básicos menos el consumo intermedio valorado a precios del comprador.