

4



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"

"La Microrregión de la Cuenca Baja del Río Coatzacoalcos,
Veracruz: Construcción de un Modelo Econométrico"

Trabajo de Tesis

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

Licenciado en Matemáticas Aplicadas y



PRESENTA

María del Rayo Campos Cruz

Asesor: Lic. Myriam Patricia Acuña Monsalve.

277557

Marzo 2000





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Dedico este trabajo:

A mi Madre:

Por ser el apoyo mas importante no sólo en mi carrera, sino en mi vida. Por ser un gran ejemplo de lucha y fortaleza, porque nunca te rendiste ante los obstáculos a los que te has enfrentado por sacarme adelante y por brindarme esta oportunidad de triunfo de la cual también eres partícipe.

A Ramón y Pablo:

Con los cuales quiero compartir este triunfo deseando que sea un aliciente en su vida profesional.

A la Lic. Myriam Patricia Acuña Monsalve:

Por aceptar dirigir este trabajo, tenerme paciencia y brindarme su amistad.

*A la Universidad Nacional Autónoma de
México
Campus "Acatlán"
MAC:*

*Por haberme abierto las puertas y formado
como profesional.*

*A todos aquellos profesores que me
inculcaron amor a la carrera.*

Al Instituto Mexicano del Petróleo:

*Por darme la oportunidad de colaborar en el
proyecto del cual surgió la idea para este
trabajo.*

A los miembros del Sinodo:

Ing. Víctor José Palencia Gómez.

Ing. Elvira Beatriz Clavel Díaz.

Act. Beatriz Arneola Ramírez.

Ing. Reyes Laurencio García Moncada.

A todos mis amigos con los cuales he compartido momentos especiales a lo largo de mi vida.

A Chivis y Nancy por su ayuda y participación especial en la elaboración de este trabajo.

Y a todas aquellas personas que de alguna manera me han apoyado he impulsado en el desarrollo de éste.

**“La Microrregión de la Cuenca Baja
del Río Coatzacoalcos Veracruz:
Construcción de un Modelo
Econométrico”**

INDICE

Introducción	1
--------------------	---

Capítulo 1. Marco Teórico

1.1 Desarrollo sustentable	1
1.2 El Desarrollo Sustentable:un panorama mundial.....	4
1.2.1 Instrumentos Económicos que se aplican en los países miembros de la OCDE.....	5
1.2.2 Estrategias para un Desarrollo Sustentable	6
1.2.3 Índices de Desarrollo Sustentable.....	9
1.3 ¿Que es el Ordenamiento Ecológico?	10

Capítulo 2. Marco Referencial

2.1 La Política Ambiental en México	12
2.1.1 Necesidades y prioridades	15
2.1.2 El nuevo marco Institucional en México.....	16
2.2 Desarrollo Sustentable:el caso de la microrregión.....	18
2.2.1 Clasificación de indicadores	19
2.2.2 Descripción y formalización de indicadores	20
2.3 El Ordenamiento Ecológico del Territorio	22
2.3.1 El Estado de Veracruz y la microrregión de Coatzacoalcos.....	23

Capítulo 3. Concepto, Metodología y Estructura de Modelo Económico

3.1 Econometría y Modelo Económico	27
3.3.1 ¿Que es la Econometría?.....	27
3.3.2 ¿Que es un Modelo Económico.....	28
3.2 Metodología del Análisis Económico	29
3.2.1 Teoría o hipótesis.....	30
3.2.2 Especificación del modelo econométrico.....	30
3.2.3 Obtención de datos.....	32
3.2.4 Estimación de los parámetros del modelo	33
3.2.5 Validación del diagnóstico (inferencia estadística)	33
3.2.6 Pronósticos y formulación de políticas	47

3.3 Análisis de Regresión Lineal.....	50
3.3.1 Análisis de Regresión Simple.....	50
3.3.2 Análisis de Regresión Múltiple.....	63
3.4 Elementos y Estructura de un Modelo Econométrico.....	75
3.4.1 Variables	76
3.4.2 Ecuaciones	78
3.4.3 Parámetros.....	79
3.4.4 Restricciones y condiciones.....	79
Capítulo 4. Construcción Estimación y Validación del Modelo	
4.1 Planteamiento de un Modelo.....	80
4.2 Identificación y validación de las variables.....	84
4.3 Construcción, estimación y validación del Modelo	84
Conclusiones y Recomendaciones.....	94
Anexo A.....	96
Anexo B	100
Anexo C.....	132
Bibliografía	136
Glosario	140

INTRODUCCIÓN

Los temas sobre *desarrollo sustentable y ordenamiento ecológico*, han adquirido relevancia en estos tiempos. Su importancia radica en que en muchos países estos conceptos han tomado un enfoque multidisciplinario. Existe una gran preocupación por combatir tanto el deterioro ambiental que día con día es más incontrolable, como la pobreza que es un problema que alcanza dimensiones significativas y que limitan el objetivo de alcanzar una economía satisfactoria a todos los niveles. De aquí que también sea importante explicar el papel que juegan los *proyectos de ordenamiento ecológico* para alcanzar la sustentabilidad.

No está de más recordar que las matemáticas son de gran utilidad para muchas disciplinas. Dado que las matemáticas ayudan a simular fenómenos que de otra forma serían difíciles y costosos de analizar.

El presente trabajo surge por la inquietud de explicar desde un punto de vista matemático y estadístico al desarrollo sustentable, con el manejo de indicadores de sustentabilidad, de manera tal que, representados en un modelo sirvan para identificar aquellas áreas de conflicto en la microrregión de Coatzacoalcos y de esta forma evaluar y prever los daños, tomando en cuenta medidas y programas de control.

En particular, inicialmente se trabajará en un proyecto de ordenamiento ecológico para la Cuenca Baja del Río Coatzacoalcos en Veracruz¹, en el cual se manejarán indicadores de sustentabilidad de tres sectores diferentes: social, económico y natural, de los cuales se desearía conocer su comportamiento para un mejor aprovechamiento del área en estudio.

En este caso específico se relacionan las ciencias sociales, naturales y económicas entre sí, con la ayuda de notaciones matemáticas, lo cual permite una manipulación más fácil.

En el Primer Capítulo se hace un enfoque muy general del desarrollo sustentable y se menciona la importancia del ordenamiento ecológico como una de las herramientas para alcanzarlo. Se da un panorama a nivel mundial, así como de las medidas y

¹ El proyecto "Ordenamiento Ecológico del Territorio para la microrregión de la Cuenca Baja del Río Coatzacoalcos, Ver.", ha sido desarrollado en sus diversas etapas por el Instituto Mexicano del Petróleo.

herramientas que se están tomando para evitar un mayor desgaste de los ecosistemas, prevenir una mayor contaminación y evitar la destrucción de la ecología.

En el capítulo 2 se explica el desarrollo sustentable en el caso de México y muy específicamente en el de la microrregión de Coatzacoalcos. Se dan a conocer los indicadores con que se trabajará y su importancia.

Se describe lo que es un Proyecto de Ordenamiento Ecológico para la microrregión, se da una breve biogeografía del estado de Veracruz y de la región en estudio y se puntualiza la importancia del ordenamiento como instrumento de legislación para el uso del suelo.

En el capítulo 3 se presentan algunos conceptos de econometría y de modelo econométrico. Precizando que un modelo econométrico es una relación que permite explicar, describir o pronosticar el comportamiento de un sector y el comportamiento de los agentes participantes de la actividad en un sistema con la ayuda de herramientas matemáticas y estadísticas. Esta relación está dada por un sistema de ecuaciones o funciones entre las variables más relevantes, donde cada ecuación representa un sector, una categoría o actividad económica, social o natural que es el objeto de investigación. Además, se explica paso a paso la metodología de un análisis econométrico y los requisitos que tiene que cubrir un modelo para ser validado y aceptado, así como todos los elementos que lo conforman. Asimismo, se introduce al lector en las técnicas estadísticas empleadas, para evaluar la utilidad de modelos econométricos como son: la estimación de parámetros y las pruebas de hipótesis, las cuales destacan si se satisface la necesidad que dio origen al estudio y permitirá conocer las tendencias de las variables que podrían impactar de una manera negativa y reorientar de mejor manera los posibles efectos.

En el capítulo 4, se plantea el modelo que contempla todas las variables de sustentabilidad, el cual debido a la falta de información fue imposible resolver, pero se deja como propuesta que puede ser retomada y analizada en una futura investigación. Como ejemplo de aplicación del análisis econométrico antes mencionado se trabajará con un pequeño modelo que está compuesto sólo con algunas variables.

El propósito de esta aplicación es enfatizar y comprobar el uso del análisis econométrico en cada uno de sus pasos, desde la validación de variables hasta la fase de pronóstico del modelo, y enfatizar la utilidad de las herramientas matemáticas y estadísticas para la solución de problemas de diversos ámbitos.

OBJETIVO GENERAL:

Proporcionar sustento matemático y validar estadísticamente la relación entre variables que, de acuerdo a los objetivos de los sectores social, económico-productivo y natural, resulten viables de aplicarse a la región de la Cuenca Baja del Río Coatzacoalcos.

OBJETIVO PARTICULAR:

Pronosticar el comportamiento de las variables que modifique las estructuras y procesos en la dinámica del área.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO¹

A lo largo de este capítulo se expondrán diversas opiniones sobre el concepto de Desarrollo Sustentable procurando dejar en claro los fines que éste persigue y la importancia que ha tomado en muchos países.

Se resaltarà la utilidad de que los gobiernos concienticen a los ciudadanos sobre las prioridades que tienen que ser tomadas en cuenta para poder alcanzar un desarrollo sustentable.

Se mencionan los instrumentos económicos que los países miembros de OCDE han puesto en marcha y en que consisten cada uno de éstos. Se señalan algunas estrategias propuestas para alcanzar el Desarrollo Sustentable.

Se advierte la conveniencia de utilizar índices de sustentabilidad, dado que permiten una mejor interpretación del fenómeno y otorgan un mejor manejo de la información.

Del mismo modo, se cita la relación que surge entre el Ordenamiento Ecológico del Territorio y el Desarrollo Sustentable.

1.1 DESARROLLO SUSTENTABLE

En la actualidad se requiere implementar alternativas que conduzcan a atenuar los complejos problemas que derivan del crecimiento económico de ciudades, países o regiones, para efectuar una transición ordenada de un estado a otro de desarrollo en el cual se distribuyan equitativamente los beneficios del progreso económico

¹ Véase 1) Saldívar V., Américo, et al. XII Conferencia "Perspectiva para el desarrollo económico en América Latina", Desarrollo Sustentable, México 1996., 2) OCDE: Desarrollo Sustentable: Estrategias de la OCDE para el siglo XXI. París 1996. 3) Instituto Nacional de Ecología. Manual de Ordenamiento Ecológico del Territorio, 4) Correa Barba, Adriana., Fase de Diagnóstico, Proyecto de Ordenamiento Ecológico del Territorio para la microrregión de la Cuenca Baja del Río Coatzacoalcos, Veracruz."

respetando los límites ecológicos de la región y su capacidad para preservar sus riquezas naturales en el futuro. Es vital para alcanzar lo que se denomina *Desarrollo Sustentable*.

La Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y Desarrollo establece que el Desarrollo Sustentable es: *el crecimiento económico que se centra en mejorar la calidad de vida de las personas a través de una distribución equitativa, pero respetando el equilibrio ecológico y la capacidad de los recursos naturales de manera que perduren en el futuro.*

El desarrollo sustentable está referido a la integración de cuestiones económicas, sociales y ambientales; así pues, las actividades de producción de bienes y servicios deben de complementarse con la preservación de la diversidad, el respeto a la integridad funcional de los ecosistemas en compatibilización con los ritmos de recarga naturales y con los de extracción requeridos para el sistema económico.

La sustentabilidad aplicada en el desarrollo económico tiene como objetivo el logro de una cultura que viva en armonía interna entre las sociedades y externa con la naturaleza, es decir, pasar de una economía saqueadora de la Tierra con una repartición marcadamente excluyente entre los ciudadanos, a una sustentadora de ésta mediante la constitución de una dimensión ambiental en cada aspecto de la vida económica, desde la planeación y la formulación de políticas hasta los patrones de producción y consumo con una distribución equitativa.

Los principios del desarrollo sustentable son el paradigma de los años noventa que advierte a la humanidad sobre la necesidad de cambiar las modalidades de vida y el tipo de interacción comercial para evitar el advenimiento de una era con niveles generales de sufrimiento humano.

La sustentabilidad en el estrato social e industrial significa un aprovechamiento racional de los recursos para alcanzar un estado "óptimo" en el cual se pueden obtener los recursos suficientes para permitir no sólo la satisfacción de las necesidades de un grupo determinado de la sociedad, sino de toda la comunidad en su conjunto; pero de tal manera que no se afecte la capacidad de recuperación de los recursos renovables ni se permita el agotamiento por uso innecesario de recursos no renovables. Esta actitud permite la renovación y/o conservación de los mismos, para que puedan ser aprovechados por las generaciones posteriores.

El criterio de desarrollo sustentable no sólo se forma a través de una integración de diversas disciplinas sino también requiere de un cambio en las creencias básicas de los individuos, según lo plantea Miller Tyler (1994), en lo que se refiere a:

- Que el ser humano es superior a otras especies
- Que el ser humano es un ente superior a la naturaleza
- Que los recursos son infinitos

- Que una maximización en producción y consumo conlleven a un progreso material ilimitado
- Que el individuo o nación más importante es quien domina para usar la mayor proporción de los recursos del mundo.

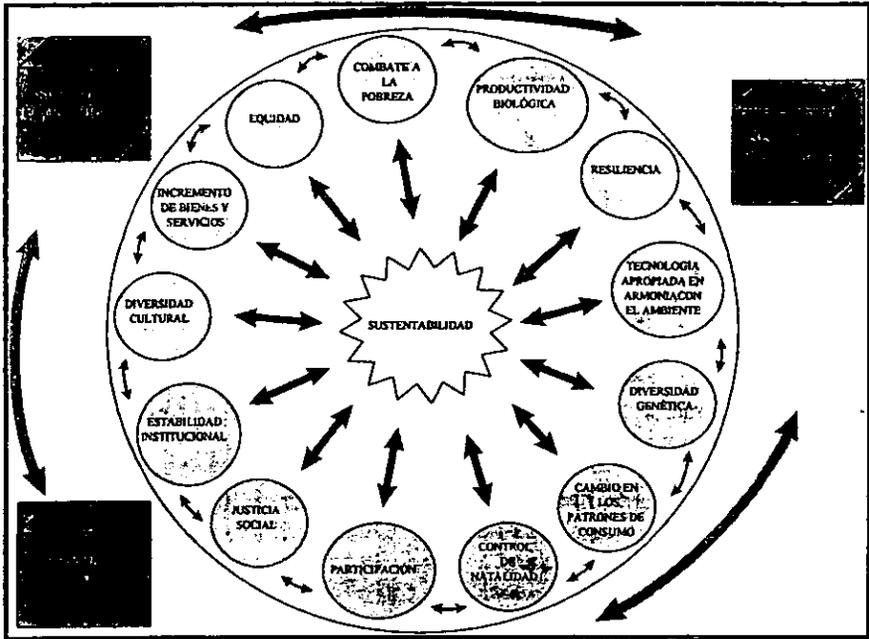
Estas ideas han implantado estilos de vida y se reflejan en una destrucción catastrófica del planeta. La modificación de estas creencias son parte de un comportamiento sustentador. Por ello, hay que canalizar hacia un adecuado conocimiento por parte de la población con respecto al medio ambiente que lo rodea y el cuidado del mismo.

La puesta en marcha hacia un desarrollo sustentable, significa que la naturaleza y los bienes y servicios ambientales ya no deben ser vistos como una mercancía más o como un subsidio, listos para ser utilizados de la manera más conveniente para el crecimiento económico y el lucro, como lo ha sido hasta el presente, sino que se reconozcan los límites que la naturaleza impone al propio desarrollo económico, sobre todo cuando se habla del mediano y largo plazos.

Por otro lado, es prioritario disminuir el crecimiento demográfico, principalmente en aquellas regiones donde la capacidad de carga del ecosistema está llegando a su límite. Asimismo, los inventarios referentes a los recursos naturales son esenciales de tal forma que se construya un balance ecológico con orientación hacia las posibilidades de disponibilidad actual y futura.

El carácter sustentable del desarrollo exige un cambio tecnológico continuo a fin de reducir las emisiones y el uso de recursos por unidad de producción y demanda un cambio tecnológico acelerado en los países subdesarrollados. Así pues la creación de tecnologías apropiadas y su perfeccionamiento es decisivo para reconciliar los objetivos del desarrollo con las limitaciones ambientales.

En la gráfica 1.1 se representa la interrelación de factores que son indispensables para crear tendencias hacia una sustentabilidad y consolidar bases con la finalidad de conseguir este tipo de desarrollo. Las flechas indican la retroalimentación y conexión entre las dimensiones económica, social y natural, las cuales generan acciones en un área que a su vez puede reforzar los objetivos en otra. Por ejemplo, una inversión en capital humano, especialmente entre los pobres, apoya los esfuerzos para reducir la pobreza, estabilizar rápidamente la población, disminuir las desigualdades económicas e impedir una mayor degradación del suelo y de los recursos biológicos. En resumen, alcanzar la meta del desarrollo sustentable significa un progreso simultáneo conjunto en las dimensiones social, económica y natural.



Gráfica No. 1.1 Sustentabilidad y su iteración entre los diferentes sistemas
Fuente: Fase de Diagnóstico del Proyecto de ordenamiento ecológico del Territorio para la Cuenca Baja del Río Coatzacoalcos IMP, 1997.

Existe una amplia gama de políticas ambientales que contribuyen al logro del desarrollo sustentable. Estas políticas ambientales están diseñadas para regular el acceso a los recursos naturales y su uso, así como algunos efectos que dañan el desarrollo. Una de ellas es el Ordenamiento Ecológico del Territorio².

1.2 EL DESARROLLO SUSTENTABLE: UN PANORAMA MUNDIAL

La integración de la toma de decisiones en materia económica y mundial representa un reto muy importante para los gobiernos que están en la búsqueda de un desarrollo sustentable. Existen muchos caminos para lograr una mejor integración de la toma de decisiones en ambos campos. Sin embargo, el instrumento más poderoso siempre será

² Este concepto se tratará más adelante con mayor detalle.

el mecanismo de precios, que dependerá de la capacidad de los gobiernos para llevar una estrategia eficaz de internalización de los costos ambientales.

1.2.1 Instrumentos Económicos que se aplican en los países miembros de la OCDE³

La función principal de los instrumentos económicos es favorecer un uso más eficiente de los recursos y reducir el volumen de desechos. Su aplicación puede tener diferentes repercusiones sobre los costos y la distribución del ingreso, según las empresas, los sectores, las regiones y las partidas de ingresos.

Dentro de los instrumentos económicos que son de mayor uso en países que pertenecen a la OCDE se pueden mencionar:

1. *Gravámenes o impuestos ambientales*: se entiende por gravámenes o impuestos ambientales los cargos o pagos que se hacen sobre el uso del medio ambiente, su monto depende de las características ecológicas del producto gravado. Los rendimientos de estos cargos impositivos van directamente al presupuesto general de la administración pública y se destinan, en general, a programas ambientales específicos. Se clasifican en:

- ♦ *Impuestos de emisión*, esto es, pagos sobre la descarga de contaminantes en el aire, el agua o el suelo, o sobre la generación de ruidos y se calculan con base en la cantidad y calidad del contaminante;
- ♦ *Impuestos a usuarios*, representan los pagos por el costo de los servicios de recolección y tratamiento (desechos sólidos, aguas servidas). Por definición, tienen el propósito de generar rendimientos;
- ♦ *Impuestos sobre el producto*, se aplican a productos dañinos para el medio ambiente después de ser usados en procesos de producción, o después de ser consumidos o eliminados (por ejemplo, carburantes, fertilizantes, plaguicidas y detergentes).

2. *Permisos*: los permisos negociables o las negociaciones de derechos de emisión son cuotas ambientales, concesiones o topes sobre los niveles de contaminación, que una vez distribuidos por la autoridad competente, se pueden negociar siempre y cuando se sujeten a una serie de normas predeterminadas. Las negociaciones pueden ser externas (entre diferentes empresas) o internas (entre diferentes plantas de la misma empresa).

3. *Reembolsos de depósitos*: estos sistemas son mecanismos mediante los cuales se paga un depósito sobre productos potencialmente contaminantes (por ejemplo, contenedores de bebidas). Cuando se evita la contaminación mediante el reciclaje de

³Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos.

los productos o de sus residuos, se devuelven los depósitos.

4. *Subsidios*: los subsidios con propósitos ambientales comprenden diversas formas de asistencia financiera (concesiones, préstamos blandos, rebajas fiscales) que incitan al contaminador a modificar su comportamiento.

El instrumento de aplicación más creciente es el de *sistemas de reembolso de depósitos*, en especial el caso de los empaques de artículos producidos, pues refleja la enorme preocupación de los países de la OCDE por los problemas de basura que éstos causan. El que se refiere a las botellas de plástico ha sido el que más se ha desarrollado.

Para propiciar el desarrollo sustentable, es importante asegurar que las políticas en vigor no emitan señales incorrectas a los productores ni a los consumidores respecto de los costos de la contaminación y de la escasez de los recursos naturales. Es decir, vigilar que las políticas en vigor no fomenten un comportamiento no sustentable, y sí propician la adopción de prácticas ecológicamente racionales con las que el medio ambiente y la economía puedan beneficiarse.

1.2.2 Estrategias para un Desarrollo Sustentable.

Es necesario considerar el desarrollo sustentable como un proceso integrado, basado en la voluntad política, las capacidades y la adhesión popular de los países en desarrollo, y apoyado por verdaderas sociedades internacionales destinadas a promover intereses comunes. El desafío que representa para las generaciones futuras de todo el mundo y el fortalecimiento de la seguridad de la humanidad tiene que ser el nuevo enfoque de motivación política.

Los aspectos fundamentales para una fuerte integración y cooperación hacia un desarrollo sustentable son:

La necesidad de desarrollar estrategias integradas de desarrollo que incorporen un determinado número de elementos fundamentales, tales como:

- ◆ un marco político sano, con miras a fomentar la estabilidad y el crecimiento económico que dé lugar a un sector privado vigoroso y a una base fiscal adecuada;
- ◆ investigación sobre el desarrollo social, en especial respecto a: la educación, los cuidados primarios de salud y las actividades de la población;
- ◆ aumento de la participación de toda la población, en especial de las mujeres, en la vida económica y política, y la disminución de las desigualdades sociales;
- ◆ creación de instituciones democráticas responsables, protección de los derechos humanos;

- ♦ prácticas respetuosas del medio ambiente;
- ♦ esfuerzos para remediar posibles causas de conflicto: limitar los gastos militares y orientar el proceso de reconstrucción y consolidación de la paz sobre la conciliación a más largo plazo y el desarrollo

También es necesario reconocer la necesidad de hacer una división del trabajo que respete la responsabilidad fundamental de los gobiernos, de las instituciones y de las poblaciones de los países en desarrollo para ordenar estos elementos fundamentales de estrategias integradas de desarrollo, y que los actores externos, por su lado, se empeñen, con un verdadero espíritu de sociedad, en apoyar el fortalecimiento de las capacidades locales, aportar los recursos complementarios necesarios y llevar políticas concertadas y coherentes que apoyen el desarrollo.

En otras palabras es urgente ir preparando estrategias con miras al próximo siglo, las cuales tengan por objetivo crear una asociación real para combatir la pobreza, ampliar las oportunidades, conservar el medio ambiente, y en general, mejorar en forma duradera la seguridad y el bienestar de la humanidad.

En la actualidad el Comité de Asistencia para el Desarrollo (CAD), plantea estrategias para fomentar un desarrollo participativo y sustentable a nivel local, las cuales caen dentro de las siguientes categorías⁴:

1. *Bienestar económico*: el primer objetivo, sin duda el más ambicioso de todos, es que de aquí al año 2015 se reduzca por lo menos en 50 por ciento la proporción de la población que vive en una situación de extrema pobreza en los países en desarrollo. Según los cálculos del Banco Mundial, se fija el umbral de extrema pobreza en un ingreso anual de 370 dólares por habitante, 30 por ciento de la población de los países en desarrollo, es decir más de 1300 millones de personas, viven en extrema pobreza. Al lograr disminuir esta cifra a 15 por ciento se habrá dado un gran paso para erradicar la pobreza, es considerado en la Declaración de Copenhague de 1995 como un "imperativo ético, social, político y económico para la humanidad".
 2. *Desarrollo social*: esta estrategia establece objetivos en cuatro áreas: educación, igualdad de sexos, cuidados primarios de salud y planificación familiar. Todos estos objetivos se inspiran en los siguientes compromisos asumidos en la Conferencia sobre Población y Desarrollo que se llevó a cabo en El Cairo en 1994, en la Cumbre sobre Desarrollo Social de Copenhague en 1995, y en la Conferencia de la Mujer verificada en Pekín en 1995:
- ♦ Que de aquí al año 2015 de acceso a la educación primaria a todos los habitantes de todos los países;

⁴ OCDE. Desarrollo Sustentable: Estrategias de la OCDE para el Siglo XXI. París 1996.

- ♦ Supresión de cualquier discriminación entre los sexos en la enseñanza primaria y secundaria de aquí al año 2005;
- ♦ Disminución en dos terceras partes, para el año 2015, la tasa de mortalidad de los recién nacidos y la de los niños de menos de cinco años, y tres cuartas partes la tasa de mortalidad materna, en relación con el nivel de 1990;
- ♦ dentro del área de los sistemas de cuidados primarios para la salud, acceso de todos los individuos en edad de procrear a métodos confiables y seguros para planificar la familia, para el año 2015.

3. *Sustentabilidad y regeneración del medio ambiente*: la tercera medida de progreso identificada en la estrategia es que todos los países puedan contar con estrategias nacionales de desarrollo sustentable para el año 2005, con el fin de revertir de manera segura, antes de 2015, la tendencia actual de desperdicio de los recursos ambientales. En la Conferencia sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo celebrada en Río de Janeiro en 1992 ya se manifestó la necesidad de aplicar estrategias nacionales de desarrollo sustentable.

La implementación de las nuevas estrategias debería apoyarse en el creciente número de experiencias y en los avances logrados, a nivel nacional y mundial.

Una de las cosas que proponen estas estrategias, es un mundo más próspero, estable, seguro, justo y sustentable para el siglo XXI. Y representan un panorama de esperanza y de oportunidades. Pero, existen muchas actividades que se realizan en la actualidad que ocasionan graves deterioros, cabe mencionar entre ellas, por ejemplo: la construcción de nuevas carreteras y el creciente uso de vehículos los cuales provocan un gran deterioro al medio ambiente en la mayor parte de los países. La intensificación de la agricultura, en ausencia de medidas de compensación, podría producir efectos negativos sobre el medio ambiente. De igual manera, es importante controlar la sobreexplotación de los recursos naturales y, en especial, la disminución de las zonas verdes y el agotamiento de las reservas de peces y de los bosques primarios.

El desarrollo sustentable requiere de importantes reformas a los patrones de producción y de consumo, creación de centros de tecnología más limpia y conciliación entre las políticas comerciales y ambientales. Es necesaria una utilización más racional de los recursos naturales y la reducción de efectos ecológicamente perjudiciales con un vínculo a los patrones de producción y de consumo.

Actualmente se tiene un avance en el control y reducción de efectos ambientales provocados por los procesos de producción. Asimismo, existe una continua asesoría para ver si es necesario desarrollar nuevos instrumentos y procedimientos y para mejorar los ya existentes.

En México los recursos naturales son los que representan los más altos niveles de riesgo y deterioro, o sea, el suelo, los bosques, el agua, la pesca y el manejo

sustentable de las áreas protegidas, sin dejar de apuntar la importancia central que se debe otorgar a los proyectos regionales y locales de desarrollo sustentable que ofrecen alternativas económicas viables para la economía campesina y para las comunidades rurales.

El tránsito a un desarrollo sustentable exige cambios en los patrones de consumo y en los sistemas productivos. Comienza por cancelar o disminuir a mínimos aceptables los efectos generados por los procesos que degradan el medio ambiente y los recursos naturales. Asimismo, se articula con medidas sólidas de protección al empleo y el ingreso, la superación de la pobreza y el mejoramiento de la calidad de vida. Continúa con la eliminación de las causas que alimentan los fenómenos ambientales más nocivos para la calidad de vida y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, para lograr una combinación sinérgica con los objetivos económicos y sociales. Se requiere la participación social en la política ambiental y de recursos naturales para diseñar políticas, estrategias y programas relativos al aprovechamiento y mejora de los recursos y la protección del medio ambiente.

1.2.3 Índices de Desarrollo Sustentable

La finalidad que los indicadores tienen, es hacer perceptibles ciertos fenómenos que no son detectables. Para que los indicadores cumplan con su función deben de simplificar y medir.

El desarrollo sustentable implica una interacción entre aspectos de interés económico, social y natural. El artículo 3º, fracción XI de la Ley General del Equilibrio Ecológico en México define al desarrollo sustentable como "El proceso evaluable mediante criterios e indicadores de carácter ambiental, económico y social que tiende a mejorar la calidad de vida y la productividad de las personas, que se funda en medidas apropiadas de preservación del equilibrio ecológico, protección del ambiente y aprovechamiento de recursos naturales, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de las generaciones futura". Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP, 1997).

Esta conceptualización señala la importancia del *indicador como agente cuantificable para transmitir interpretaciones*, y la de emplear variables de distinta índole con la idea de evaluar el proceso hacia la sustentabilidad.

Una información útil son los Niveles de Bienestar en México descritos por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 1993) en la cual incluye alrededor de veinte variables de tipo social, una de las ventajas de este compendio de datos es que se encuentra a nivel municipal para toda la República Mexicana. Un documento adicional son los "Lineamientos y Criterios para la Selección y Desarrollo

de Índices e Indicadores Ambientales” Serie: Ordenamiento Ambiental No. 2 elaborado por la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE). Este documento expresa indicadores factibles de construir como: el índice de calidad del aire, el índice de erosión potencial, el índice de diversidad, es decir, su carácter es de tipo geográfico y biológico. Adicionalmente, un trabajo que se ha destacado por la integración del análisis económico-ambiental ha sido el Sistema de Cuentas Económicas y Ecológicas de México (INEGI, 1996) cuyo procedimiento consiste en darle valores monetarios a los activos ambientales no producidos como son: el aire, el agua y el suelo, mediante la asignación de costos por agotamiento y degradación. El resultado de estas transformaciones a valores monetarios se relaciona con la suma de los valores monetarios de los bienes públicos y servicios producidos, Producto Interno Bruto (PIB), restándose primero el desgaste de sus activos fijos, Producto Interno Neto (PIN) y posteriormente los ajustes derivados de los cambios en los recursos naturales y el medio ambiente para obtener así el Producto Interno Neto Ecológico (PINE). El problema de esta información es que se encuentra de manera generalizada a nivel nacional y no se combinan aspectos sociales.

Un material que involucra cuestiones sociales con económicas es el Índice de Desarrollo Humano publicado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 1996).

El análisis de la variedad de información recopilada en los diferentes documentos constituye una herramienta útil para definir los indicadores representativos de desarrollo sustentable; aunque, de manera separada manifiestan una información somera. Por esta razón se prescinde de la integración de cuestiones de tipo natural, social y económicas con carácter cuantitativo que sinteticen un Índice de sustentabilidad. Sin embargo, se encuentra latente el problema de aglutinar diferentes unidades métricas que dan como resultado una composición de elementos incomparables. Una alternativa para enfrentar esta problemática es la de otorgarle valores monetarios al conjunto de variables económicas, sociales y naturales independientemente de su naturaleza; con la disyuntiva de que, en la cuestión natural e incluso social los valores monetarios son muy arbitrarios pues involucran aspectos de precios, agregaciones macroeconómicas, servicios, devaluaciones y comportamiento de mercados.

1.3 EL ORDENAMIENTO ECOLÓGICO:

Proteger el Medio Ambiente es una labor que debe ser planeada y realizada en todas las empresas en las que la sociedad se involucre. Desde la apertura de nuevos caminos hasta la operación de una fábrica, es necesario aplicar criterios de conservación de los

⁵ INE. Manual de Ordenamiento Ecológico. pp. 9-85

recursos naturales y de mejoramiento de la *Calidad de Vida* de la población, entendiéndose a esta última como el logro de los satisfactores básicos y el derecho a vivir en un ambiente sano y agradable desde el punto de vista estético y cultural.

Las Ciencias Ambientales han tenido un desarrollo importante en los últimos años y se cuenta con técnicas e instrumentos para prever y controlar los efectos negativos que produce el aprovechamiento de los recursos naturales.

En el campo de la Planeación Física surge un nuevo concepto que tiene más de 10 años de estarse aplicando en países desarrollados y en México: *Ordenamiento Ecológico del Territorio*.

El ordenamiento ecológico del territorio (OET) se considera como *un proceso de planeación dirigido a evaluar y programar el uso del suelo y el manejo de los recursos naturales en el territorio nacional y de las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción, para preservar y restaurar el equilibrio ecológico y proteger el ambiente*.

Dentro del marco del desarrollo sustentable, el ordenamiento ecológico deberá de entenderse como: *el instrumento de la política ambiental cuyo objetivo es inducir y regular el uso del suelo y las actividades productivas, como base de la política de desarrollo regional, donde se integren procesos de planeación participativa con el fin de lograr la conservación y el aprovechamiento racional de los recursos naturales, minimizando su deterioro a través de la selección de sistemas productivos adecuados; en el marco de equidad y justicia social*.

Como se puede ver, el ordenamiento ecológico permite orientar la localización espacial de las actividades productivas, coadyuvando a determinar la densidad y formas de uso del suelo y garantiza el constante seguimiento y evaluación sobre las actividades permitidas y sus tasas de aprovechamiento de los recursos, así como de los efectos previsibles en el medio y la sociedad.

De aquí surgen los llamados "Proyectos de Ordenamiento Ecológico del Territorio (POET)", de carácter regional y programáticos, en los cuales se determinan usos específicos del suelo y normas para un aprovechamiento racional y sostenido de los recursos naturales. Para esto, se llevan a cabo análisis físicos y biológicos de los ecosistemas que componen el área de interés, con la finalidad de determinar el potencial de sus recursos. Esta información se combina con las características socioeconómicas de la población y las tendencias de ocupación del territorio por parte de los asentamientos humanos y del desarrollo de las actividades productivas, para así establecer un planteamiento que contribuya positivamente al desarrollo integral del área.

La metodología que se sigue para el desarrollo de un POET se explica en el anexo C.

CAPÍTULO 2

MARCO REFERENCIAL¹

En este capítulo se trata específicamente el caso de México en términos de Desarrollo Sustentable y las políticas que se asumen para alcanzarlo. De la misma manera, se describen las condiciones en que se encuentra actualmente la Política Ambiental Mexicana.

Se resaltan las labores que desarrollan las Secretarías e Instituciones públicas en apoyo a la conservación del ecosistema y la lucha por un mejor ambiente.

Se expone el caso de la Microrregión del río Coatzacoalcos, explicando las causas que dan origen al proyecto, así como una breve biogeografía del Estado de Veracruz y una descripción del área en estudio.

Nuevamente se destaca la utilidad del manejo de indicadores para la descripción del comportamiento de factores ambientales, económicos o sociales que estén afectando de una manera u otra las condiciones normales de la microrregión.

2.1 LA POLÍTICA AMBIENTAL EN MÉXICO

La política ambiental mexicana no está concebida bajo la orientación del desarrollo sustentable, y es por ello que no resiste una confrontación con la cual se pretenda dilucidar si cumple o no con las directrices surgidas de la CNUMAD², aun cuando en algunos aspectos haya logrado avances considerables. (Carabias 1994).

¹ Véase 1) Carabias, Julia, Provencio Enrique, "La Política Ambiental Mexicana, antes y después de Río", México 1994. 2) Quadri de la Torre, Gabriel "La política Ambiental en México, Necesidades y Prioridades". La Diplomacia Ambiental, México 1994. 3) Semamap, "El nuevo Marco Institucional en México". El desarrollo Sustentable Una alternativa de Política Institucional, México 1996. 4) Correa Barba, Adriana, "Fase de Diagnostico, Proyecto de Ordenamiento Ecológico del Territorio para la microrregión de la Cuenca Baja del Río Coatzacoalcos, Ver."

² Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo

Algunos acuerdos a los que se llegó en la CNUMAD son: el determinar áreas de la actividad humana o conflictos ecológicos específicos que hayan sido identificados como prioritarios para el futuro de la humanidad y para el logro de propósitos de desarrollo humano; borrar los ideales de progreso, acumulación y crecimiento económico material.

Un paso inicial para modificar la política ambiental sería empezar a crear cambios en los siguientes aspectos:

- a) revisión de los métodos y prioridades para definir las estrategias de desarrollo;
- b) reforma del marco legal y regulatorio para garantizar que la normatividad sea coherente con las prioridades ambientales;
- c) adopción de instrumentos económicos que orienten los mecanismos de mercado, de la producción y el consumo, para interiorizar la racionalidad ambiental en las decisiones económicas;
- d) reformulación de los sistemas de información y cuantificación de la actividad productiva y social para eliminar los sesgos antiambientales;
- e) estructuración de un sistema eficaz de ordenamiento general del uso productivo y ocupación del territorio.

El desarrollo sustentable requiere de políticas nacionales que alienten tecnologías, prácticas y formas de organización tradicionales compatibles con el uso sustentable de los recursos bióticos, y presten ayuda a comunidades y localidades cuyos recursos están degradados, adoptando e internalizando las referencias ambientales en la política económica nacional.

Algunos tipos de evidencias que destacan en el país, que son la máxima preocupación para proponer una legislación ambiental urgente a continuación se mencionan: la contaminación por agroquímicos y por la industria, y sus efectos en la salud; el agotamiento de los recursos y de la energía por la sobrepoblación y el acelerado crecimiento económico y la incontrolable baja de rendimientos y de producción agrícola; la creciente deforestación, la disminución de la flora y la fauna; la intensa sobreexplotación del agua; la grave contaminación de las zonas urbanas; y la incapacidad para absorber los desechos industriales y urbanos, entre otros problemas.

Hasta la fecha se han puesto en marcha algunas estrategias, normas, reglas y programas tales como³:

La priorización de algunas áreas, marginando aún más las de ejecución, como restauración y protección de ecosistemas y recursos naturales; la conformación del Sistema de Monitoreo de la Calidad del Agua, la rehabilitación e instalación de plantas de tratamiento de aguas residuales, el control de las descargas contaminantes, acciones de saneamiento de las principales cuencas y el inventario de las fuentes contaminantes;

³ Carabias, Julia. "La Política Ambiental Mexicana, antes y después de Río". La Diplomacia Ambiental. FCE/SER. México 1994.

la instalación de la Red de Monitoreo Atmosférico, la detección de las empresas más contaminantes y se firmaron varios convenios con algunas de ellas para mitigar sus efectos. Para las fuentes móviles, se restringió la circulación de los automóviles una vez a la semana; se fijaron normas para la instalación de equipo anticontaminante a las nuevas unidades de vehículos y se instaló la verificación obligatoria; se mejoró la calidad de las gasolinas; se sustituyeron los motores en la mayor parte de las unidades de la Ruta 100, la cual fue la principal línea de autobuses urbanos del Distrito Federal; se definió un plan de contingencia que se ha aplicado cuando la contaminación alcanza niveles peligrosos para la salud y se formuló el Plan Integral contra la Contaminación Atmosférica en el Distrito Federal. Con respecto a los residuos sólidos, se construyeron rellenos sanitarios y algunas empresas recicladoras de residuos sólidos industriales.

Para los tres recursos mencionados, agua, aire y suelo, se expidieron normas técnicas para fijar los límites de emisiones y descargas contaminantes.

Uno de tantos programas más en el que se avanzó considerablemente fue el de conservación ecológica. Se incrementó el área protegida en 4 millones de hectáreas, llegando a 5.7 millones (44 parques y 22 reservas); se creó el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas; se mejoró el marco normativo que regula estas áreas; se elaboró el listado de especies endémicas y en peligro de extinción, se establecieron cuatro centros de decomiso para la vigilancia e inspección de la flora y fauna; se elaboró el calendario cinegético⁴ y el de vedas con la Secretaría de Pesca; se desarrollaron ecotecnias para la reproducción en cautiverio del cocodrilo, jabalí, tepescuintle, guaqueque y venado cola blanca.

Otro programa iniciado fue el de *ordenamiento ecológico del territorio*, cuyo objetivo era el de integrar a la planeación del desarrollo nacional políticas y normas que permitan un adecuamiento del uso del suelo y el manejo racional de los recursos naturales.

La Ley Federal de Protección Ambiental anuncia que el uso del suelo debe ser compatible con su vocación, y define que se deben reglamentar las formas adecuadas de uso de los recursos naturales. Para lo cual ofrece instrumentos como el de ordenamiento territorial y el de evaluación del impacto ambiental para acercarse al uso compatible de los recursos con las condiciones del medio ambiente.

➤ Papel de las Secretarías de Estado y las Instituciones Públicas.

En México los problemas ambientales son atendidos por diferentes Secretarías e Instituciones, las cuales desempeñan una actividad en particular. Estas son:

⁴ Con respecto a las temporadas de caza

La Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) es la encargada de formular, conducir y evaluar la política general de desarrollo social, y en particular la de asentamientos humanos, desarrollo regional y urbano, vivienda y ecología.

El Instituto Nacional de Ecología (INE), encargado de elaborar las normas y criterios ecológicos, promover el ordenamiento ecológico y evaluar las manifestaciones de impacto ambiental. Y la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, responsable de vigilar y en su caso sancionar incumplimientos.

La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) maneja lo referente a la organización y administración de los parques nacionales, reservas de flora y fauna, parques zoológicos, jardines botánicos y colecciones forestales; la determinación de las vedas forestales y de caza, permisos, contratos y concesiones, y el cuidado de las arboladas y los árboles históricos del país.

La conservación y manejo de la flora y fauna marina, fluvial y lacustre, criaderos y reservas de especies acuáticas fueron transferidas a la Secretaría de Pesca (SEPESCA).

➤ Algunas estrategias de desarrollo sustentable⁵

La sustentabilidad ambiental está condicionada por el cumplimiento de propósitos sociales, sobre todo los de la equidad actual y la superación de la pobreza. En consecuencia, una estrategia de desarrollo sustentable implica incorporar la dimensión ambiental al diseño de políticas y programas nacionales.

La definición de los espacios geográficos, su caracterización ambiental y socioeconómica actual y su potencialidad de uso, es un primer paso, básico e indispensable para determinar un uso apropiado de los espacios ambientales. Así que, otra estrategia es el ordenar el territorio nacional.

El ordenamiento territorial es una tarea urgente que se debe realizar en los ámbitos nacional, regional, municipal e incluso comunitario.

2.1.1 Necesidades y prioridades

En México, la atención se ha puesto, tanto en el uso y conservación de ecosistemas y recursos naturales como en lo relativo al crecimiento urbano e industrial.

El manejo sustentable del territorio depende de cómo se distribuya la población y en

⁵ Carabias, Julia. "La Política Ambiental Mexicana, antes y después de Río". La Diplomacia Ambiental. FCE/SER. México 1994

qué condiciones, así como de las formas de producción que prevalezcan, es decir, depende del modelo territorial vigente.

La urbanización se da en un marco de desorden e irregularidad. Este crecimiento devora recursos naturales y tierras productivas; plantea también serios problemas de carencia de áreas verdes de uso colectivo, de abastecimiento de agua y de vertimiento de afluentes contaminados a acuíferos subterráneos, ríos, cuerpos continentales y al mar.

El mal uso del territorio se refleja en tasas elevadas de deforestación e hirientes procesos de erosión, desertificación, agotamiento de recursos, pérdida de la biodiversidad y extinción de especies⁶, y desequilibrio hidrológico. Cabe mencionar que el 84% del territorio nacional está erosionado⁷.

La conservación de ecosistemas en Áreas Naturales protegidas es pieza clave del desarrollo sustentable. Esta conservación se intenta hacer a través del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SINAP).

2.1.2 El nuevo Marco Institucional en México

El marco legal sustantivo sobre el medio ambiente y los recursos naturales lo constituyen la LGEEPA⁸, la Ley de Aguas Nacionales, la Ley Agraria, la Ley de Pesca, la Ley de Bienes Nacionales, así como la Ley General de Asentamientos Humanos.

➤ El Plan Nacional de Desarrollo (1995-2000)⁹

En este documento se hace énfasis en el Imperativo de frenar las tendencias de deterioro ecológico y de sentar las bases para transitar a un desarrollo sustentable.

El reto, tanto para la sociedad como para el Estado es, asumir plenamente las responsabilidades y costos de un aprovechamiento duradero de los recursos naturales renovables y del medio ambiente que permitan mejor calidad de vida para todos, propicien la superación de la pobreza, y contribuyan a una economía que no degrade sus bases naturales de sustentación.

Las estrategias nacionales de desarrollo buscan un equilibrio, tanto global como regional, entre los objetivos económicos, sociales y ambientales, de tal forma que se

⁶ Entre la especies extintas existen, por lo menos, de 17 a 397 especies de animales y de 17 a 397 especies de plantas en peligro de extinción.

⁷ SEDUE, Informe sobre el medio Ambiente en México, México 1987.

⁸ Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente

⁹ SEMARNAP, El nuevo marco Institucional de México. El Desarrollo Sustentable. Una alternativa de Política Institucional. Cuadernos/SEMARNAP, México 1996.

logren contener los procesos de deterioro ambiental e inducir un ordenamiento ambiental del territorio nacional, aprovechar de manera plena y sustentable los recursos naturales, como condición básica para alcanzar la superación de la pobreza, y cuidar el ambiente y los recursos naturales, a partir de una reorientación de las pautas de consumo y un cumplimiento efectivo de las leyes.

Junto con las acciones para frenar las tendencias del deterioro ecológico y transitar hacia un desarrollo sustentable, se realizan programas específicos para sanear el ambiente en las ciudades más contaminadas, restaurar los sitios más afectados por el inadecuado manejo de residuos peligrosos, sanear las principales cuencas hidrológicas y restaurar áreas críticas para la protección de la biodiversidad.

Además estimula la aplicación de estudios de impacto ambiental y la mejoría de la normatividad para el manejo de residuos peligrosos.

El factor de promoción en la regulación ambiental estará dado por un sistema de incentivos que, a través de normas e instrumentos económicos, alienten a productores y consumidores a tomar decisiones que apoyen la protección del ambiente y el desarrollo sustentable.

El éxito de estas estrategias dependerá de la conformación de una cultura de prevención, aprovechamiento sustentable de los recursos y mejoramiento de la calidad de vida, planteada como una de las principales tareas compartidas entre el Estado y sociedad, donde se privilegien la educación, la capacitación y la comunicación.

La SEMARNAP ha establecido diez lineamientos¹⁰ de política que dan dirección y sentido a las acciones institucionales¹¹:

1. Promover una transición al desarrollo sustentable y frenar los procesos de deterioro ambiental y de los recursos.
2. Aprovechar el potencial de los recursos y mejorar ecológicamente los procesos productivos para impulsar el desarrollo
3. Ordenar el aprovechamiento de los recursos, la producción, la infraestructura y el desarrollo urbano
4. Destacar la prevención y fomentar con la educación, la capacitación y la comunicación, patrones de consumo más favorables para la sustentabilidad
5. Fomentar programas de uso de recursos que favorezcan la superación de la pobreza
6. Fomentar la corresponsabilidad, la participación social y una información oportuna y transparente de la política ambiental y de recursos naturales
7. Avanzar a la descentralización, la coordinación y la integración regional
8. Fortalecer el marco jurídico y el cumplimiento de las leyes, normas y programas

¹⁰ Lineamiento : orientación.

¹¹ SEMARNAP, El nuevo marco Institucional de México. El Desarrollo Sustentable. Una alternativa de Política Institucional. Cuadernos/SEMARNAP, México 1996.

9. Modernizar e innovar las prácticas institucionales, lograr una gestión ágil y funcional, y una actuación transparente en todos los niveles
10. Fortalecer la participación mexicana en los foros internacionales de medio ambiente y recursos naturales

2.2 DESARROLLO SUSTENTABLE: EL CASO DE LA MICRORREGIÓN

La discrepancia en diversidad y cantidad de recursos que la naturaleza otorga, a los diferentes lugares de la Tierra ha influido en el modo de ubicación de los asentamientos humanos. Por ello, las sociedades industriales radican en zonas de acceso que permiten extraer recursos naturales tanto para la subsistencia humana, como en el arranque de los procesos productivos. Sin embargo la congregación de elementos humanos, productivos, comerciales y de servicios ha desatado desequilibrios en los balances ecológicos propios del sistema natural, a tal grado que la virtud de abundancia en biodiversidad y recursos naturales, en distintas zonas del planeta, queda en entredicho por el inmenso deterioro de los ecosistemas, con el único fin de acelerar crecimientos económicos.

La problemática ya muy generalizada a nivel mundial antes expuesta, es precisamente lo que revela la fase descriptiva y de diagnóstico en el caso de estudio de la microrregión, que se caracteriza por presentar un gran número de ecosistemas terrestres, estuarios, pantanos, lagunas costeras y llanuras de diversos tipos. Pero al mismo tiempo, que representa un elevado valor ecológico, también se destaca por generar un potencial para el desarrollo de actividades productivas: agricultura, ganadería, pesca, acuacultura e industria. Por consiguiente, el desarrollo industrial, las actividades agrícolas y el crecimiento de los centros urbanos de la entidad, han provocado problemas como la expansión de las fronteras productivas, las incompatibilidades en el uso de suelo, la contaminación de aire y agua mediante la descarga de vapores y efluentes industriales, así también como de basura doméstica, de residuos sólidos de aguas residuales o municipales sin tratamiento, que fluyen directamente hacia los ríos u otras vías con el consecuente deterioro de los sistemas.

En estas circunstancias, el conocimiento de factores sociales y económicos así como las causas y los efectos que han propiciado la generación de contaminantes y agotamiento de los recursos en el sector natural, requieren de un análisis de evaluación a través de indicadores definidos con el objeto de interpretar y esclarecer la interacción entre actividades humanas y el entorno natural de cada región en donde coexisten aspectos económicos, sociales, y naturales, que posteriormente serán de utilidad para las fases de pronóstico y propuesta.

Una de las estrategias para enfrentar la problemática antes expuesta es coordinar el desarrollo económico con el medio ambiente, denominado también, como desarrollo sustentable, cuyo paradigma se ha insertado dentro de los modelos económicos que rigen actualmente en México, su conceptualización propone evaluar mediante criterios e indicadores de carácter ambiental, económico y social, de manera que se forme una tendencia a mejorar la calidad de vida de las personas, a través de la preservación del equilibrio ecológico, aprovechamiento de los recursos naturales y que no se comprometa la satisfacción de necesidades de las generaciones futuras. La reunión de elementos requiere ser cuantificada lo que lleva a escoger indicadores representativos y por medio de una evaluación de los mismos se califica el grado de sustentabilidad de cada región. Asimismo el conjunto de indicadores que conforma el índice de desarrollo sustentable coadyuva a conocer y simplificar de forma conmensurable la información de fenómenos referentes al nivel de desarrollo y perturbación en el ambiente de tal manera que sean de utilidad en la elaboración de fases subsecuentes dentro de la metodología del Ordenamiento y en la toma de decisiones que contengan un marco de sustentabilidad.

2.2.1 Clasificación de Indicadores

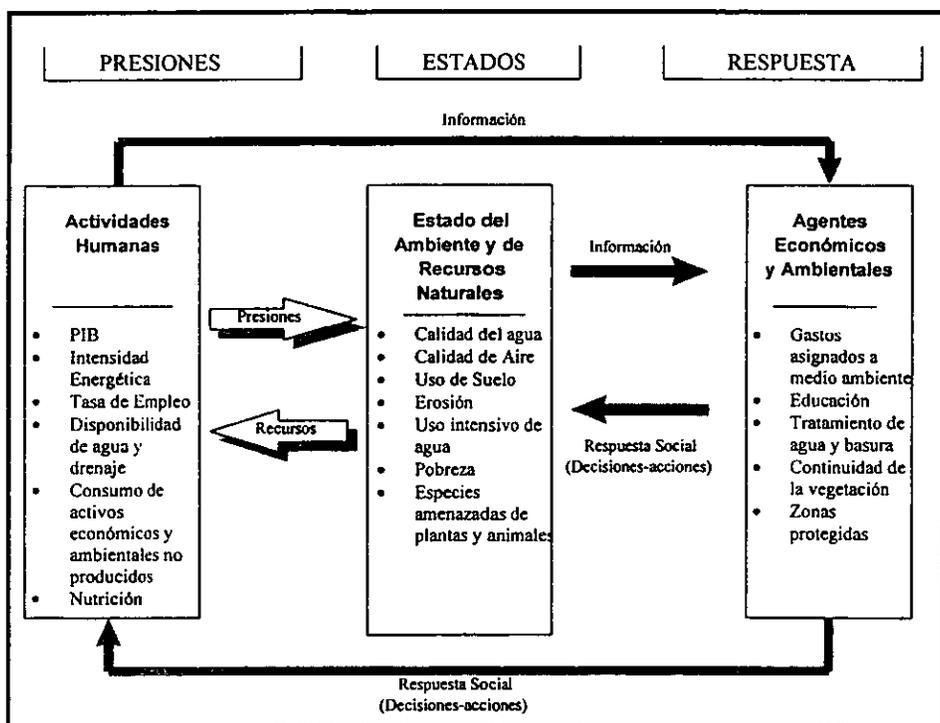
Los indicadores, como ya se dijo, son agentes cuantificadores de los resultados en un estudio. Constituyen tan sólo uno de tantos instrumentos de evaluación, que debe complementarse con información cualitativa para evitar errores de interpretación. Éstos deben ser divulgados e interpretados en el contexto adecuado, tomando en consideración las características ecológicas, geográficas, sociales, económicas y estructurales de los países y sus regiones.

La transición hacia el desarrollo sustentable requiere de una visión de las causas, los efectos y las respuesta. Es decir, desagregar la información de todo el mecanismo y clasificarla según la forma en la que actúa en el embrollo del deterioro al medio ambiente. De esta forma se plantea una panorámica que ayuda a percibir el papel que juegan los indicadores claves, independientemente del sistema al que pertenezcan, con el objeto de anticipar situaciones y presentar propuestas. En este sentido, la gráfica 2.1 esquematiza el rubro al que corresponden de acuerdo con su comportamiento. El cuadro de presión se refiere a los elementos requeridos para acelerar el progreso económico y de alta demanda de insumos naturales y ambientales.

La clasificación designada como *estado*, incluye parámetros críticos que lleva consigo el crecimiento económico y describen la situación en la que se encuentran factores sociales o naturales suscitados por el mismo. Los indicadores que inciden dentro de la selección denominada *respuesta*, son las medidas que se han considerado para dar solución a la problemática. Las acciones de respuesta se integran en las actividades humanas como una fase consecutiva del desarrollo sustentable.

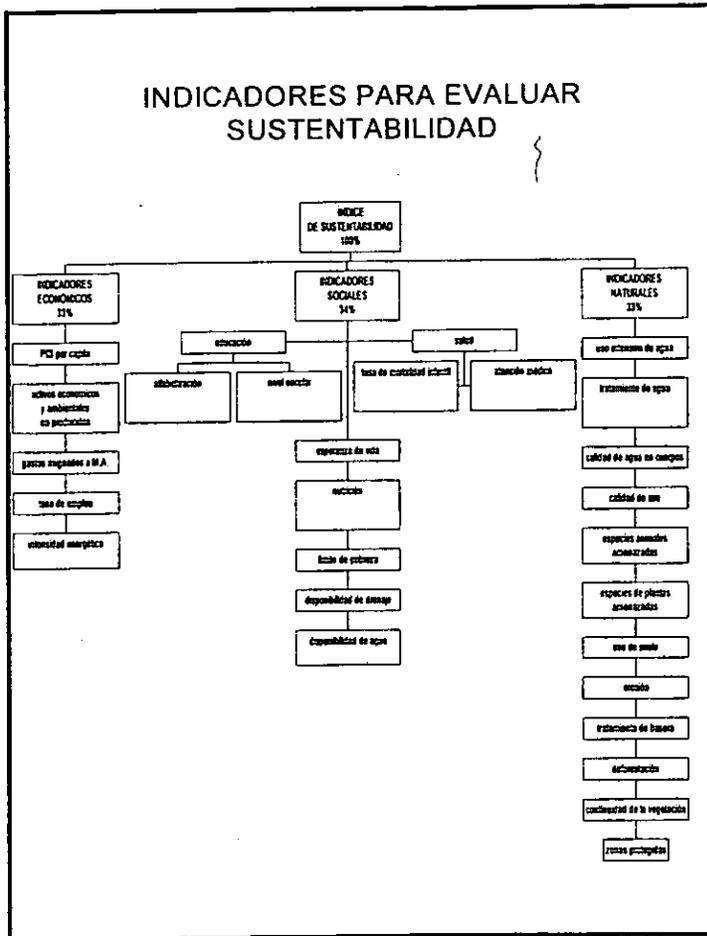
2.2.2 Descripción y formalización de indicadores

A través de la información recopilada en la fase de descripción y diagnóstico del Ordenamiento, el marco de referencia de desarrollo sustentable y las condicionantes de la metodología de atributos múltiples¹² se han formalizado los indicadores que componen al Índice de Desarrollo Sustentable. Los Indicadores generales de los sistemas económico, social y natural. Cada uno de estos indicadores se define por sus indicadores específicos, de manera que el Índice de desarrollo sustentable se obtiene con la ponderación de 26 indicadores específicos. Los cuales se muestran en la gráfica 2.2.



Gráfica 2.1. Rubros de la sustentabilidad.

¹² Esta metodología se describe a detalle en el anexo A



Gráfica 2.2. Indicadores para evaluar la sustentabilidad en la microrregión

En el anexo B se describe la importancia que revela la información de cada uno de los indicadores específicos desde el punto de vista de sustentabilidad. Por otro lado, se menciona la fórmula obtenida por la función de utilidad.

2.3 EL ORDENAMIENTO ECOLÓGICO DEL TERRITORIO¹³

El Ordenamiento Ecológico Territorial (O.E.T) es el instrumento fundamental que establece la legislación ambiental mexicana para regular los usos del suelo y las actividades productivas de acuerdo a la disponibilidad de los recursos naturales del territorio. Está orientado a coadyuvar de manera importante al desarrollo sustentable y a la conservación de los recursos naturales y a su vez es marco de referencia para la evaluación del impacto ambiental. Difiere de éste último, ya que el Ordenamiento Ecológico es de carácter regional e intersectorial y analiza la totalidad del territorio de manera integral; también tiene como fin identificar los impactos agregados o acumulados que deterioren las condiciones ambientales y de desarrollo de la población.

México cuenta con una gran diversidad de ecosistemas ricos en recursos naturales, los cuales lo colocan en un lugar importante a nivel mundial por la posibilidad de su explotación, así como por la belleza de los paisajes que se presentan a lo largo y ancho del territorio nacional. Al mismo tiempo, el país se enfrenta a un crecimiento demográfico, con una creciente urbanización y un desarrollo importante de las actividades productivas, que muchas veces son llevados a cabo sin considerar criterios ecológicos en la planeación del desarrollo del territorio nacional. Esto ha provocado grandes desequilibrios ambientales.

La región de Coatzacoalcos, localizada al sureste del Estado de Veracruz surge a partir de la consolidación de la actividad petrolera en la década de los años setenta. Destaca como un polo de desarrollo económico dentro del área que la impulsa como la mayor plataforma petroquímica del país y sin lugar a duda como un pilar estratégico de la economía nacional.

El extremo sureste del Estado de Veracruz, se caracteriza por la presencia de numerosos sistemas lagunares, estuarinos, llanuras, pantanos, áreas agropecuarias y de alto potencial de explotación y de producción petroleras. Posee además, selvas extensas, así como algunas áreas de manglar, que dan albergue a una variedad importante de especies.

Sin embargo, la región posee un elevado potencial de riesgo a conflictos ambientales. Contribuyen a este problema las divergencias existentes en el uso del territorio entre las actividades industriales y las agropecuarias, así como el avance gradual e ininterrumpido de la eutrofización¹⁴ de la región, causada por las actividades industriales; todo lo cual es atribuido a la falta de procesos de planeación adecuados a las condiciones regionales.

¹³ Términos de referencia para el Proyecto "Ordenamiento Ecológico para la Microrregión de Coatzacoalcos, Ver", México 1997, INE.

¹⁴ Deterioro

Por otra parte, el crecimiento sin control de las manchas urbanas, también ha contribuido a la destrucción del medio ambiente en el área, particularmente en Coatzacoalcos.

Ante esta problemática, surge el estudio de las estrategias de *Ordenamiento Ecológico para la región de Coatzacoalcos*¹⁵, el cual no sólo garantiza el progreso productivo, sino la reducción de afecciones sobre el medio ambiente.

2.3.1 El Estado de Veracruz y la microrregión de Coatzacoalcos¹⁶

Veracruz posee la mayor riqueza biótica del Golfo de México. Las características ecológicas de su litoral lo sitúan como el estado de más alto valor al respecto. El número de especies exclusivas y endémicas de anfibios, reptiles y mamíferos terrestres, así como la diversidad de especies que se localizan en sus ecosistemas costeros, conforman la base de su alto significado biótico.

A pesar de que los municipios costeros ocupan una escasa extensión territorial, en ellos se asientan grandes núcleos de población. Su economía se encuentra muy diversificada y descansa principalmente en la industria petrolera y petroquímica, la ganadería, la agricultura y la pesca.

La infraestructura pesquera es fruto de muchos años de experiencia. Cuenta con el más grande número de muelles, puertos de desembarque, congeladoras y técnicos; además de carreteras vecinales conectadas con zonas pesqueras y lazos comerciales con casi toda la república.

Los servicios públicos se han visto rebasados por la demanda de la población; es el caso de la electrificación, el agua potable y el drenaje. Por otro lado, Veracruz cuenta con el mayor número de instalaciones portuarias, petroleras y petroquímicas, pero ocasionan alteraciones ambientales significativas; muestra de ello es Coatzacoalcos, Minatitlán-Cosoleacaque, una de las zonas más contaminadas del país.

El crecimiento de la ganadería extensiva en el estado tiene un impacto negativo sobre el potencial producido del ecosistema al destruir bosques y selvas. Asimismo, el planteamiento sobre el uso y manejo de las cuencas hidráulicas del estado, puede repercutir en selvas y humedales.

¹⁵ Los municipios incluidos en la Microrregión son: Coatzacoalcos, Cosoleacaque, Nanchital de Lázaro Cárdenas del Río, Ixhuatlán del Sureste, Oteapan, Zaragoza y Minatitlán en su porción Norte.

¹⁶ Restrepo, Iván. Desarrollo Sustentable en el Golfo y Caribe de México. Centro de Ecología y Desarrollo. México 1995, pp. 46, 64-67, 226-229.

➤ Delimitación de Estudio de Caso

La Microrregión de estudio se encuentra localizada en la porción Sureste del Estado de Veracruz, entre los paralelos 17° 54' -18° 14' Latitud Norte y los 98° 14' - 98° 32' Longitud Oeste, en los cuales se incluye el Corredor Industrial Coatzacoalcos-Minatitlán, albergando los siguientes Municipios: Coatzacoalcos, Cosoleacaque, Nanchital de Lázaro Cárdenas del Río, Ixhuatlán del Sureste, Oteapan, Zaragoza y porción norte de Minatitlán incluyendo su Cabecera Municipal, considerado como límite sur, al poblado del Jícaro.

Esta región se encuentra irrigada por uno de los ríos más importantes y caudalosos del estado de Veracruz, el Río Coatzacoalcos y algunos otros afluentes como el Uxpanapa y el Calzadas principalmente. Igualmente cuenta con una variedad de arroyos, lagunas y esteros como el Arroyo San Francisco, el Estero San Antonio, el Arroyo Teapa la Laguna el Tepache y Laguna Colorada, entre otros, los cuales en algunos casos son navegables.

Se cuenta con un área muy importante de zonas inundables que se localizan entre los municipios de Coatzacoalcos y Minatitlán. Algunos informes recientes, indican la presencia de cocodrilos y gran variedad de aves migratorias, que utilizan al pantano como zona de procreación y alimentación.

En la mayor parte de la región se desarrolla la agricultura, ganadería, explotación forestal y pesca de autoconsumo y sólo en pequeñas zonas se practica la agricultura de riego para el desarrollo de la papaya, naranja y maíz, entre otras; en relación a la pesca, en la mayoría de los casos, sólo la de alta mar se utiliza para la venta regional.

En los municipios de Coatzacoalcos, Cosoleacaque, Minatitlán e Ixhuatlán del Sureste, es donde se concentra la carga industrial, en su mayoría química y en menor grado la de fertilizantes, alimentos y los bancos de materiales.

Según las investigaciones efectuadas, en términos de la contaminación por hidrocarburos, Coatzacoalcos es el ejemplo más dramático de desequilibrio entre la magnitud e importancia cobradas por sus actividades petroleras y petroquímicas, y el deterioro de la calidad de su ambiente. La región tiene la mayor concentración de plantas petroquímicas básicas y secundarias instaladas en México y es una de las más densas y complejas zonas industriales de Latinoamérica y del Tercer Mundo, sin embargo, es a la vez la más afectada a causa de las actividades petroleras y una de las más contaminadas del mundo.

El grado de deterioro del río Coatzacoalcos es evidente. En septiembre de 1993, pescadores de la cuenca baja detectaron una importante mortandad de especies marinas que aparecieron flotando en el litoral, éstas fueron en su mayoría mojarra, tilapia, ronco, bagre y robalo. El 6 de octubre del mismo año se produjeron severos daños a la flora y fauna del arroyo Tepeyac como consecuencia de un derrame de

200,000 litros de diesel en un ducto de 12 pulgadas de diámetro en Nanchital. Se calcula que la recuperación de la fauna perdida en el área se logrará en dos años. Otro caso es el de la mortandad de peces causada por la planta de FERTIMEX que vertió desechos en el río Calzadas, con la consecuente pérdida económica para los pescadores locales.

Además de la industria petrolera y la petroquímica, hay otras actividades que también causan serios daños al ambiente en la zona. Al respecto se puede señalar que existen beneficios de café e Ingenios azucareros que carecen de plantas de tratamiento y arrojan aguas contaminadas no sólo al río Coatzacoalcos, también a otros ríos igualmente importantes.

CAPÍTULO 3

CONCEPTO, METODOLOGÍA Y ESTRUCTURA DE UN MODELO ECONÓMICO¹

El propósito de este capítulo es proporcionar al lector una definición clara de los términos *Econometría* y *Modelo Económico*.

Su contenido básicamente describe cada uno de los pasos que sigue la metodología del análisis econométrico así como sus condiciones, haciendo énfasis en la importancia que cada uno de éstos representa.

Dentro de estos pasos se contemplan la teoría o hipótesis a partir de la cual se inicia el análisis, el planteamiento del modelo que representa el caso de estudio, la obtención de datos que de alguna manera valida a priori la intervención de las variables dentro del modelo, validación del modelo mediante la aplicación de pruebas de hipótesis y otros criterios a los que se somete para saber si se rechaza o se acepta y por último el uso del modelo para pronosticar o para evaluación de políticas.

También se explica en qué consiste el análisis de regresión lineal, detallando las características para el caso uniecuacional y para el caso multiecuacional.

Se hace mención de algunos métodos de estimación, profundizando en el Método de Mínimos Cuadrados Ordinarios, puesto que es el que se va a utilizar en este trabajo.

¹ Véase: 1) Dagum, Camilo. Introducción a la Econometría, México 1976. 2) Damodar, N Gujarati. Econometría, México 1995 3) Intriligator, Michael D. Modelos Económicos: Técnicas y Aplicaciones., N.J 1978 4) Padilla, José Felipe. Estadística Inferencial y Econometría, México 1991 5) Pindyck, Robert S. Rubinfeld, Daniel L. Modelos Económicos, Barcelona 1980.

De la misma manera se describen cada uno de los elementos necesarios que componen un modelo econométrico y como debe estar estructurado. Dentro de estos puntos se analizan los distintos tipos de ecuaciones que constituyen un modelo, así como, las diferentes clases de variables que se pueden manejar y cuál es el papel tan importante que juega la variable aleatoria dentro de éste.

3.1 ECONOMETRÍA Y MODELO ECONOMÉTRICO

3.1.1 ¿Qué es Econometría?

La palabra Econometría, literalmente significa "medición económica". Sin embargo, por el amplio campo de aplicación en que se utiliza la Econometría, han surgido diversas interpretaciones que describen el significado de esta palabra.

A continuación se enlistan algunas definiciones:

"Econometría es la aplicación de métodos matemáticos y estadísticos para el análisis de datos económicos, con el propósito de dar un contenido empírico a las teorías económicas, aceptándolas o rechazándolas". (Maddala, 1992)

"La econometría es una amalgama de teorías económicas, economía matemática, estadística económica y estadística matemática". (Gujarati, 1995)

"La econometría es la rama de la Economía que se encarga de la estimación práctica de las relaciones económicas" (Intriligator, 1990)

"La econometría se ocupa esencialmente de la inferencia estadística, o utilización de la información muestral para obtener cierta idea de las características de la población". (Salas, 1990)

La econometría se encarga básicamente de medir relaciones económicas; además utiliza teoría económica, incorporada en un modelo econométrico; hechos, sintetizados por la información relevante y teoría estadística, refinada en técnicas econométricas para medir y probar en la práctica ciertas relaciones entre variables económicas, dándole con ello contenido práctico al razonamiento económico.

El término Econometría en ocasiones se confunde con términos ya conocidos y tal vez más comunes. Uno de estos es la estadística económica, la cual se ocupa de las estadísticas descriptivas, incluyendo el desarrollo y perfeccionamiento de datos económicos, en tanto que la Econometría utiliza estos datos para estimar relaciones económicas cuantitativas y probar hipótesis acerca de ellas.

3.1.2 ¿Qué es un Modelo Econométrico?

Existen diversas definiciones de modelo econométrico. A continuación se enlistan algunas de ellas:

- El modelo econométrico es un modelo económico que además de cumplir con los requisitos formales de la teoría económica y de la matemática, debe contener las especificaciones y las pruebas estadísticas necesarias que le aseguren su aplicabilidad empírica. (Padilla, 1991)
- Un modelo econométrico es un tipo especial de modelo algebraico, estocástico, esto es, que incluye una o más variables aleatorias. Representa un sistema a través de un conjunto de relaciones estocásticas entre las variables del sistema. (Intriligator, 1990)

El enfoque econométrico puede ser aplicado a otras disciplinas diferentes de la Economía, en especial, a otras ciencias sociales como son: la Historia, la Politología, la Sociología y la Psicología; sin embargo, no está de más mencionar que también puede aplicarse a las áreas de la política pública, como salud, educación, transporte, vivienda y protección ambiental.

La Econometría muestra tres propósitos primordiales: el análisis estructural, la predicción y la evaluación de políticas². Cualquier estudio econométrico puede tener uno, dos o todos estos propósitos mismos que representan los “productos finales” de la Econometría.

El análisis estructural de un modelo econométrico estimado, consiste en la medición cuantitativa de las relaciones económicas. También permite la comparación de teorías contrarias sobre un mismo fenómeno. Representa lo que podría verse como el propósito “científico” de la Econometría: *comprende los fenómenos del mundo real mediante la medición cuantitativa, prueba y validación de relaciones económicas*

Por predicción podemos asumir la aplicación de un modelo econométrico estimado, para predecir valores cuantitativos de ciertas variables fuera de la muestra de datos realmente observados. Con frecuencia los pronósticos son la base para tomar decisiones.

La evaluación de políticas es el manejo de un modelo econométrico estimado para elegir entre políticas alternas. (Intriligator, 1990)

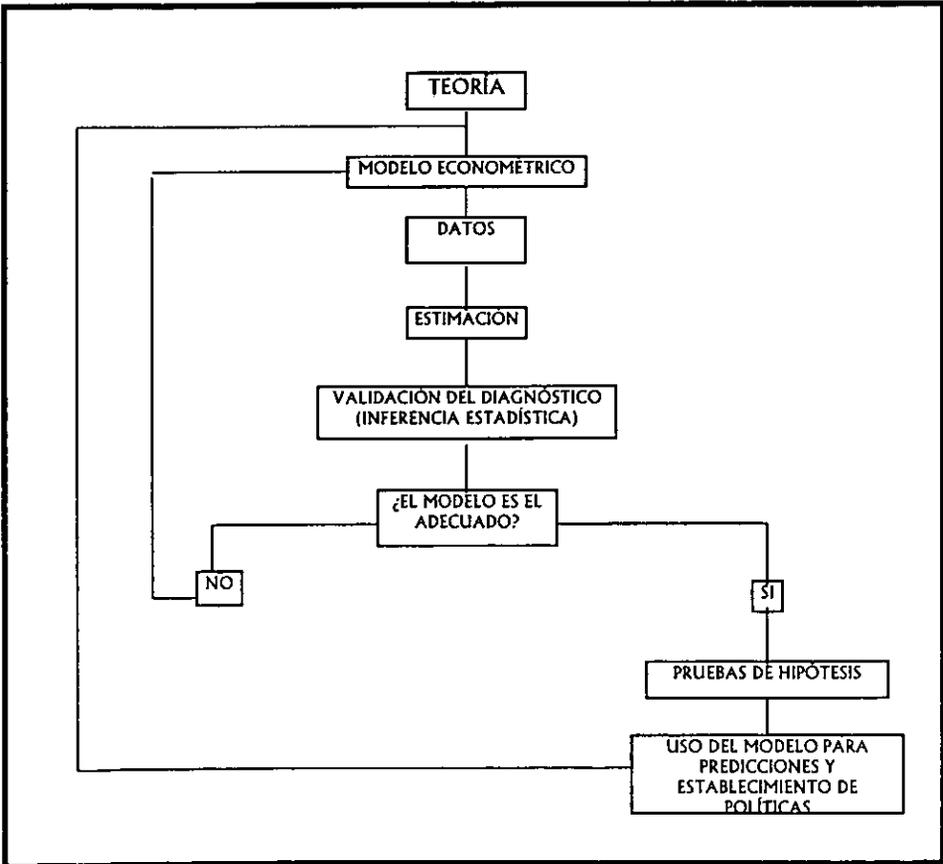
² Ver Intriligator 1990

3.2 METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS ECONÓMTRICO

Los pasos que sigue todo análisis econométrico según Damodar Gujarati son:

1. Teoría o hipótesis
2. Especificación del Modelo Econométrico
3. Obtención de datos
4. Estimación de los parámetros del modelo
5. Validación del diagnóstico (inferencia estadística)
6. Pronósticos y formulación de políticas.

En la gráfica 3.1 se muestra la representación esquemática de la metodología del análisis econométrico en general.



Gráfica 3.1. Representación esquemática del análisis econométrico general.
Fuente: Maddala, G.S. Introduction to Econometrics, 1992.

3.2.1 Teoría o hipótesis

Se deben establecer las fronteras del tema y los alcances del estudio, así como la definición de hipótesis que desean ser comprobadas o teorías a confirmar. Tanto la teoría como la hipótesis son de naturaleza principalmente cualitativa.

La teoría es uno de los elementos básicos en cualquier estudio econométrico. Estas teorías o hipótesis van a ser representadas mediante un modelo, para un mejor manejo.

3.2.2 Especificación del Modelo Econométrico

La especificación del modelo econométrico, es la construcción y elaboración de un modelo que represente de manera adecuada el fenómeno que va a ser estudiado.

El proceso de construcción de todo modelo prioritariamente exige:

- 1) la definición del espacio muestral³ o universo sometido a observación
- 2) el diseño del experimento "estocástico" o "probabilístico" mediante el cual se obtendrá información de dicho espacio muestral.

Para poder seleccionar las variables más relevantes que concurren a la explicación del comportamiento de los sujetos de la actividad económica, se lleva a cabo un primer análisis, el cual consiste en una presentación simbólica de las variables endógenas, predeterminadas y expectativas⁴ que concurren a la explicación del modo de actuar de cada categoría de sujetos de la actividad de un sector.

Un segundo análisis consiste en seleccionar las variables que se consideran de mayor relevancia en la explicación de cada categoría de sujetos de la actividad de un sector. Esta etapa de análisis se realiza simultáneamente con varias formas alternativas factibles de especificación de las ecuaciones del modelo. Es decir, la especificación de leyes matemáticas de correspondencia entre las variables mencionadas en el primer análisis, con lo que se inicia la etapa de especificación de un modelo.

La selección de las variables más relevantes se realiza, en general, tomando aquellas que contribuyen en forma muy significativa a explicar la variación total de las *variables endógenas* cuyos valores son una resultante de las decisiones que recogen el modo de actuar de las correspondientes categorías de sujetos de la actividad de un sector. El conjunto de variables excluidas casi *infinito* por su escasa contribución individual o conjunta para explicar la variación total de las variables endógenas es recogido por la *variable aleatoria*.

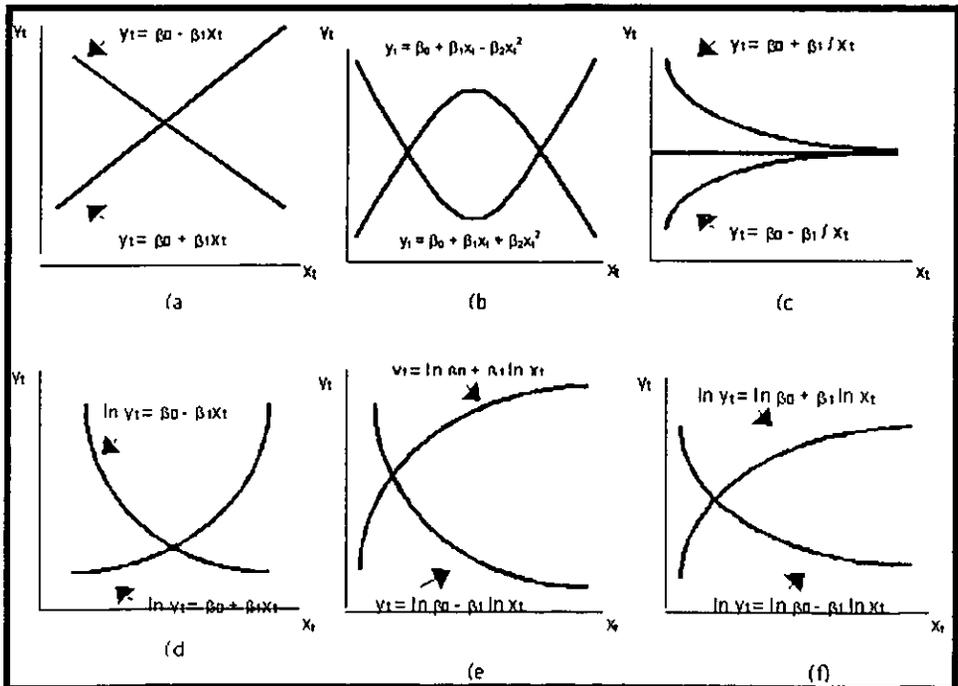
³ Se conoce como "Espacio Muestral", en teoría de la probabilidad, al universo, población o colectivo de todas las observaciones posibles, cuyos elementos se determinan unívocamente por el dominio de la investigación. (Dagum, 1976)

⁴ En el apartado 3.3.1 se explica lo que es una variable expectativa

Un aspecto de gran importancia dentro del planteamiento de un modelo econométrico es escoger la forma funcional que mejor se ajuste al fenómeno en estudio. Para esto es conveniente obtener gráficas de los datos con el objeto de lograr una configuración a priori que facilite la elección. Las funciones que se utilizan con más frecuencia son⁵:

1. Lineales, $y_t = \beta_0 + \beta_1 x_t$ (a)
2. Cuadráticas, $y_t = \beta_0 + \beta_1 x_t + \beta_2 x_t^2$ (b)
3. Hiperbólicas, $y_t = \beta_0 + \beta_1 / x_t$ (c)
4. Semilogarítmicas, $\ln y_t = \beta_0 + \beta_1 x_t$ (d)
5. Logarítmicas, $y_t = \ln \beta_0 + \beta_1 \ln x_t$ (e)

En todos los casos los modelos son lineales en los parámetros, aunque las trayectorias que describen no sólo corresponden a líneas rectas sino también a funciones con una cierta curvatura.



Gráfica 3.2. Formas funcionales.

⁵ Véase Salas, Javier. México 1990

Las gráficas anteriores muestran la forma de las especificaciones, (a) a (f), para valores positivos y negativos de los coeficientes β_i , $i=0,1,2$, que son los que determinan la pendiente o la concavidad de las funciones.

Existen dos formas de representar las ecuaciones:

1. La forma estructural que está constituida por una o varias ecuaciones que cuentan con dos o más variables endógenas.
2. La forma reducida que es aquella especificación de las ecuaciones en que las variables endógenas se encuentran despejadas y son función exclusivamente de las variables predeterminadas o independientes.

3.2.3 Obtención de datos⁶

Los hechos, que son eventos del mundo real están relacionados con el fenómeno de investigación. Dichos hechos conducen a un conjunto de datos, los cuales representan observaciones de hechos relevantes.

Para un modelo econométrico es necesario un conjunto relevante de datos acerca de todas las variables de éste. Los datos relevantes en un estudio particular sintetizan los hechos concernientes al fenómeno en investigación. Estos hechos pueden ser de diferentes tipos y originarse de distintas fuentes; la teoría subyacente al fenómeno es usada para determinar la elección entre varias alternativas. Éstas son fundamentalmente cuantitativas, cualitativas, o una combinación de ambas.

Como se mencionó anteriormente, los datos pueden ser de distintos tipos y pueden obtenerse diferenciaciones entre las variedades de datos disponibles, aun cuando los datos son cuantitativos, en realidad representan hechos cuantitativos o cualitativos.

Otra distinción importante con referencia a los datos es la que se da entre éstos en series de tiempo y los datos en sección cruzada. La mayor parte de los datos utilizados en la estimación de modelos econométricos es de cualquiera de estos tipos.

Los datos en series de tiempo miden una variable particular durante periodos de tiempo sucesivos o en diferentes fechas. *Los datos en sección cruzada* miden una variable particular en un periodo de tiempo dado, para diferentes entidades.

Las series de tiempo tienen la característica de estar altamente correlacionadas debido a su evolución paralela en el tiempo.

⁶ Intriligator, Michael D. Modelos Econométricos, Técnicas y Aplicaciones. Fondo de Cultura Económica, México 1990. Pp 17,75

3.2.4 Estimación de los parámetros del modelo

Una vez especificado el modelo econométrico*, el siguiente paso es obtener estimaciones (valores numéricos) de los parámetros del modelo para una utilización práctica del mismo, a partir de la información disponible.

Existen varios métodos para la estimación de parámetros, entre éstos están:

- a) Método de los momentos
- b) Método de los mínimos cuadrados
- c) Método de la máxima verosimilitud
- d) Método de la mínima ji cuadrada
- e) Método bayesiano

Cada método posee restricciones y propiedades específicas que permiten un análisis comparativo de las bondades estadísticas de cada uno de ellos.

3.2.5 Validación del diagnóstico (inferencia estadística)

Suponiendo que se han estimado los parámetros aplicando cualquier método, y postulando que la variable aleatoria sigue una distribución normal de probabilidades se somete la estructura estocástica inferida (modelo) a un conjunto de pruebas estadísticas de hipótesis con el objeto de decidir sobre la aceptación, modificación o rechazo del modelo.

Las pruebas de hipótesis sobre los coeficientes estimados de una regresión se construyen mediante el planteamiento de una hipótesis nula, que se compara con la hipótesis alternativa, para ver cuál de las dos es preferible desde un punto de vista estadístico. Por lo general, la hipótesis nula toma un valor exacto y en la alternativa se toman proposiciones del tipo; mayor que, menor que o diferente de.

Lo que se busca en el primer caso es el rechazo de la hipótesis nula, porque de otra forma se invalida la teoría económica puesta a prueba.

Como los coeficientes ajustados en la regresión son estimadores puntuales, es necesario construir intervalos de confianza alrededor de ellos con el objeto de poder determinar si se rechaza o no la hipótesis nula planteada. En general, si la hipótesis nula queda comprendida en el intervalo de confianza para un nivel de probabilidad dado significa que se puede aceptar.

* Lineal, cuadrático, hiperbólico, semilogarítmico, etc.

Las pruebas de validación son:

- a) *Prueba de hipótesis sobre la significación del conjunto de las variables explicativas.* Se somete a análisis el conjunto de las variables explicativas para decidir estadísticamente si contribuyen significativamente o no a explicar las correspondientes variables endógenas. Para la solución de este planteamiento se utiliza el análisis de varianza, mediante el cálculo del estadístico *F de Fisher-Snedecor* y dado un nivel de significación, se decide sobre la aceptación o rechazo del conjunto de variables explicativas, es decir, sobre lo que también se conoce como *prueba de la bondad de ajuste*.
- b) *Prueba de hipótesis sobre la significación estadística de cada variable explicativa individualmente considerada.* Para esta prueba se trabaja con la *t de Student* para tomar una decisión con respecto a la hipótesis nula. Dicha hipótesis consiste en postular que la variable objeto de análisis no resulta explicativa, o sea, su inclusión no contribuye a explicar la variación total de la correspondiente variable endógena explicada. Es decir, su correspondiente coeficiente de regresión perteneciente a la población es cero. Cuando el valor estimado de dicho coeficiente es significativamente distinto de cero, para un nivel de significación establecido, utilizando la *t de Student*, se rechaza la hipótesis nula y se concluye aceptando dicha variable como explicativa.
- c) *Análisis estadístico de la matriz de correlación entre las variables explicativas.* Este análisis se realiza con el objeto de detectar la existencia o no de colinealidad múltiple, es decir, si entre las variables independientes existe una fuerte dependencia lineal o pueden tratarse como independientes entre sí.
- d) *Prueba de hipótesis de la existencia o no-existencia de autocorrelación.* Consiste en investigar si la variable aleatoria se encuentra o no autocorrelacionada, Para tal efecto se cuenta con la información estadística provista por los residuos, es decir, la diferencia entre los valores observados y los estimados, correspondientes a la variable endógena explicada.

Visto de otra manera:

$$e = Y_t - \hat{Y}_t,$$

donde:

Y_t es el valor observado de la variable endógena
 \hat{Y}_t simboliza su correspondiente valor estimado
 e es el residuo o diferencia de la estimación

Como la variable aleatoria e_t pertenece a la categoría de variables no observables, se reduce la eficiencia y consiguiente aplicabilidad de la razón de Von Neumann, la cual es una prueba exacta en el muestreo para decidir si una variable aleatoria normal se encuentra autocorrelacionada o es independiente.

En los modelo econométricos sólo se dispone de una muestra de estimaciones de la variable aleatoria que se postula como una distribución normal de probabilidad. El estadístico que toma en cuenta esta restricción es *el estadístico de Durbin-Watson*.

e) *Análisis estadístico de la varianza residual*. Su propósito es investigar si la varianza de la variable aleatoria es constante (propiedad de homoscedasticidad) a través del tiempo, o si es variable (propiedad de heteroscedasticidad).

Como se mencionó anteriormente estos estadísticos son los que van a permitir tomar la decisión sobre la aceptación, modificación o rechazo del modelo.

Cabe mencionar como información adicional a lo anterior, que:

La prueba de la *F de Fisher-Snedecor* introducida en a) permite tomar una decisión con respecto a la aceptación o rechazo del modelo. Si ella es significativamente distinta de cero, se acepta el modelo, en caso contrario se le rechaza. Hay que dejar bien claro que la aceptación del modelo no implica su definitiva aceptación global, sin modificaciones, pues es factible que algunas de las variables explicativas se consideren redundantes, con lo que su eliminación del modelo no reducirá sensiblemente su poder explicativo.

Para todo coeficiente de regresión estimado cuya t rechace la hipótesis nula, se decide el mantenimiento en el modelo de su correspondiente variable. Para aquellos coeficientes estimados que acepten la hipótesis nula, en principio, se considera que las variables a las que correspondan estos parámetros estimados pueden ser excluidas.

Puede presentarse el caso de que la F sea significativamente distinta de cero y que todas las t acepten la hipótesis nula. Es decir, de acuerdo con la F , el conjunto de variables predeterminadas es considerado estadísticamente explicativo, pero de acuerdo con los valores de t para cada coeficiente de regresión estimado, ninguna de las variables predeterminadas se acepta como explicativa. Esta aparente contradicción está detectando la existencia de una fuerte colinealidad múltiple entre las variables predeterminadas.

En el análisis de autocorrelación señalado en d), debe tenerse en cuenta que la presentación de la hipótesis de autocorrelación puede deberse a que la variable aleatoria esté efectivamente autocorrelacionada o a la omisión de variables explicativas en la especificación del modelo, las que transmiten sus efectos a las variables aleatorias.

En e) se decidirá si se modifica o no la especificación completa de un modelo para tomar en consideración la posible existencia de heteroscedasticidad.

Los procedimientos para calcular los estadísticos mencionados anteriormente se explican a continuación:

◇ Para el caso de la Regresión Lineal Simple

➤ La Prueba F

Esta prueba constituye un estadístico que sirve para probar la hipótesis nula de que el verdadero β_1 es igual a cero.

$$H_0: \beta_1 = 0$$

La prueba de hipótesis alterna

$$H_1: \beta_1 \neq 0$$

El estadístico de prueba es

$$F_0 = \frac{SEC / 1}{SRC / (n - 2)} = \frac{MEC}{MRC}$$

donde SEC es la suma explicada de cuadrados, o sea, la explicada por la regresión, $SEC = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2$, tiene un grado de libertad, mientras que SRC tiene asociados (n-2) grados de libertad.

Los valores esperados son:

$$E(MRC) = \sigma^2$$

$$E(MEC) = \sigma^2 + \beta_1^2 S_{xx}$$

El estadístico F_0 sigue una distribución $F_{\alpha, 1, n-2}$ grados de libertad (g. de l).

La prueba de hipótesis de $H_0: \beta_1 = 0$, para el estadístico F_0 , se rechaza si

$$F_0 > F_{\alpha, 1, n-2}$$

Si el valor F_0 es estadísticamente significativo, se procede a rechazar la hipótesis nula de que la variable explicativa no tiene influencia alguna en la variable dependiente. En la práctica si tenemos un valor grande de F_0 , entonces $\beta_1 \neq 0$.

➤ La Prueba t

Esta prueba es útil para determinar si las variable explicativa es significativa en el modelo, el modelo podría ser menos efectivo con la incorporación de nuevas variables, o quizás al eliminar algunas de éste.

La prueba de hipótesis

$$H_0: \beta_1 = \beta_{10}$$

$$H_1: \beta_1 \neq \beta_{10}$$

El estadístico de prueba es

$$Z_0 = \frac{\hat{\beta}_1 - \beta_{10}}{\sqrt{\sigma^2 / S_{xx}}} \cong N(0,1)$$

Lo anterior es cierto si σ^2 es conocida. Pero como se está usando un estimador para σ^2 se utiliza el estadístico

$$t_0 = \frac{\hat{\beta}_1 - \beta_{10}}{se(\hat{\beta}_1)}$$

el cual sigue una distribución t con n-2 grados de l.

La prueba de hipótesis de $H_0: \beta_1 = 0$, para el estadístico t_0 , se rechaza si

$$|t_0| > t_{\alpha/2, n-2}$$

Al rechazar $H_0: \beta_1 = 0$, se dice que el estadístico es estadísticamente significativo, por lo que X es una variable significativa de la variabilidad en Y'.

Utilizando esta regla se tiene:

$$t_0 = \hat{\beta}_1 / se(\hat{\beta}_1) > t_{\alpha/2} \quad \text{cuando } \hat{\beta}_1 > 0$$

$$t_0 = \hat{\beta}_1 / se(\hat{\beta}_1) < -t_{\alpha/2} \quad \text{cuando } \hat{\beta}_1 < 0$$

✧ Para el caso de la Regresión Lineal Múltiple

➤ La Prueba F

La prueba de significancia de la regresión, es una prueba que determina si existe una relación lineal entre la variable de respuesta Y y algunas de las variables explicativas.

La prueba de hipótesis

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$$

⁷ De acuerdo a la regla práctica "2-t". Si el número de grados de libertad es de 20 o más y si α , nivel de significancia se fija en 0.05, entonces la hipótesis nula $\beta_1 = 0$ se puede rechazar en favor de la hipótesis alterna $\beta_1 \neq 0$, si el valor $t = \hat{\beta}_1 / se(\hat{\beta}_1)$ excede a 2 en valores absolutos. Damodar, N Gujarati, 1995

$H_1: \beta_j \neq 0$ para al menos una j

El estadístico de prueba es

$$F_0 = \frac{SEC/k}{SRC(n-k-1)} = \frac{MEC}{MRC}$$

El cual sigue una distribución F con $(k, n-k-1)$ grados de libertad.

Se rechaza H_0 si

$$F_0 > F_{\alpha, k, n-k-1}$$

Con esta prueba se puede concluir si se acepta que al menos una de las variables explicativas es significativa para el modelo.

> La Prueba t

La prueba de hipótesis

$$H_0: \beta_j = 0$$

$$H_1: \beta_j \neq 0$$

El estadístico de prueba es

$$t_0 = \hat{\beta}_j / se(\hat{\beta}_j)$$

El cual sigue una distribución t con $(n-k-1)$ grados de libertad.

Se rechaza $H_0: \beta_j = 0$ si $\left| t_0 \right| > t_{\alpha/2, n-k-1}$

Si $H_0: \beta_1 = 0$ no es rechazada, esto indica que la variable explicativa puede ser eliminada del modelo, es decir, que la variable no es significativa para el modelo.

◇ Violación a los supuestos de MCO

Existen tres problemas principales a los cuales se pueden enfrentar los datos de un modelo:

- a) La Multicolinealidad
- b) La Heteroscedasticidad
- c) La Autocorrelación

➤ La Multicolinealidad

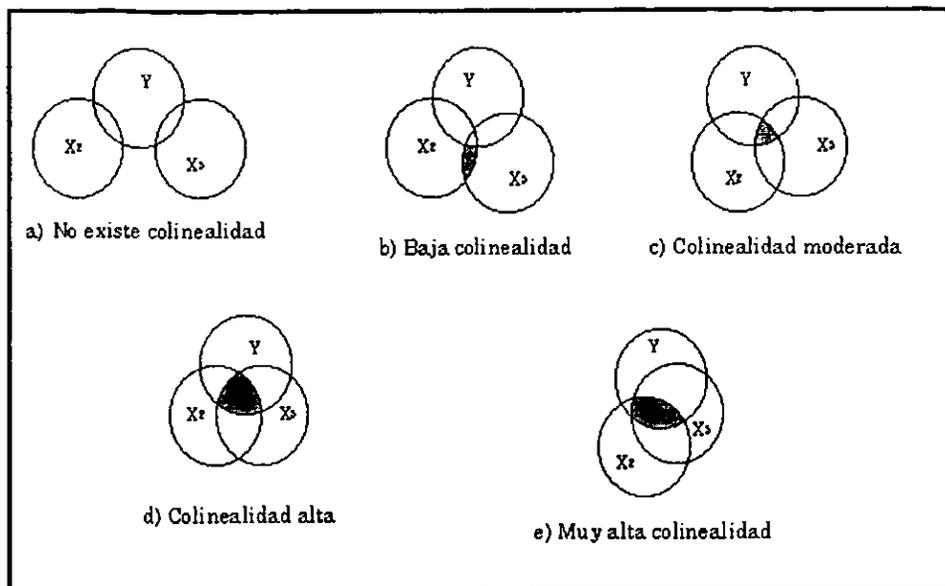
La multicolinealidad es un fenómeno que se presenta en un modelo de regresión de la forma $y = f(x_1, \dots, x_n)$ cuando dos o más variables independientes tienden a seguir juntas una misma forma de comportamiento durante un proceso.

La multicolinealidad se presenta cuando existe un coeficiente de correlación alto entre las diversas variables explicativas (independientes) del modelo. Es decir, es difícil conocer los efectos de cada una de ellas separadamente en la determinación de la variable explicada (dependiente).

En la gráfica 3.3 se muestran los diferentes grados de colinealidad que se pueden presentar.

Se sospecha presencia de multicolinealidad cuando el coeficiente de determinación R^2 es elevado; esto es $0.7 \leq R^2 \leq 1.0$ y ninguna de las variables independientes es estadísticamente significativa; además, al mismo tiempo los coeficientes de correlación simples o de orden cero r_{yx1}, r_{yx2} , etc., también son altos (> 0.5).

Otro indicador de la presencia de multicolinealidad es analizar los coeficientes de correlación parcial $r_{yx1, x2x3}$, etc., los que al ser comparativamente bajos con R^2 alto, es indicio de que las variables independientes involucradas están altamente correlacionadas y que al menos una de ellas es superflua o redundante.



Gráfica 3.3. Representación gráfica de la multicolinealidad

➤ La Heteroscedasticidad

El método MCO establece o supone que los términos de error están distribuidos con media cero y con varianza residual σ^2 (o su estimación $\hat{\sigma}^2$) constante para todos los valores de las variables independientes. Es decir que se tiene una varianza residual homoscedástica o de igual dispersión:

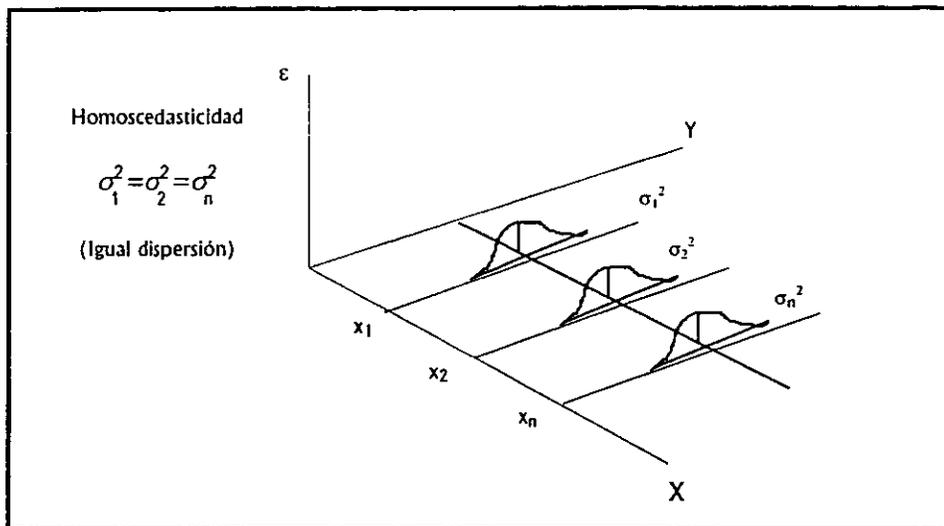
$$\text{var}(\varepsilon_i | x_i) = \sigma^2 \quad (\text{constante})$$

Sin embargo, el supuesto de varianza constante u homoscedástica no siempre se cumple.

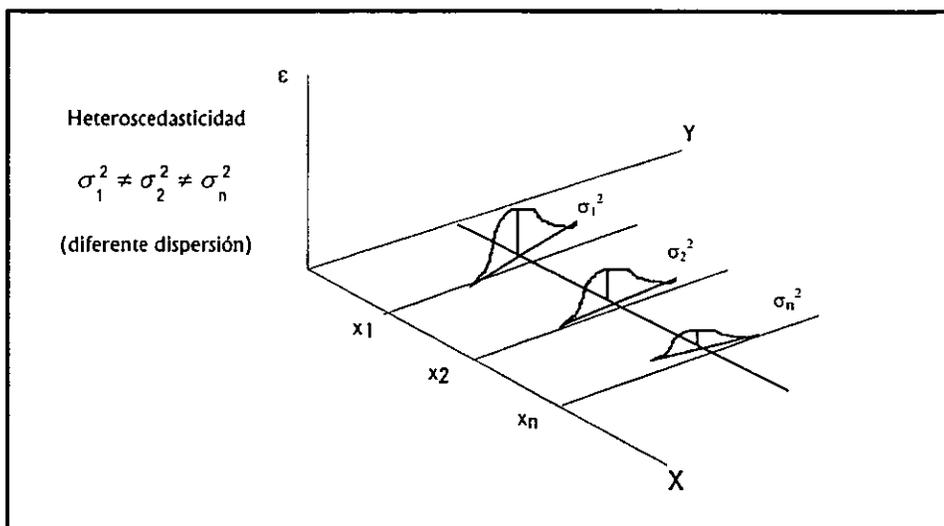
El problema de heteroscedasticidad se presenta cuando, por alguna razón, la varianza de cada observación en el modelo empieza a crecer o decrecer en el periodo muestral, es decir, la varianza es heteroscedástica o de diferente grado de dispersión:

$$\text{var}(\varepsilon_i | x_i) = \sigma_i^2 \quad (\text{diferente})$$

Las siguientes gráficas, muestran los dos casos. Homoscedasticidad (3.4) y heteroscedasticidad (3.5).



Gráfica 3.4. Representación gráfica de la homoscedasticidad



Gráfica 3.5. Representación gráfica de la heteroscedasticidad

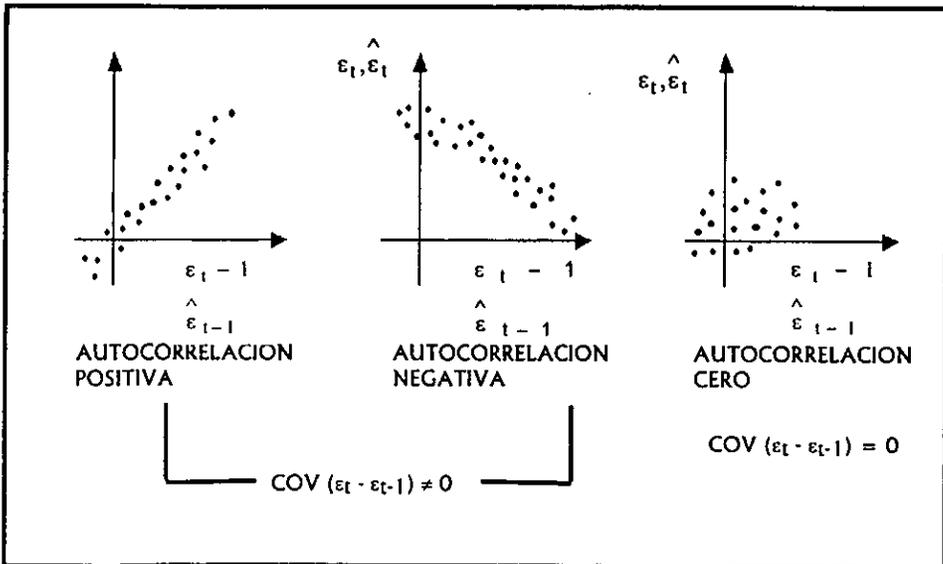
➤ La Autocorrelación

La autocorrelación puede definirse como la correlación (positiva o negativa) que existe entre el término de error ε_t correspondiente a una observación de la serie estadística con el término de error ε_{t-1} correspondiente a una observación anterior de la misma serie estadística, ordenada en el tiempo o en el espacio.

$$COV(\varepsilon_t - \varepsilon_{t-1}) \neq 0$$

El fenómeno de la autocorrelación puede tener diferente origen, citándose entre las causas más importantes, la omisión de determinada variable independiente dentro del modelo de regresión o la forma equivocada de la función al especificar una de tipo lineal cuando sería preferible otra no lineal.

La autocorrelación puede ser positiva, negativa o cero, siendo la más frecuente en los fenómenos económicos la positiva. La gráfica 3.6 muestra los distintos casos.



Gráfica 3.6. Representación gráfica de las diferentes autocorrelaciones.

Además de la visualización de la existencia o no de autocorrelación, se requiere conocer un método analítico para descubrirla. La técnica más usual es la prueba de

Durbin-Watson (D-W) simbolizada por d aplicable a los niveles de significación de $\alpha = 0.01$ y $\alpha = 0.05$ para n observaciones muestrales y k variables independientes. El estadístico está definido como:

$$d = D - W = \frac{\sum (e_t - e_{t-1})^2}{\sum e_t^2} \quad (1)$$

$$D - W = 2 \left(1 - \frac{\sum e_t e_{t-1}}{\sum e_t^2} \right) \quad (2)$$

La expresión (2) se obtiene como una aproximación, partiendo del desarrollo del binomio al cuadrado del numerador en la expresión

$$\begin{aligned} d = D - W &= \frac{\sum (e_t - e_{t-1})^2}{\sum e_t^2} = \frac{\sum (e_t^2 - 2e_t e_{t-1} + e_{t-1}^2)}{\sum e_t^2} \\ &= \frac{\sum e_t^2 - 2\sum e_t e_{t-1} + \sum e_{t-1}^2}{\sum e_t^2} \end{aligned}$$

Si, por diferir sólo en una observación, se consideran aproximadamente igual las siguientes sumatorias:

$$\sum e_t^2 = \sum e_{t-1}^2$$

entonces:

$$\begin{aligned}
 d &= \frac{\sum e_t^2 - 2\sum e_t e_{t-1} + \sum e_t^2}{\sum e_t^2} \\
 &= \frac{2\sum e_t^2 - 2\sum e_t e_{t-1}}{\sum \hat{\mu}_t^2} = \frac{2\sum e_t^2}{\sum \hat{\mu}_t^2} - \frac{2\sum e_t e_{t-1}}{\sum \hat{\mu}_t^2} \\
 d &= 2 - \frac{2\sum e_t e_{t-1}}{\sum e_t^2} = 2 \left[1 - \frac{\sum e_t e_{t-1}}{\sum e_t^2} \right]
 \end{aligned}$$

que corresponde a la expresión (2).

Aquí e_t son los residuos o estimaciones estadísticas de la variable aleatoria ε_t .

Si se hace:

$$\hat{\rho} = \frac{\sum e_t e_{t-1}}{\sum e_t^2}$$

donde ρ es llamado coeficiente de autocovarianza,

$$\hat{d} = 2(1 - \hat{\rho}) \tag{3}$$

Por consiguiente, si:

- $\hat{\rho} = 0 \Rightarrow \hat{d} = 2 \Rightarrow$ No autocorrelación
- $\hat{\rho} = 1 \Rightarrow \hat{d} = 0 \Rightarrow$ Autocorrelación serial positiva
- $\hat{\rho} = -1 \Rightarrow \hat{d} = 4 \Rightarrow$ Autocorrelación serial negativa

La expresión (3) sirve para obtener el coeficiente de autocorrelación serial de Durbin y Watson (\hat{d}).

Las hipótesis que se plantean para esta prueba son las siguientes:

- H_0 : No hay autocorrelación positiva
 H_0^* : No hay autocorrelación negativa
 H_1 : Si existe autocorrelación (negativa o positiva)

Durbin y Watson encontraron para su estadístico un límite inferior d_l y un límite superior d_u que dependen únicamente del tamaño de la muestra (n) y del número de variables independientes o explicativas (k) involucradas en el modelo de regresión. Estos límites han sido tabulados para un rango de valores para el tamaño de muestra que va desde $n=15$ hasta $n=100$ a los niveles de significación de $\alpha=0.01$ y $\alpha=0.05$ en pruebas de dos colas y para modelos hasta con 5 variables independientes.

Si d calculado cayera fuera de los límites d_l y d_u , se toma la decisión sobre la existencia o no de autocorrelación y aún si se está en una zona llamada de indecisión, que es precisamente la comprendida dentro de dichos límites d_l y d_u .

A continuación se tiene una representación de las tres zonas:

RECHACE H_0	INDECISIÓN	ACEPTE H_0 Y/O H_0^*	INDECISIÓN	RECHACE H_0
0	d_l	d_u	$4-d_u$	$4-d_l$
AUTOCORRELACIÓN (+)	?	NO AUTOCORRELACIÓN	?	AUTOCORRELACIÓN (-)

La gran desventaja que tiene esta prueba es que cuando el d (calculado) cae en la zona de indecisión, no es posible establecer si existe o no la autocorrelación. Cuando se presenta este caso, se puede optar por ampliar el tamaño de la muestra, es decir tomar una muestra diferente o definitivamente, recurrir a otro método de detección. Por otra parte, la gran ventaja de D-W es que está basada en los residuos muestrales (e) que se aprovechan del método MCO.

Se pueden resumir los pasos de la prueba D-W en los siguientes puntos:

- Se establecen formalmente las hipótesis de trabajo:
 - H_0 = No existe autocorrelación (+) (Aceptar)
 - H_0^* = No existe autocorrelación (-) (Aceptar)
 - H_1 = Si existe autocorrelación (+ ó -) (Rechazar)
- Obtener la FRM⁸ por MCO

⁸ Función de regresión muestral.

3. Obtener los residuos $e = Y - \hat{Y}$

4. Obtener el (d) calculado

5. Encontrar los valores tabulados para d_1 y d_u para los valores correspondientes a: n , α y k

6. Aplicar el criterio de la gráfica descrita anteriormente, para tomar la decisión sobre la existencia o no de autocorrelación, o en otro caso, determinar la insuficiencia de la prueba.

3.2.6 Pronósticos y formulación de políticas

Uno de los objetivos más importantes de la Econometría es la *predicción*, que es la aplicación de un modelo econométrico estimado, para predecir (pronosticar) valores cuantitativos de ciertas variables fuera de la muestra de datos realmente observados. Con frecuencia los pronósticos son la base para tomar decisiones.

La predicción está muy relacionada con la evaluación de políticas. De hecho se podría decir, que la mayoría de los métodos de evaluación de políticas descansan sobre un tipo de predicción específico.

Los pronósticos se catalogan de acuerdo con la periodicidad que observan, pudiendo ser de corto, mediano y largo plazo. En economía se pueden tener pronósticos de corto plazo con periodicidad semanal, mensual, o en algunas ocasiones se pueden considerar periodos hasta de un año. Mediano plazo, en general, puede ser más de un año, pero menos de cinco. El largo plazo puede corresponder a proyecciones que exceden los cinco años.

Los pronósticos de la variable dependiente en el contexto de un modelo econométrico se producen a partir de proyecciones de las variables exógenas o predeterminadas.

El problema de la predicción consiste por lo común en pronosticar los valores de y en el tiempo futuro $T + h$, dadas las T observaciones y_1, y_2, \dots, y_T y posiblemente las observaciones de otras variables. Se supone que el tiempo T es el presente y el intervalo de tiempo positivo h se denomina *horizonte de predicción*. Una predicción puntual sería

$$\hat{y}_{T+h}$$

misma que representa una predicción de los valores de y en el tiempo $T+h$.

Para poder derivar un criterio respecto a la confiabilidad de los pronósticos a medida que se alejan en el tiempo, se puede tomar el modelo,

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 x_t + \mu_t = x_t \beta + \mu_t$$

La solución de MCO de la ecuación anterior, bajo los supuestos del Teorema de Gauss-Markov y normalidad de los errores es,

$$\hat{y}_t = \hat{x}_t \hat{\beta}$$

donde $\hat{\beta}$ está dado por $\hat{\beta} = (x'x)^{-1} x'y$. El pronóstico de y_t en el tiempo \hat{y}_{t+h} , se puede obtener a partir de los valores pronosticados de x_t, \hat{x}_{t+h} , dando por resultado,

$$\hat{y}_{t+h} = \hat{x}_{t+h} \hat{\beta}$$

La varianza del pronóstico (v) se puede obtener de la siguiente manera:

$$v(\hat{y}_{t+h}) = \hat{x}_{t+h} \text{cov}(\hat{\beta}) \hat{x}'_{t+h} = \sigma^2 \hat{x}'_{t+h} (x'x)^{-1} \hat{x}_{t+h}$$

ya que

$$\text{cov}(\hat{\beta}) = \sigma^2 (x'x)^{-1}$$

Como puede verse, la varianza del pronóstico es función de la matriz de covarianza de los estimadores y de las proyecciones de las variables exógenas en el tiempo. Dado que el primer concepto es constante una vez que se realiza la estimación, la varianza del pronóstico fluctúa en relación directa a la proyección de las variables exógenas.

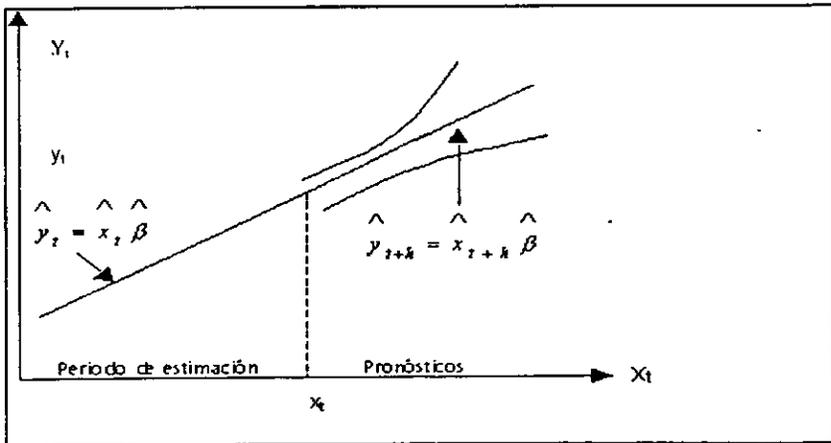
De acuerdo a la metodología para la construcción de intervalos de confianza, la ecuación de probabilidad para el pronóstico se puede escribir de la siguiente manera:

$$P \left(-t_{\epsilon/2} < \frac{\hat{y}_{t+h} - \hat{x}_{t+h} \hat{\beta}}{\hat{\sigma} \sqrt{\hat{x}_{t+h} (X'X)^{-1} \hat{x}_{t+h}}} < t_{\epsilon/2} \right) = 1 - \epsilon$$

El intervalo de confianza resultante es,

$$\text{INT} \left[\hat{x}_{t+h} \hat{\beta} \pm \hat{\sigma} \sqrt{\hat{x}_{t+h} (X'X)^{-1} \hat{x}_{t+h}} t_{\epsilon/2} \right]$$

La siguiente gráfica muestra el comportamiento del intervalo de confianza de los pronósticos. Como se observa, a medida que el pronóstico se aleja del último dato observado, x_t , su banda de confianza se vuelve más amplia, ocasionando con esto una pérdida de realismo en las estimaciones más lejanas.



Gráfica 3.7. Representación gráfica de las diferentes autocorrelaciones.

La evaluación de políticas implica el manejo de un modelo econométrico estimado para elegir entre políticas alternas, de tal manera que da la oportunidad de seleccionar aquella política que se apegue más a las necesidades de la realidad en estudio con una mayor probabilidad de satisfacción

3.3 ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL

Un problema esencial del análisis econométrico es determinar la función matemática más apropiada para expresar la relación que existe entre la variable de estudio denominada dependiente o explicada (endógena), con otra u otras variables denominadas independientes o explicativas (exógenas). El análisis de esta dependencia entre variables, con el fin de predecir la media aritmética o valor medio poblacional para la variable dependiente Y con base en los valores conocidos por muestras repetidas de las variables independientes X, se conoce como *REGRESIÓN*.

La relación que se puede establecer, tomando en cuenta el número de variables independientes X_i , es:

1. *Regresión Lineal Simple*. Se establece cuando la variable dependiente Y está en función de una única variable independiente X
2. *Regresión Lineal Múltiple*. Se establece cuando la variable dependiente Y se determina o está en función de más de una variable dependiente X. Es decir, para poder explicar Y se toman en cuenta varias variables independientes.

3.3.1 Análisis de Regresión Simple

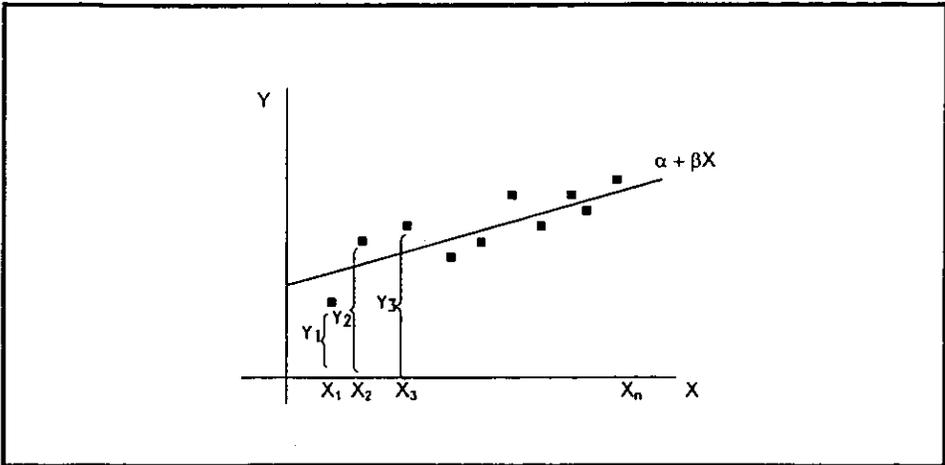
Un modelo de regresión lineal simple está representado de la siguiente manera:

$$Y = \alpha + \beta X + \varepsilon$$

en donde:

- Y es la variable endógena
- X es la variable exógena
- α es la ordenada al origen
- β es la pendiente
- ε es la variable aleatoria

Especificado el modelo, se toma una muestra de tamaño n . Es decir, se tienen n pares de observaciones (X, Y) , como por ejemplo:



Gráfica 3.8. Representación gráfica de la regresión lineal

Las observaciones muestrales se distribuyen más o menos aleatoriamente alrededor de la recta de regresión. Pero los parámetros α y β son desconocidos, y se estiman a partir de una muestra que se supone generada por una estructura perteneciente al modelo. Los estimadores se representan de la siguiente forma:

$$\hat{\alpha} = \text{estimador de } \alpha$$

$$\hat{\beta} = \text{estimador de } \beta$$

Aplicando el método de mínimos cuadrados ordinarios se obtiene una estructura estimada que se representa en la gráfica 3.9 conjuntamente con la estructura desconocida (poblacional).

Las desviaciones entre las observaciones muestrales y la recta de regresión $\alpha + \beta X$ corresponde a los valores muestrales de ϵ . Como la recta de regresión es desconocida, estos valores *no son observables*. Lo que se tiene son las desviaciones entre los datos muestrales y la recta de regresión estimada, definiendo:

$$\hat{\varepsilon} = \varepsilon \quad \text{estimada}$$

$$\hat{\varepsilon} = e$$

➤ Método de los Mínimos Cuadrados Ordinarios

Dado el modelo $Y = \alpha + \beta X + \varepsilon$, se toma una muestra de tamaño n , simbolizándose las observaciones con:

$$X_1 \ X_2 \ X_3 \ \dots \ X_n$$

$$Y_1 \ Y_2 \ Y_3 \ \dots \ Y_n$$

Donde sus respectivas medias aritméticas son:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_j$$

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i$$

A partir de las cuales definimos las *variables desvíos*⁹ con respecto a sus correspondientes medias muestrales:

$$x = X - \bar{X}$$

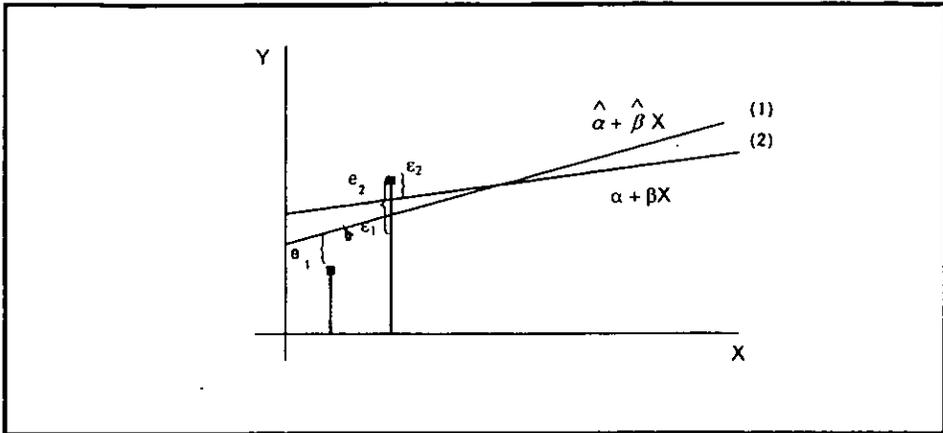
$$y = Y - \bar{Y}$$

Las ecuaciones muestrales satisfacen las siguientes ecuaciones:

$$Y = \alpha + \beta X + \varepsilon \quad (\text{Desconocida})$$

$$Y = \hat{\alpha} + \hat{\beta} X + e \quad (\text{Estimada})^{10}$$

⁹ Dagum, Camilo. Introducción a la Econometría, México 1976. Pág 110



Gráfica 3.9. (1) Regresión estimada (2) Ecuación desconocida

Lo deseable sería hacer mínima la $\sum \varepsilon^2$, pero existe la dificultad de no conocer toda la población. Lo único posible es hacer mínima la $\sum e^2$, la que por el método de mínimos cuadrados consiste en:

$$\text{Mín } \sum e^2 = f(\alpha, \beta)$$

como:

$$e = Y - \hat{Y} \quad \text{y} \quad e^2 = (Y - \hat{Y})^2$$

entonces:

$$\text{mín } \sum (Y - \hat{Y})^2 = \text{mín } \sum e^2$$

¹⁰ Llamada función de regresión muestral (FRM), que es una estimación de la verdadera, pero desconocida función de regresión poblacional.

como:

$$\hat{Y} = \hat{\alpha} + \hat{\beta}X$$

entonces:

$$\min \sum e^2 = \min \sum \left[\hat{Y} - (\hat{\alpha} + \hat{\beta}X) \right]^2$$

$$\min \sum e^2 = \min \sum \left(\hat{Y} - \hat{\alpha} - \hat{\beta}X \right)^2 = \min f(\hat{\alpha}, \hat{\beta})$$

Empleando la técnica de minimización en una función de varias variables, se debe derivar parcialmente a $f(\hat{\alpha}, \hat{\beta})$ con respecto a cada uno de los parámetros $(\hat{\alpha}, \hat{\beta})$ los cuales asumen el papel de variables mientras no se les asigne un valor numérico específico.

El siguiente paso es igualar a cero cada una de las derivadas parciales:

$$\frac{\delta \sum e^2}{\delta \hat{\alpha}} = 0 \quad \text{y} \quad \frac{\delta \sum e^2}{\delta \hat{\beta}} = 0$$

Haciendo uso de las propiedades de las sumatorias, se obtiene un sistema de dos ecuaciones (llamadas de regresión), con dos incógnitas $(\hat{\alpha} \text{ y } \hat{\beta})$, que al resolverse da los valores numéricos de los estimadores.

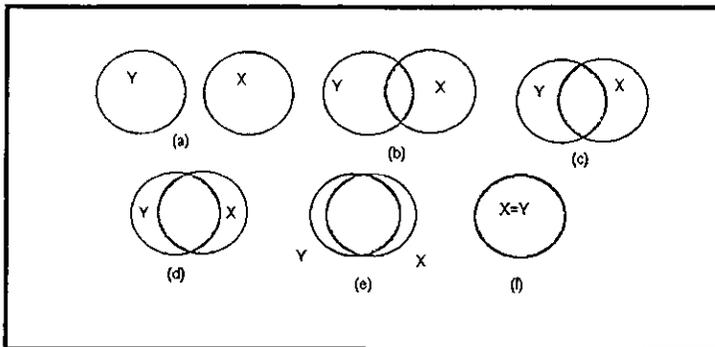
$$\hat{\alpha} = \bar{Y} - \hat{\beta}\bar{X} \quad (1)$$

$$\hat{\beta} = \frac{\sum XY - \bar{Y}\sum X}{\sum X^2 - \bar{X}\sum X} \quad (2)$$

Entonces para calcular el valor numérico de los estimadores ($\hat{\alpha}$ y $\hat{\beta}$) sólo se requiere aplicar las expresiones (1) y (2).

➤ Coeficiente de determinación r^2 : medida de la “bondad de ajuste”

La llamada *bondad de ajuste* de la línea de regresión ajustada a un conjunto de datos, intenta encontrar en qué medida se ajusta la línea de regresión muestral a los datos.



Gráfica 3.10. Representación gráfica de la relación r^2 .

En la gráfica 3.10, el círculo denotado por Y representa la variación en la variable dependiente Y, en tanto que el círculo denotado por X representa la variación en la variable explicativa X. La intersección de los dos círculos indica hasta qué punto la variación en Y se explica mediante la variación en X. Cuanto mayor sea la magnitud del término de intersección, mayor será la variación en Y que es explicada por la variable X. El r^2 es simplemente una medida numérica de esta intersección. Como lo ilustra el diagrama, en:

$$(a) \quad r^2 = 0$$

y

$$(f) \quad r^2 = 1.$$

El procedimiento para calcular el r^2 , es el siguiente:

$$Y = \hat{Y} + e$$

$$e = Y - \hat{Y}$$

Expresando lo anterior en forma de desviación:

$$Y - \bar{Y} = (\hat{Y} - \bar{Y}) + (Y - \hat{Y})$$

Elevando al cuadrado ambos lados de la ecuación y sumando sobre todas las muestras, se obtiene:

$$\sum (Y - \bar{Y})^2 = \sum (\hat{Y} - \bar{Y})^2 + \sum (Y - \hat{Y})^2 + 2 \sum (\hat{Y} - \bar{Y})(Y - \hat{Y})$$

de donde

$$2 \sum (\hat{Y} - \bar{Y})(Y - \hat{Y}) = 0$$

Por lo que sólo se expresa

$$\Sigma(Y - \bar{Y})^2 = \Sigma(\hat{Y} - \bar{Y})^2 + \Sigma(Y - \hat{Y})^2$$

$$\Sigma(Y - \bar{Y})^2 = \hat{\beta}_1^2 S_{xx} + \Sigma e^2$$

$$S_{yy} = \hat{\beta}_1^2 S_{xx} + \Sigma e^2$$

debido a que $(\hat{Y} - \bar{Y}) = \hat{\beta}_1 (\hat{X} - \bar{X})$.

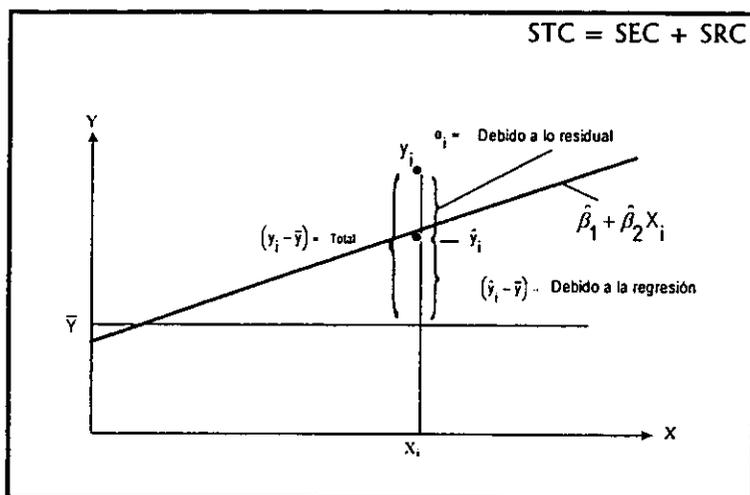
Las sumas de cuadrados que aparecen en la expresión anterior pueden describirse de la siguiente manera:

$\Sigma(Y - \bar{Y})^2 = S_{yy}$ = variación total de los valores reales de y con respecto a su media muestral, se conoce como *suma total de cuadrados (STC)*.

$\Sigma(\hat{Y} - \bar{Y})^2 = \hat{\beta}_1^2 (\hat{X} - \bar{X})^2 = \hat{\beta}_1^2 S_{xx}$ = variación de los valores estimados de y con respecto a su media. Suma de cuadrados debida a la regresión, o *suma explicada de cuadrados (SEC)*.

Σe^2 = variación residual o no explicada de los valores de y con respecto a la línea de regresión o, simplemente, *suma residual de cuadrados (SRC)*.

Por consiguiente se tiene:



Gráfica 3.11. Representación Gráfica de la STC.

La expresión anterior muestra que la variación de los valores observados de Y alrededor de su media pueden dividirse en dos componentes, el primero atribuible a la línea de regresión y el segundo a las fuerzas aleatorias, ya que no todas las observaciones reales de Y caen sobre la línea de regresión ajustada. El diagrama 3.11 es una representación gráfica de lo mencionado.

Dividiendo ambos lados por la STC, se obtiene:

$$1 = \frac{SEC}{STC} + \frac{SRC}{STC}$$

$$= \frac{\sum (\hat{Y} - \bar{Y})^2}{\sum (Y - \bar{Y})^2} + \frac{\sum e^2}{\sum (Y - \bar{Y})^2}$$

Entonces, el r^2 se define como:

$$r^2 = \frac{\sum (\hat{Y} - \bar{Y})^2}{\sum (Y - \bar{Y})^2} = \frac{SEC}{STC}$$

$$1 = r^2 + \frac{SRC}{STC}$$

$$r^2 = 1 - \frac{SRC}{STC}$$

como STC es una medida de variabilidad en Y sin considerar el efecto de la variable explicativa X , y SRC es una medida de variabilidad en Y después de que ha sido considerada la variable X , y porque

$$0 \leq SRC \leq STC,$$

se sigue que $0 \leq r^2 \leq 1$.

El r^2 se conoce como el coeficiente de determinación (muestral), y es la medida de la bondad del ajuste de una línea de regresión, más ampliamente utilizada. El r^2 mide la proporción o porcentaje de la variación total en y explicada por el modelo de regresión.

Sus propiedades más importantes son:

1. Es una cantidad no negativa.
2. Sus límites son $0 \leq r^2 \leq 1$. Un $r^2 = 1$ denota un ajuste perfecto, mientras que un $r^2 = 0$ indica que no existe relación alguna entre la variable dependiente y la (s) variables (s) explicativa (s) X_j , para $j = 1, 2, \dots, k$.

➤ Coeficiente de correlación muestral

Una cantidad muy estrechamente relacionada a r^2 pero conceptualmente diferente es el coeficiente de correlación que, es una medida del grado de asociación entre dos variables.

En muchas ocasiones se habla de análisis en los cuales las dos variables son aleatorias. Las observaciones (X_i, Y_i) , $i = 1, 2, \dots, n$, son variables aleatorias distribuidas conjuntamente. En estos modelos las inferencias que resultan, son condicionales a los valores X 's observados. La distribución conjunta de Y y X es la distribución normal bivariada¹¹. Esto es,

$$f(Y, X) = \frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2\sqrt{1-\rho^2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2(1-\rho^2)} \left[\left(\frac{Y-\mu_1}{\sigma_1} \right)^2 + \left(\frac{X-\mu_2}{\sigma_2} \right)^2 - 2\rho \left(\frac{Y-\mu_1}{\sigma_1} \right) \left(\frac{X-\mu_2}{\sigma_2} \right) \right] \right\}$$

Donde μ_1 y σ_1^2 son la media y la varianza de Y y μ_2 y σ_2^2 son la media y la varianza de X , respectivamente y

$$\rho = \frac{E(Y - \mu_1)(Y - \mu_2)}{\sigma_1\sigma_2} = \frac{\sigma_{12}}{\sigma_1\sigma_2}$$

ρ (rho) es el coeficiente de correlación entre X y Y . El numerador es la covarianza de Y y X .

La distribución condicional de Y para un valor de X dado es:

$$f(Y|X) = \frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{Y - \beta_0 - \beta_1 X}{\sigma_{12}} \right)^2 \right]$$

Donde

$$\beta_0 = \mu_1 - \mu_2 \rho \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \qquad \beta_1 = \rho \frac{\sigma_1}{\sigma_2}$$

¹¹ Douglas C. Montgomery, Elizabeth A. Peck, *Introduction to Linear Regression Analysis*, Wiley Series in Probability and Mathematical Statistics, John Wiley & Sons, INC, pp.53-56.

y

$$\sigma_{12}^2 = \sigma_1^2(1 - \rho^2)$$

La distribución condicional de Y dado X es una normal con media $E(Y|X) = \beta_0 + \beta_1 X$ y varianza σ_{12}^2 . La media de la distribución condicional de Y dada X, es el modelo de regresión de línea recta. Existe una relación entre el coeficiente de correlación y la pendiente. Se puede ver que si $\rho = 0$, entonces $\beta_1 = 0$, lo cual implica que no existe una regresión lineal de Y en X.

Para estimar los parámetros β_0 y β_1 puede usarse el método de máxima verosimilitud

$$\beta_0 = \bar{Y} - \hat{\beta}_1 \bar{X} \quad \text{y} \quad \beta_1 = \frac{\sum Y(X - \bar{X})}{\left[\sum (X - \bar{X})^2 \right]} = \frac{S_{xy}}{S_{xx}}$$

que consiste en encontrar los valores de los parámetros que representan la máxima probabilidad conjunta de las n observaciones muestrales.

Y los estimadores de los parámetros son los mismos que en mínimos cuadrados, donde se asumió que x es una variable controlable. Esto resulta por que la variable aleatoria y dada x es independiente y normalmente distribuida con media $E(Y|X) = \beta_0 + \beta_1 X$ y varianza σ_{12}^2 . Esto se sostiene por la distribución conjunta de y dado x tal que la distribución condicional de y dado x es normal.

El estimador ρ es el coeficiente de correlación muestral

$$r = \frac{\sum Y(X - \bar{X})}{\left[\sum (X - \bar{X})^2 \sum (Y - \bar{Y})^2 \right]^{1/2}} = \frac{S_{xy}}{\left[S_{xx} S_{yy} \right]^{1/2}}$$

Entonces,

$$\hat{\beta}_1 = \left(\frac{S_{yy}}{S_{xx}} \right)^{1/2} r$$

Así que la pendiente $\hat{\beta}$ es sólo el coeficiente de correlación r multiplicado por un factor escala que es la raíz cuadrada de el "cambio" en las Y 's dividido por el "cambio" en las X 's. Así r^2 y r están fuertemente relacionados, aunque provean diferente información.

El coeficiente de correlación muestral r es una medida de la asociación entre Y y X , mientras $\hat{\beta}$ mide la predicción de cambio en Y por una unidad de cambio en X . En caso de que una variable X sea una variable controlable, r no tiene significado porque la magnitud de r depende del espacio determinado de X .

Así,

$$\begin{aligned} r^2 &= \hat{\beta}_1^2 \frac{S_{xx}}{S_{yy}} \\ &= \frac{\hat{\beta}_1^2 S_{xx}}{S_{yy}} \\ &= \frac{SEC}{S_{yy}} \\ &= r^2 \end{aligned}$$

lo que se conoce como coeficiente de determinación. Esto es, el coeficiente de determinación es sólo el cuadrado del coeficiente de correlación entre Y y X .

➤ Propiedades del coeficiente de correlación:

1. Puede ser positivo o negativo; su signo dependerá del signo del numerador, que mide la covariación de las dos variables.
2. Tiene como límites $-1 \leq r \leq 1$
3. Es de naturaleza simétrica
4. Es independiente del origen de la escala.
5. Si X y Y son estadísticamente independientes, el coeficiente de correlación entre ellas es cero; si esto sucede no se puede inferir que las dos variables sean independientes. Una correlación igual a cero no implica necesariamente independencia.
6. Es una medida de asociación lineal o dependencia lineal únicamente, no tiene sentido utilizarla para relaciones no lineales.

Aunque mide asociación lineal entre dos variables, no necesariamente implica una relación de causa-efecto, al menos de tipo cualitativo. Algunas razones que dan origen a esta situación son:

- i) Que dicha relación se deba simplemente a la casualidad y no a la causalidad.
- ii) Que dicha relación de dependencia se presenta alterada por la existencia de un tercer factor oculto que eleva considerablemente el grado de asociación.
- iii) Que dicha relación se deba a una deficiencia en el tamaño de la serie muestral.

3.3.2 Análisis de Regresión Múltiple

La representación correspondiente para el análisis de regresión lineal entre más de dos variables (regresión múltiple) recurre a una presentación matricial.

El modelo es:

$$Y_t = \beta_1 + \beta_2 X_{2t} + \beta_3 X_{3t} + \dots + \beta_{kt} X_{kt} + \varepsilon_t$$

es decir, una relación lineal entre Y_t y $k-1$ variables explicativas y la variable aleatoria ε_t . El modelo mencionado constituye la información para estimar los parámetros incógnitas y la matriz de varianza-covarianza de los estimadores.

Trabajando con los n datos de la muestra se tiene:

$$Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ Y_n \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} 1 & X_{21} & \dots & X_{k1} \\ 1 & X_{22} & \dots & X_{k2} \\ \cdot & & & \\ \cdot & & & \\ 1 & X_{2n} & \dots & X_{kn} \end{bmatrix}$$

$$\beta = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \beta_n \end{bmatrix} \quad \varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

con lo que resulta, en notación matricial,

$$Y = X\beta + \varepsilon$$

Previamente a la estimación del vector de parámetros, se especificarán los postulados correspondientes a la variable aleatoria ε_t en términos del vector aleatorio ε de orden n . Luego,

$$E(\varepsilon) = 0 \text{ (vector nulo)}$$

$$E(\epsilon\epsilon') = E \begin{bmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \vdots \\ \epsilon_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \epsilon_1 & \epsilon_2 & \dots & \epsilon_n \end{bmatrix}$$

$$= E \begin{bmatrix} \epsilon_1^2 & \epsilon_1\epsilon_2 & \dots & \epsilon_1\epsilon_n \\ \epsilon_1\epsilon_2 & \epsilon_2^2 & \dots & \epsilon_2\epsilon_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \epsilon_1\epsilon_n & \epsilon_2\epsilon_n & \dots & \epsilon_n^2 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \sigma^2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sigma^2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \sigma^2 \end{bmatrix} = \sigma^2 I_n$$

por ser la esperanza matemática de una matriz igual a la esperanza matemática de cada una de sus componentes. Siendo,

$$E(\epsilon_t \epsilon_s) = \begin{cases} \sigma^2, & \text{si } t = s \\ 0, & \text{si } t \neq s \end{cases}$$

por hipótesis de independencia temporal¹².

A su vez, hay que recordar que se trabaja bajo el supuesto de que X es un conjunto de números dados.

¹² Es decir, que no existe autocorrelación.

Por último, se supone que el rango de la matriz X es:

$$r [X] = k < n$$

con la restricción que el número n de observaciones es mayor que el número k de parámetros a estimar.

La condición anterior implica que ninguna variable explicativa es un múltiplo de otra o una combinación lineal exacta de otras variables explicativas. Si esto sucede, el rango de X sería menor de k y dado que, la matriz inversa $(X' X)^{-1}$ interviene en los estimadores del vector $\hat{\beta}$ y en la matriz de varianza-covarianza de los estimadores, el rango debe ser k para que ellos existan.

➤ Método de los Mínimos Cuadrados Ordinarios

A partir de $Y = X\beta + \varepsilon$ se deduce,

$$\begin{aligned} \varepsilon' \varepsilon &= \sum \varepsilon_i^2 = (Y - X\beta)' (Y - X\beta) \\ &= Y'Y - 2'\beta'X'Y + \beta'X'X\beta \end{aligned}$$

Para encontrar el vector $\hat{\beta}$ que minimice la suma de cuadrados en la ecuación anterior, se deriva con respecto al vector $\hat{\beta}$ y se iguala a cero, resultando,

$$X' X \hat{\beta} = X' Y$$

Premultiplicando ambos miembros por la matriz inversa de $X' X$, se obtiene:

$$\hat{\beta} = (X' X)^{-1} X' Y$$

El estimador $\hat{\beta}$ es el mejor estimador lineal insesgado, por las razones dadas para el caso de relación lineal entre dos variables.

Se demuestra que su matriz de varianza-covarianza es,

$$\begin{aligned} \text{var } \hat{\beta} &= E (\hat{\beta} - \beta) (\hat{\beta} - \beta)' = E \begin{bmatrix} \hat{\beta}_1 - \beta_1 \\ \vdots \\ \hat{\beta}_k - \beta_k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\beta}_1 - \beta_1 & \dots & \hat{\beta}_k - \beta_k \end{bmatrix} \\ &= \sigma^2 (X' X)^{-1} \end{aligned}$$

El estimador de la varianza de ϵ_t es:

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{e' e}{n - k} = \frac{\sum_{t=1}^n e_t^2}{n - k}$$

el cual es un estimador insesgado¹³ de σ^2 .

Particionando la suma de los cuadrados de Y_t , en la suma de cuadrados debida a la influencia de las variables explicativas, es decir, explicada por la regresión, y la suma de cuadrados residuales, es decir, no explicada por la variables incluidas en la regresión. Se demuestra:

¹³ Ver Salas, 1990 Pp. 99-100

$$\sum \hat{y}_i^2 = \hat{\beta}' X' Y - \frac{1}{n} \left(\sum Y_i \right)^2$$

$$\sum y_i^2 = Y' Y - \frac{1}{n} \left(\sum Y_i \right)^2$$

➤ Coeficiente de determinación múltiple

El coeficiente de determinación para una regresión R^2 , es la proporción, de la varianza total, que es explicada por la regresión. El coeficiente de determinación múltiple es el mismo que para la regresión simple.

$$R^2 = \frac{SEC}{STC} = 1 - \frac{SRC}{STC}$$

Así, R^2 es una medida del poder explicativo de la regresión - en particular, una medida de qué tan bien se ajusta el modelo, a los datos disponibles, tal y como fue estimado.

El coeficiente de determinación R^2 es una medida del poder explicativo de la regresión, pero debe ser utilizado con cautela al comparar regresiones. El valor de R^2 nunca puede decrecer a medida que se añaden más variables explicativas. Generalmente éste se incrementa cuando las X's incrementen y decrece cuando las X's decrecen. Es importante mencionar que un valor cercano a uno, no necesariamente implica que el modelo de regresión será un buen predictor.

➤ Coeficiente de correlación múltiple

El coeficiente de correlación múltiple, R, se define como la raíz cuadrada no negativa de R^2 .

Este coeficiente sirve para expresar cuantitativamente el grado de asociación lineal existente entre la variable explicada Y con todas las variables explicativas (X_1, X_2, \dots) involucradas en el modelo tomadas conjuntamente.

Existe un coeficiente de determinación alternativo que está definido por:

$$\bar{R}^2 = 1 - \frac{\frac{SRC}{n-k}}{STC(n-1)}$$

se puede escribir,

$$\bar{R}^2 = 1 - \frac{\frac{SRC}{n-k}}{STC(n-1)} = 1 - \frac{n-1}{n-k}(1-R^2)$$

en donde k = número de parámetros en el modelo, e incluye el término de intersección. Este coeficiente se denomina ajustado porque implica que el coeficiente se ajusta por los grados de libertad¹⁴ asociados con las sumas de cuadrados que entran en la ecuación.

Si al comparar los dos coeficientes de determinación, el ajustado y el ordinario, no existe diferencia alguna se puede decir que el valor del coeficiente es bueno.

◇ Supuestos Fundamentales del Método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO)

Supuesto 1. El valor medio o promedio de ϵ_i es igual a cero

$$E(\epsilon_i | x_i) = 0$$

Supuesto 2. No existe autocorrelación entre las ϵ .

¹⁴ Es el número de observaciones que son linealmente independientes o que pueden escogerse libremente. Marques de Cantú, María José. Probabilidad y Estadística para Ciencias Químico-Biológicas. Ed. MacGraw-Hill, México 1991, Pág. 259.

$$\begin{aligned} \text{cov}(\varepsilon_i, \varepsilon_j) &= E\left[\varepsilon_i - E(\varepsilon_i)\right]\left[\varepsilon_j - E(\varepsilon_j)\right] \\ &= E(\varepsilon_i \varepsilon_j) \quad \text{por el supuesto} \\ &= 0 \quad i \neq j \end{aligned}$$

Supuesto 3. Homoscedasticidad o igual varianza para ε_i

$$\begin{aligned} \text{var}(\varepsilon_i | x_i) &= E\left[\varepsilon_i - E(\varepsilon_i)\right]^2 \\ &= E(\varepsilon_i^2) \\ &= \sigma^2 \end{aligned}$$

Supuesto 4. Cero covarianza entre ε_i y X_i

$$\begin{aligned} \text{cov}(\varepsilon_i, x_i) &= E\left[\left(\varepsilon_i - E(\varepsilon_i)\right)\left(x_i - E(x_i)\right)\right] \\ &= E\left[\varepsilon_i(x_i - E(x_i))\right] \\ &= E(\varepsilon_i x_i) - E(x_i)E(\varepsilon_i) \\ &= E(\varepsilon_i x_i) \\ &= 0 \end{aligned}$$

Supuesto 5. El modelo de regresión está correctamente especificado. (No existen sesgos, ni errores de especificación).

◇ Propiedades de los estimadores puntuales¹⁵ de MCO

Insesgamiento. Un estimador $\hat{\beta}$ obtenido a partir de una muestra de tamaño n es insesgado si su esperanza matemática es igual al parámetro poblacional estimado.

$$E(\hat{\beta}) = \beta$$

Eficiencia. La eficiencia se define para estimadores insesgados. La eficiencia puede ser relativa o absoluta. La eficiencia relativa analiza la eficiencia de un estimador $\hat{\beta}'$ con respecto a un estimador $\hat{\beta}$. La eficiencia absoluta analiza la eficiencia máxima.

Si $\hat{\beta}'$ y $\hat{\beta}$ son dos estimadores insesgados de β , la eficiencia relativa (e.r.) de $\hat{\beta}'$ con respecto a $\hat{\beta}$ es, por definición, el cociente entre la varianza de $\hat{\beta}$ y la varianza de $\hat{\beta}'$.

$$\text{e.r.} = \frac{\text{var } \hat{\beta}}{\text{var } \hat{\beta}'} = \frac{E(\hat{\beta} - \beta)^2}{E(\hat{\beta}' - \beta)^2}$$

Si el cociente es igual a 1, los dos estimadores son igualmente eficientes. Si es menor que 1, $\hat{\beta}$ es un estimador más eficiente.

Si $\hat{\beta}^+$ es el estimador de máxima eficiencia, la eficiencia absoluta (e.a.) del estimador $\hat{\beta}'$ es, por definición:

$$\text{e.a.} = \frac{\text{var } \hat{\beta}^+}{\text{var } \hat{\beta}'} \leq 1$$

¹⁵ Los estimadores puntuales son aquellos que toman un valor único para cada estimación y están basados en una sola muestra. Padilla, José Felipe. Estadística Inferencial y Econometría. México 1991. IPN Pp. 156-157.

Consistencia. La propiedad de consistencia de un estimador señala que a medida que se incrementa el tamaño de la muestra que da lugar al estimador se reduce el posible sesgo de éste, así como su varianza. Es decir, para muestras suficientemente grandes el estimador tiende a coincidir con su valor poblacional. La propiedad de consistencia se expresa formalmente como,

$$p \lim (\hat{\beta}) = \lim_{T \rightarrow \infty} P \left(\left| \hat{\beta} - \beta \right| < \varepsilon \right) = 1$$

donde:

ε es una cantidad pequeña

T es el tamaño de la muestra

La ecuación anterior se conoce con el nombre de límite en probabilidad del estimador y es la *condición necesaria* para que el estimador sea consistente.

Las *condiciones suficientes* para que un estimador sea consistente son:

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \text{SES} \left(\hat{\beta} \right) = 0$$

donde SES = sesgo

y

$$\lim_{T \rightarrow \infty} V \left(\hat{\beta} \right) = 0$$

Linealidad. Los estimadores de MCO son lineales en la variable dependiente Y.

Varianza. Debe tener varianza mínima y ser insesgado; a un estimador insesgado con varianza mínima se le conoce como un *estimador eficiente*.

Condición de rango. Una propiedad indispensable que debe tener el modelo de regresión para poder ser estimado correctamente es la condición de rango. Es decir,

por un lado es deseable que T sea mucho mayor que k ($T > k$) y, por otro, k debe ser el rango de la matriz $X_{T \times k}$,

$$r(X) = k$$

◇ Teorema de Gauss-Markov

Se dice que los estimadores de mínimos cuadrados son los mejores estimadores lineales insesgados¹⁶, donde "mejores" implica varianza mínima.

1. *Es lineal*, es decir, es una función lineal en la variable dependiente Y .
2. *Es insesgado*, es decir, su valor promedio o esperado $E\left(\hat{\beta}\right) = \beta$, es igual al valor verdadero.
3. *Es eficiente*, es decir, tiene varianza mínima sobre la clase de todos los estimadores lineales insesgados.

◇ Modelos Multiecuacionales: Identificación¹⁷ y estimación¹⁸

Los modelos multiecuacionales se enfrentan a un problema de crucial importancia para los modelos econométricos, el "problema de la identificación". La dificultad se origina en la información.

Un modelo econométrico multiecuacional puede tener los siguientes estados de identificación para cada una de sus funciones:

1. *Exactamente identificada*, cuando existe una sola forma de calcular sus parámetros a partir de los parámetros de la forma reducida, o se cuenta con suficiente información a priori para la estimación del modelo.
2. *Sobreidentificada*, cuando existe más de una forma de calcular sus parámetros a partir de los parámetros de la forma reducida, o se cuenta con mas que suficiente información a priori para la estimación del modelo

¹⁶ Damodar N. Gujarati. *Econometría*, McGraw-Hill, Segunda edición 1995, pp.67.

¹⁷ Véase: Salas, Javier. *Econometría aplicada a los países en desarrollo: "El caso mexicano"*. Fondo de Cultura Económica, México 1990, pags. 252-253.

¹⁸ Idem., pags. 267-290.

3. *No identificada*, cuando no existe forma de calcular sus parámetros a partir de los parámetros de la forma reducida, o no se cuenta con suficiente información a priori para la estimación del modelo

La identificación de un modelo y las técnicas de estimación están estrechamente relacionadas. Dado que dependiendo del estado de la ecuación es el método que se va a aplicar.

➤ Condición de orden de identificación

La condición de orden de identificación es un requerimiento necesario pero no suficiente para que la forma estructural de un sistema esté identificada. En otras palabras, si el sistema está identificado se cumple la condición de orden; pero puede darse el caso de que esta condición se cumpla y, sin embargo, el sistema esté no identificado. La condición de orden requiere que para que una ecuación de un sistema se encuentre identificada el número de variables predeterminadas excluidas de la ecuación sea por lo menos igual al número de variables dependientes incluido menos uno.

La notación que se utiliza es la siguiente:

M^* = número de variables dependientes incluidas en una ecuación;
 M^{**} = número de variables dependientes excluidas en una ecuación;
 $M = M^* + M^{**}$ = total de variables dependientes en el sistema;
 K^* = número de variables predeterminadas incluidas en una ecuación;
 K^{**} = número de variables predeterminadas excluidas en una ecuación;
 $K = K^* + K^{**}$ = total de variables predeterminadas en el sistema.

La condición de orden se expresa en forma matemática como,

$$K^{**} \geq M^* - 1$$

Cuando la ecuación anterior se cumple, siendo K^{**} estrictamente mayor que $M^* - 1$, la ecuación se encuentra sobreidentificada. Si K^{**} es igual a $M^* - 1$, la ecuación se encuentra exactamente identificada. Finalmente, si K^{**} es menor que $M^* - 1$, la ecuación no está identificada. Como resultado de la aplicación de este criterio, se puede tener que algunas ecuaciones del sistema pueden estar identificadas o sobreidentificadas, lo cual no crea problema en la estimación. Sin embargo en el caso de que se detecte ecuaciones no identificadas, se debe proceder a la reformulación teórica de éstas, para poder garantizar que los parámetros estimados en la función efectivamente corresponden a la relación que se pretende estimar

➤ Métodos de Estimación

Cuando se presenta el caso de un modelo multiecuacional existen casos particulares de los mínimos cuadrados para resolver sistemas de ecuaciones.

Uno de ellos son los *mínimos cuadrados indirectos (MCI)*. Que tienen la particularidad de poder recuperar los coeficientes de la forma estructural a partir de los estimadores de la forma reducida. No se utiliza con mucha frecuencia, ya que sólo es aplicable a ecuaciones de la forma reducida que se encuentren exactamente identificadas.

El método de *mínimos cuadrados en dos etapas (MC2)* se utiliza para ajustar ecuaciones estructurales individuales, produciendo estimadores consistentes. Es una técnica de estimación aplicable a ecuaciones individuales de un sistema estructural que se encuentren sobreidentificadas.

La técnica de *mínimos cuadrados generalizados (MCG)* utiliza la matriz de covarianza simultánea entre los errores de las diferentes ecuaciones. Este método se aplica a sistemas de ecuaciones.

La técnica de *mínimos cuadrados en tres etapas (MC3)* se puede obtener haciendo un manejo paralelo a la estimación de MC2 por MCE.

3.4. ELEMENTOS Y ESTRUCTURA DE UN MODELO ECONOMÉTRICO

Los elementos que constituyen la estructura general de un modelo econométrico correctamente formulado son:

1. Variables más relevantes del caso en estudio, que pueden ser dependientes (endógenas o explicadas); predeterminadas (exógenas o endógenas con retardo) o independientes (explicativas); aleatorias (estocásticas o probabilísticas) y expectativas.
2. Ecuaciones o expresiones matemáticas que describan la relación existente entre dos o más variables, y que a la vez por su forma matemática se pueden clasificar en: lineales y no lineales; y por el fenómeno que representan pueden ser de comportamiento, institucionales, tecnológicas y de definición o equilibrio.

3. Constantes, que pueden ser absolutas o numéricas (1,2,3,..,etc) y relativas o parámetros (factores de ponderación entre variables).
4. Especificación de las condiciones o restricciones económicas del modelo, que pueden ser del tipo $<$ $>$ $=$ para las ecuaciones o parámetros.

3.4.1 Variables

Es indispensable clasificar las variables que intervienen en un modelo para determinar si cumple o no, con las propiedades de *consistencia*¹⁹ y de *independencia*²⁰. Si el sistema de ecuaciones es consistente, entonces el modelo puede tener solución única o soluciones infinitas. En caso contrario el modelo no admite solución alguna.

Otra razón por la cual es necesario conocer el tipo de variables que intervienen en un modelo, es que permite seleccionar de manera óptima los métodos de estimación de parámetros que, a su vez dependen de la clases de variables que se manejan.

Existe una clasificación básica de las variables²¹, que corresponde a las categorías de variables que aparecen en los modelos:

- a) Variables endógenas
- b) Variables predeterminadas
 - Exógenas
 - Endógenas con retardo
- c) Variables aleatorias
- d) Variables expectativas

a) *Las variables endógenas* son aquellas cuyos valores estimados van a ser determinados por las soluciones particulares del sistema de ecuaciones que integran el modelo. En el análisis matemático también se conocen como variables dependientes.

b) *Las variables predeterminadas* son aquellas cuyos valores no se obtienen por la solución del modelo sino que provienen de fuera del mismo. Ellas contribuyen a explicar el comportamiento de las variables endógenas de un modelo sin ser explicadas por el modelo mismo. A su vez comprenden dos categorías:

- Variables exógenas, las cuales incluyen variables económicas propiamente dichas y variables no económicas. Ambas son explicativas en un modelo dado pero no constituyen objeto de análisis y de explicación de dicho modelo.

¹⁹ Por consistencia se entiende la no contradicción entre las diferentes hipótesis o ecuaciones que integran un modelo

²⁰ Por independencia se entiende que cada hipótesis no puede ser deducida como proposición final de las restantes.

²¹ Carmlo Dagum, *Introducción a la Econometría*, Siglo XXI Editores, México 1976, pp.28-33

- Variables endógenas con retardo, por sus características específicas, intervienen como variables explicativas. Intervienen intensamente en el análisis económico y su introducción caracteriza la forma más importante que se sigue en la construcción de los modelos dinámicos. La importancia de su introducción en el análisis económico se debe al efecto producido en los niveles actuales de las variables endógenas por los valores asumidos en el pasado inmediato por muchas de ellas.

La contribución de la variables endógenas con retardo en la explicación y también en la predicción de los fenómenos económicos puede sintetizarse en la siguiente afirmación : “El pasado contribuye a explicar el presente y compromete el futuro en su acción”.

El carácter de exógena o endógena respecto a una variable depende esencialmente del papel que va a desempeñar en el modelo, es decir, si va a ser explicativa o explicada, respectivamente.

c) *Las variables aleatorias o estocásticas* constituyen una categoría fundamental en el análisis econométrico de los modelos son variables no observables y su introducción caracteriza a los modelos estocásticos o probabilísticos; los modelos estocásticos son de uso habitual en la Econometría. Cumplen con la misión de recoger el conjunto de causas que no se encuentran explícitamente incorporadas en un modelo. Tales como:

i) *Omisión de variables explicativas.* En la especificación de una ecuación se incluyen aquellas variables que se consideran más relevantes. Un principio general que debe observarse en la selección de variables, es que la contribución explicativa de las que se excluyen debe ser proporcionalmente inferior a la debida al conjunto de variables incluidas.

ii) *Errores de especificación.* Suponiendo que se han incluido las variables explicativas más relevantes, la variable aleatoria recoge los efectos de una especificación incorrecta sobre la ley matemática de correspondencia entre las variables que se incluyen en la ecuación.

iii) *Errores de medida sobre las variables endógenas.* Se considera que dichos errores son aleatorios y se los incorpora en la variable estocástica de cada ecuación de un modelo. Toda variable aleatoria está asociada a una distribución de probabilidad.

d) *Las variables expectativas.* Estas son variables no observables y su introducción exige el enunciado de un postulado adicional en el que se especifica su comportamiento en función de variables observables (son variables expectativas, entre otras, las variables de precio normal esperado, ingreso normal esperado, inversión normal esperada, etc.). Esta clase de variables interviene en los modelos con retardos distribuidos.

También existen hechos de tipo cualitativo, para los cuales no hay mediciones numéricas, pero que sin embargo se pueden expresar en forma de datos. Este tipo de variables representa situaciones en las que ocurren dos resultados mutuamente excluyentes. Estas variables son denominadas *DUMMY*. Las cuales representan la ocurrencia o no de un evento, la presencia o no de una característica, es decir, sólo toman uno de dos posibles valores que por lo general son representados por 0 ó 1. El 1 indica la presencia u ocurrencia de cierto evento mientras que 0 la no ocurrencia o ausencia²².

Las variables *DUMMY* también pueden ser utilizadas para distinguir entre varios atributos o características cualitativas, tales como nivel educacional, ocupación y región. Si hay más de dos características o atributos posibles, pueden emplearse varias variables *DUMMY*

3.4.2 Ecuaciones

Un modelo se especifica mediante una ecuación (modelos uniecuacionales) o varias ecuaciones (modelos multiecuacionales). Cada ecuación explica un sector o una categoría de la actividad económica objeto de investigación.

Según su contenido empírico las ecuaciones se clasifican²³ en:

- a) Ecuaciones de comportamiento
- b) Ecuaciones institucionales o legales
- c) Ecuaciones tecnológicas
- d) Ecuaciones de definición o identidad
- e) Ecuaciones de equilibrio móvil

Las tres primeras clases de ecuaciones a), b) y c) son el resultado de axiomas o hipótesis empíricamente comprobables.

Las restantes clases de ecuaciones, son axiomas por "convención" o por "definición implícita".

- a) Ecuación de comportamiento. Explica el modo de actuar (psicológicamente) de los sujetos (individual o colectivamente) de la actividad económica perteneciente a una categoría determinada.
- b) Ecuaciones Institucionales o legales. Reflejan los efectos que producen en un modelo económico, la existencia de leyes o un orden institucional dado, al condicionar la actividad económica.

²² Michael Intriligator, Modelos Económicos. Técnicas de Aplicación, N.J, 1978, pág. 76.

²³ Camilo Dagum, *Introducción a la Econometría*, Siglo XXI Editores, México 1976, pp 22-26.

- c) Ecuaciones tecnológicas. Explica los modos de producción incorporados a la actividad económica. En general expresan la influencia sobre el fenómeno en estudio de los avances tecnológicos de reciente incorporación o a la tecnología ya existente pero que incide, y por lo cual debe ser incluida en el modelo.
- d) Ecuaciones de definición o identidad²⁴. Son relaciones que se verifican siempre, ya sea por su construcción lógica o por la definición contable que ellas satisfacen.
- e) Ecuaciones de equilibrio móvil. Son aquellas igualdades que resultan de una condición impuesta o postulado introducido.

3.4.3 Parámetros

Los *parámetros* son los factores de ponderación correspondientes a cada variable explicativa y miden el efecto resumido de las fluctuaciones de estas variables sobre la variable explicada.

Los factores de ponderación en la forma primaria de las ecuaciones de un modelo son los parámetros llamados estructurales. Ellos tienen un significado económico concreto. Otra categoría de parámetros que aparecen en la solución de ecuaciones en diferencias finitas y de ecuaciones diferenciales son los *parámetros arbitrarios*, llamados así porque la ecuación que los contiene es solución de la ecuación en diferencias o de la ecuación diferencial de la que se obtuvo, para cualquier valor real de dichos parámetros²⁵.

3.4.4 Restricciones y condiciones

La especificación de las condiciones o restricciones del modelo se dan a través de desigualdades o inecuaciones.

Originando que una o varias variables tomen cierto valor o valores dentro de un intervalo determinado. Como se mencionó anteriormente el tipo de restricciones que se dan son : $>$ $<$ ó $=$.

²⁴ Una identidad contable por definición es una relación que siempre se verifica ex post.

²⁵ Camilo Dagum, Introducción a la Econometría, México 1976. Pág. 27.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

CAPITULO 4

CONSTRUCCION, ESTIMACION Y VALIDACION DEL MODELO

En base a la teoría mencionada se formularán cuatro modelos que describen la situación del caso en estudio, abarcando todo el universo de variables. Sin embargo, éstos sólo quedarán como propuesta debido a que no se cuenta con la información suficiente para poder validarlos.

Los tres primeros son modelos uniecuacionales que calculan el Índice de Sustentabilidad en términos de un solo sector (natural, social o económico) mientras que el cuarto es un modelo multiecuacional que está compuesto por variables de los tres diferentes sectores, siendo éste el que tal vez se apegue más a la realidad. No obstante, queda por comprobarse.

Para demostrar como se aplica la metodología econométrica se utilizará un pequeño modelo uniecuacional formado sólo por algunas de las variables ya mencionadas. Se comprobará cada uno de los pasos del análisis econométrico con el fin de que el lector entienda la importancia de cada uno de ellos.

4.1 PLANTEAMIENTO DE UN MODELO

Como se menciona en su momento la construcción del modelo es un paso importante dado que es la manera de representar y medir la relación entre variables.

En base a los indicadores mencionados en el capítulo 1, se proponen modelos que

traten de abarcar el mayor número de variables posibles, buscando un estudio más completo y apegado a la realidad.

Pero estos modelos solo quedarán como propuestas debido a que no existe la información necesaria para poder resolverlos y validar su construcción, así como, la significancia de las variables que lo componen.

A continuación se proponen los tres primeros modelos que calculan el IDS en función sólo de las variables de un mismo ámbito ya sea social, económico o natural representados en una estructura uniecuacional:

$$IDS = (IE, IS, IN)$$

donde

IDS = Índice de Sustentabilidad

IE = Indicadores Económicos

IS = Indicadores Sociales

IN = Indicadores Naturales

> Modelo uniecuacional en función de los indicadores económicos

$$IDS = \alpha_1 + \beta_1 PIB + \beta_2 GPA + \beta_3 TE + \beta_4 IE + \beta_5 ANP \quad \dots(1)$$

donde

PIB = PIB per cápita

GPA = Gastos asignados a medio ambiente

TE = Tasa de empleo

IE = Intensidad energética

ANP = Activos económicos y ambientales no producidos

> Modelo uniecuacional en función de los indicadores sociales

$$IDS = \alpha_2 + \gamma_1 A + \gamma_2 NE + \gamma_3 ME + \gamma_4 SAM + \gamma_5 EV + \gamma_6 CC + \gamma_7 P + \gamma_8 DD + \gamma_9 DAP \quad \dots (2)$$

donde

A = Alfabetización
 NE = Nivel escolar
 MI = Tasa de mortalidad infantil
 SAM = Atención medica
 EV = Esperanza de vida
 CC = Consumo de calorías (nutrición)
 P = Límite de pobreza
 DD = Disponibilidad de drenaje
 DAP = Disponibilidad de agua potable

> Modelo uniecuacional en función de los indicadores naturales

$$IDS = \alpha_3 + \lambda_1 UIA + \lambda_2 TA + \lambda_3 CA + \lambda_4 CAR + \lambda_5 EAA + \lambda_6 EPA + \lambda_7 US + \lambda_8 E \\ + \lambda_9 MB + \lambda_{10} ADF + \lambda_{11} CV + \lambda_{12} ZP \quad \dots (3)$$

donde

UIA = Uso intensivo de agua
 TA = Tratamiento de agua
 CA = Calidad de agua
 CAR = Calidad de aire
 EAA = Especies animales amenazadas
 EPA = Especies amenazadas de plantas
 US = Uso de suelo
 E = Erosión
 MB = Tratamiento de basura
 ADF = Deforestación
 CV = Continuidad de la vegetación
 ZP = Zonas protegidas

Un modelo más completo sería aquel que abarcara de ser posible, todo el conjunto de indicadores que se sugieren, ya que de este modo se observaría un mejor comportamiento de la relación que se presenta entre éstos.

El modelo que se propone es el siguiente:

$$\begin{aligned}
 \text{PIB} &= \alpha_1 + \beta_1 \text{ANP} + \beta_2 \text{GPA} + \beta_3 \text{TE} + \beta_4 \text{IE} \\
 \text{EV} &= \alpha_2 + \lambda_1 \text{A} + \lambda_2 \text{SAM} + \lambda_3 \text{CC} + \lambda_4 \text{P} + \lambda_5 \text{CA} + \lambda_6 \text{CAR} \\
 \text{P} &= \alpha_3 + \phi_1 \text{DD} + \phi_2 \text{DAP} + \phi_3 \text{NE} \\
 \text{US} &= \alpha_4 + \theta_1 \text{EAA} + \theta_2 \text{EPA} + \theta_3 \text{E} + \theta_4 \text{MB} + \theta_5 \text{ADF} + \theta_6 \text{CV} + \theta_7 \text{ZP} \dots (4)
 \end{aligned}$$

donde:

- PIB = PIB per cápita
- GPA = Gastos asignados a medio ambiente
- TE = Tasa de empleo
- IE = Intensidad energética
- ANP = Activos económicos y ambientales no producidos
- EV = Esperanza de vida
- A = Alfabetización
- SAM = Atención médica
- CC = Consumo de calorías (nutrición)
- P = Límite de pobreza
- CA = Calidad de agua
- CAR = Calidad de aire
- DD = Disponibilidad de drenaje
- DAP = Disponibilidad de agua potable
- US = Uso de suelo
- EAA = Especies animales amenazadas
- EPA = Especies de plantas amenazadas
- E = Erosión
- MB = Tratamiento de basura
- ADF = Deforestación
- CV = Continuidad de la vegetación
- ZP = Zonas protegidas

No esta de más recordar que los modelos anteriormente presentado no se han podido resolver y queda por demostrar la validez de éstos.

Sin embargo, para poder demostrar como se aplica el análisis econométrico se utilizará un modelo que contemple aquellas variables de las cuales si existe la suficiente información. El modelo con el cual se trabajará de aquí en adelante es el siguiente:

$$\text{PIB} = \alpha + \beta_1 \text{TE} + \beta_2 \text{SAM} + \beta_3 \text{A} + \beta_4 \text{NE} + \mu \dots (5)$$

4.2 IDENTIFICACION Y VALIDACION DE LAS VARIABLES

Las variables que se incluyen en el modelo a analizar, se presentan en la siguiente tabla:

TIPO	VARIABLES	INDICADOR
Económica	Producto Interno Bruto	PIB = PIB convertido a pesos de 1980
Económica	Tasa de Empleo	TE = $\frac{PEA}{Población\ total}$
Social	Atención Médica	SAM = $\frac{Población\ atendida}{Población\ total}$
Social	Alfabetización	A = $\frac{Población\ alfabetada}{Población\ total}$
Social	Nivel Escolar	NE = $\frac{Educación\ Promedio}{Población\ total}$

Tabla 4.1. Variables e Indicadores
Fuente: Anexo B

El PIB es la variable dependiente mientras que la tasa de empleo, atención médica, alfabetización y nivel escolar son las variables independientes.

Una vez delimitada la condición de cada una de ellas y habiendo verificado que existe la suficiente información el siguiente paso es la estimación del modelo.

4.3 CONSTRUCCIÓN, ESTIMACIÓN y VALIDACIÓN DEL MODELO.

El modelo a estimar es el siguiente:

$$PIB = \alpha + \beta_1 TE + \beta_2 SAM + \beta_3 A + \beta_4 NE + \mu \quad \dots(1)$$

donde:

PIB = Producto Interno Bruto

TE = Tasa de Población Económicamente Activa

SAM = Tasa de Atención Médica
 A = Tasa de Población Alfabetizada
 NE = Tasa de Nivel Escolar

Se dispone de una muestra de los datos de la Microrregión de Coatzacoalcos, los datos anuales de las variables incluidas en el modelo son para el periodo 1970-1996. El tamaño de la muestra es de 27 observaciones.

Los datos estadísticos correspondientes se presentan en la siguiente tabla:

ANO	PIB	TE	SAM	A	NE
1960	11.5440	0.26877	9.07443	0.52618	0.49028
1971	8.8636	0.29669	9.17730	0.63955	0.53540
1972	12.6927	0.29654	8.25849	0.65122	0.52024
1973	18.1761	0.29639	7.43168	0.66310	0.50551
1974	26.0282	0.29623	6.68764	0.67521	0.49120
1975	37.2726	0.29608	6.01810	0.68753	0.47729
1976	53.3746	0.29593	5.41559	0.70007	0.46377
1977	70.7520	0.29578	4.87340	0.71285	0.45064
1978	145.0871	0.29562	4.38550	0.72586	0.43788
1979	192.3241	0.29547	3.94643	0.73911	0.42548
1980	100.0000	0.29532	3.55133	0.75259	0.41344
1981	290.1743	0.29516	3.19579	0.76633	0.40173
1982	522.7912	0.29501	2.87584	0.78031	0.39036
1983	1072.0571	0.29486	2.58791	0.79455	0.37930
1984	1421.0939	0.29471	2.32882	0.80905	0.36856
1985	1085.1980	0.29455	2.09567	0.82382	0.35813
1986	2914.1535	0.29440	1.88586	0.83885	0.34799
1987	3862.9336	0.29425	1.69705	0.85416	0.33813
1988	8922.7975	0.29410	1.52715	0.86975	0.32856
1989	7921.4904	0.29394	1.37426	0.88562	0.31926
1990	10500.5422	0.29379	1.23667	0.90178	0.31022
1991	14460.5882	0.29364	1.11286	0.91824	0.30143
1992	21532.8434	0.29349	1.00144	0.93500	0.29290
1993	22386.2929	0.28790	1.10912	0.93441	0.28188
1994	39703.0057	0.28399	0.64346	0.98817	0.28000
1995	58532.3370	0.31022	0.64657	1.04501	0.28056
1996	77589.0954	0.29118	0.79917	0.99929	0.26259

Tabla 4.2.

Fuente: Anuarios Estadísticos del INEGI. Ediciones 1970, 1990, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996

Los parámetros del modelo (1) se estiman por mínimos cuadrados¹, los resultados obtenidos son los siguientes:

¹ El Econometrics View, fue el paquete estadístico que se utilizó para la estimación.

Equation: ECU1 Workfile: VERA

LS // Dependent Variable is @INV(PIB)
 Date: 07/15/98 Time: 11:58
 Sample: 1970 1996
 Included observations: 27
 White Heteroskedasticity-Consistent Standard Errors & Covariance
 @INV(PIB)=C(1)+C(2)*@INV(PEA)+C(3)*@INV(AM)+C(4)*@INV(ALFA)
 +C(5)*@INV(NE)

	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	0.083169	0.202325	0.411067	0.6850
C(2)	-0.139141	0.088496	-1.572292	0.1302
C(3)	0.046706	0.018755	2.490294	0.0200
C(4)	0.259937	0.074731	3.478315	0.0021
C(5)	0.018479	0.020486	0.902002	0.3768

R-squared	0.769241	Mean dependent var	0.017131
Adjusted R-squared	0.727285	S.D. dependent var	0.030686
S.E. of regression	0.016025	Akaike info criterion	-8.101651
Sum squared resid	0.005650	Schwarz criterion	-7.861682
Log likelihood	76.06095	F-statistic	18.33437
Durbin-Watson stat	1.368717	Prob(F-statistic)	0.000001

Gráfica 4.1. Resultados de la estimación por mínimos cuadrados ordinarios para la ecuación (1)

Reemplazando los valores estimados de los coeficientes la ecuación queda de la siguiente manera:

$$\hat{PIB} = 0.083169078 - 0.13914085TE + 0.046705599SAM + 0.25993704A + 0.01847879NE \quad \dots(2)$$

Ya obtenida la estimación, el siguiente paso es analizar los resultados para saber qué tan significantes son los coeficientes y la validez del modelo.

* Se utilizó el método de transformación 1/x en los datos originales

> PRUEBA F

Se tiene que:

$$F(4,22) = 18.33437 \quad (\text{Regresión})$$

y usando un nivel de significación del 5%

$$F_{0.95}(4,22) = 2.82 \quad (\text{Tabulada})$$

Como

$$F(4,22) > F_{0.95}(4,22)$$

se rechaza la hipótesis nula concluyendo que el conjunto de variables independientes incluidas en el modelo son significativamente explicativas a la variable dependiente.

> PRUEBA t

Se tiene para cada variable:

$$t_2(22) = -1.670447$$

$$t_3(22) = 2.088924$$

$$t_4(22) = 3.477301$$

$$t_5(22) = 0.558704 \quad (\text{Regresión})$$

usando un nivel de significancia del 5%

$$t_{0.95}(22) = 1.717 \quad (\text{Tabulada})$$

como

$$|t_i| < t_{0.95} \quad \text{para } i=2 \text{ e } i=5$$

Se acepta la hipótesis concluyendo que no todas las variables independientes individualmente contribuyen a explicar la variación total de la variable dependiente.

De aquí se podría deducir que existen algunas variables no significantes para el modelo y una medida a tomar es la de eliminarlas del modelo y volver a estimarlo.

Cuando se presenta un caso de esta naturaleza, en que las variables en conjunto contribuyen a explicar a la variable dependiente pero individualmente no es una señal de que existe una fuerte multicolinealidad.

Si se observa la gráfica 4.1, se puede distinguir la presencia de valores negativos y positivos lo cual también es un indicador de que existe multicolinealidad.

Eliminando las variables que no cumplieron con la prueba t se tiene el siguiente modelo:

$$PIB = \alpha + \beta_1 SAM + \beta_2 A + \mu \quad \dots(3)$$

Los parámetros del modelo (3) se estiman por mínimos cuadrados

Equation: ECU3 Workfile: VERA

View Proc Objects Print Name Freeze Estimate Forecast Stats Res

LS // Dependent Variable is @INV(PIB)
 Date: 07/15/98 Time: 11:30
 Sample: 1970 1996
 Included observations: 27
 @INV(PIB)=C(1)+C(2)*@INV(AM)+C(3)*@INV(ALFA)

	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	-0.234700	0.044430	-5.282465	0.0000
C(2)	0.038412	0.014615	2.628207	0.0147
C(3)	0.180691	0.029298	6.167253	0.0000

R-squared	0.722337	Mean dependent var	0.017131
Adjusted R-squared	0.699199	S.D. dependent var	0.030686
S.E. of regression	0.016830	Akaike info criterion	-8.064768
Sum squared resid	0.006798	Schwarz criterion	-7.920786
Log likelihood	73.56302	F-statistic	31.21792
Durbin-Watson stat	1.398833	Prob(F-statistic)	0.000000

Path = C:\WINDOWS Workfile = VERA

Gráfica 4.2. Resultados de la estimación por mínimos cuadrados ordinarios

Reemplazando los valores estimados de los coeficientes la ecuación nos queda de la siguiente manera:

$$\hat{PIB}^{**} = -0.23470011 + 0.038412037AM + 0.18069074A \quad \dots(4)$$

Ahora corresponde analizar los resultados de la estimación para la validación del diagnóstico.

➤ PRUEBA F

Se tiene que:

$$F(2,24) = 52.7777 \quad (\text{Regresión})$$

y usando un nivel de significación del 5%

$$F_{0.95}(2,24) = 3.40 \quad (\text{Tabulada})$$

Como

$$F(2,24) > F_{0.95}(2,24)$$

se rechaza la hipótesis nula concluyendo que el conjunto de variables independientes incluidas en el modelo son significativamente explicativas a la variable dependiente.

➤ PRUEBA t

Se tiene para cada variable:

$$\begin{aligned} t_1(24) &= 2.628207 \\ t_2(24) &= 6.167253 \quad (\text{Regresión}) \end{aligned}$$

usando un nivel de significancia del 5%

$$t_{0.95}(24) = 1.711 \quad (\text{Tabulada})$$

** Se utilizó el método de transformación $1/x$ en los datos originales

como

$$|t_i| > t_{0.95} \quad \text{para } i=1,4$$

se rechaza la hipótesis concluyendo que cada una de las variables independientes individualmente contribuyen a explicar la variación total de la variable dependiente.

➤ PRUEBA DURBIN-WATSON

Se tiene que:

$$d = 1.398833 \quad (\text{Regresión})$$

para $\alpha = 0.05$, $k = 2$ y $n = 27$, la tabla de Durbin-Watson proporciona los siguientes resultados:

$$\begin{aligned} d_j &= 1.32 \\ d_u &= 1.47 \end{aligned}$$

y como

$$\begin{aligned} 1.32 &< 1.398833 < (4 - 1.47) \\ 1.32 &< 1.398833 < 2.53 \end{aligned}$$

Se acepta la hipótesis nula concluyendo que no existe autocorrelación.

Analizando la sumatoria del cuadrado de los residuales y la gráfica de los residuales se puede descartar la existencia de heteroscedasticidad. Ver gráfica 4.4.

La sumatoria tiene un valor de 0.006798, si se observa es pequeña, esto significa que cumple con la condición de varianza mínima.

Los dos puntos que se disparan se pueden interpretar como un indicador de que en esos años tal vez existió un fenómeno brusco que alteró el comportamiento normal del PIB en la región.

Para determinar la existencia de multicolinealidad entre las variables se analiza la matriz de correlación.

Equation: ECI3 Workfile: VERA

	C[1]	C[2]	C[3]
C[1]	0.001974	-0.000579	-0.001293
C[2]	-0.000579	0.000214	0.000364
C[3]	-0.001293	0.000364	0.000858

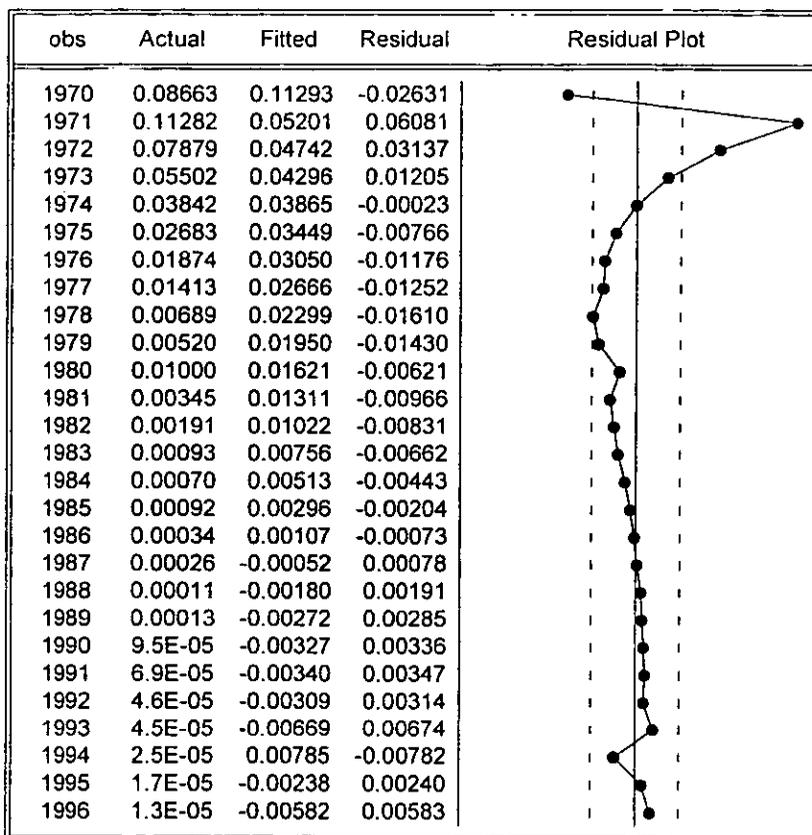
Path - C:\WINDOWS | Workfile - VERA

Gráfica 4.3. Matriz de Correlación

Como se observa los valores en la intersección de las variables es bajo, lo cual indica que no existe correlación entre éstas. Si también se revisan los resultados de los estadísticos t , se nota que el valor de los coeficientes son positivos lo que es un indicador de ausencia de multicolinealidad.

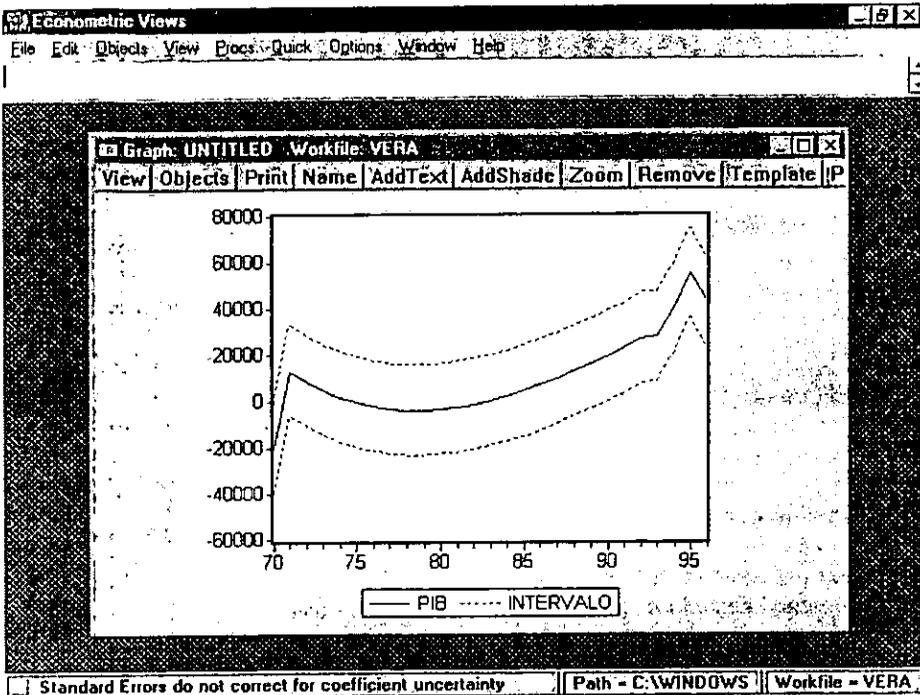
El estadístico $R^2 = 0.722337$, indica una buena determinación cuantitativa del fenómeno.

$\bar{R}^2 = .0699199$ indica el ajuste de los coeficientes con los grados de libertad, asociados con las sumas de cuadrados.



Gráfica 4.4. Representación gráfica de los residuales.

Ya habiendo validado el modelo se hace el análisis de pronóstico del modelo. Del cual se obtiene la siguiente gráfica:



Gráfica 4.5. Pronóstico del PIB

Como se puede observar el pronóstico (línea continua) cae dentro del intervalo determinado, lo que es un indicio de un buen comportamiento de la serie y de un buen pronóstico de la misma.

La gráfica anterior explica que las series obtenidas tienen una buena representación del evento real.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se comprobó una vez más, una de las tantas aplicaciones que tienen las matemáticas y estadística en diversos campos y las facilidades que esto conlleva. Es de conocimiento de todos que las ciencias exactas están comprobadas en base a métodos determinados que permiten establecer el comportamiento de un fenómeno real, de manera que sustentan o apoyan estudios, dado que existe la capacidad de comprobarlos.

El trabajo hubiera sido más efectivo si se hubiera podido resolver el cuarto modelo planteado en el capítulo 4, pero debido a la falta de información se tuvo que limitar a un modelo más pequeño que contemplara sólo aquellas variables para las cuales sí se contó con información suficiente.

A pesar de lo anterior, el trabajo de aplicación fue exitoso, pues cumplió con el fin de demostrar el procedimiento que sigue la metodología econométrica, estimando y prediciendo el comportamiento de las variables, también se mostró que la combinación de variables de diversos sectores en la construcción de un modelo no es un problema que afecte su manejo y el trabajar con índices facilita aun mas el trabajo.

La oportunidad que generó el poder estimar el comportamiento de los indicadores fue importante, dado que de esta manera se pudo medir el impacto que están teniendo sobre el área y lo que esto significa. De igual manera el pronosticar su comportamiento futuro crea la oportunidad de tomar desde ahora medidas que eviten y controlen los impactos negativos que éstas pudieran ocasionar.

Por lo observado y estudiado durante el desarrollo de este trabajo es posible sostener que un factor muy importante que ha venido atrasando el desarrollo sustentable en el país es la falta de educación ambiental.

Resulta incomprensible que el hombre con el nivel de conocimiento que ha alcanzado y con el desarrollo en ciencia y tecnología logrado no haya atacado aún las causas que lo destruyen. Parecería que el objetivo de la ganancia se encuentra por encima de la vida.

En cuanto al modelo, aunque la primera estimación no fue lo suficientemente satisfactoria debido a que algunas variables resultaron no significativas, la segunda fue buena ya que cumplió con todos los requisitos especificados.

Los resultados obtenidos de las pruebas "F" y "t", demuestran que las variables independientes que se utilizaron explican de una manera correcta el comportamiento de la variable dependiente, tanto en conjunto como individualmente dando la ventaja de conocer la significancia e importancia que tienen cada una de las variables que integran el modelo.

Como se ha venido mencionando, desafortunadamente se tuvo que enfrentar el problema de falta de información, el cual como se comentó en su momento es muy común en este tipo de trabajos. Mas aún, cuando se habla de información a nivel municipal y se manejan variables relativamente nuevas en este tipo de análisis.

Esto fue lo que provocó que se tomara la medida de eliminar del modelo las variables: población económicamente activa y nivel escolar, dado que no existía la oportunidad de enriquecer la información de éstas.

Las variables naturales fueron las que presentaron mayor dificultad, dado que no existe la suficiente información como para poder incluirlas en un modelo para esta clase de estudio.

Quizás en un tiempo futuro ya se cuente con éstas y sean tomadas en cuenta para un próximo estudio, dado que son indispensables en un proyecto de ordenamiento ecológico.

El haber podido contar con todas las variables hubiera dado lugar a la solución del modelo no. 4 planteado en el capítulo 4, el cual será más completo y daría una mayor y mejor expectativa del fenómeno real. Sin embargo, para efecto de aplicación y demostración, el modelo fue bueno en su comportamiento y pronóstico.

Este estudio podría servir como base para un siguiente trabajo, tomando en cuenta las características que éste presentó y los tropiezos a los que tuvo que enfrentar. Se pueden considerar los modelos mencionados para comprobar su validez y la significancia de cada una de las variables que los constituyen.

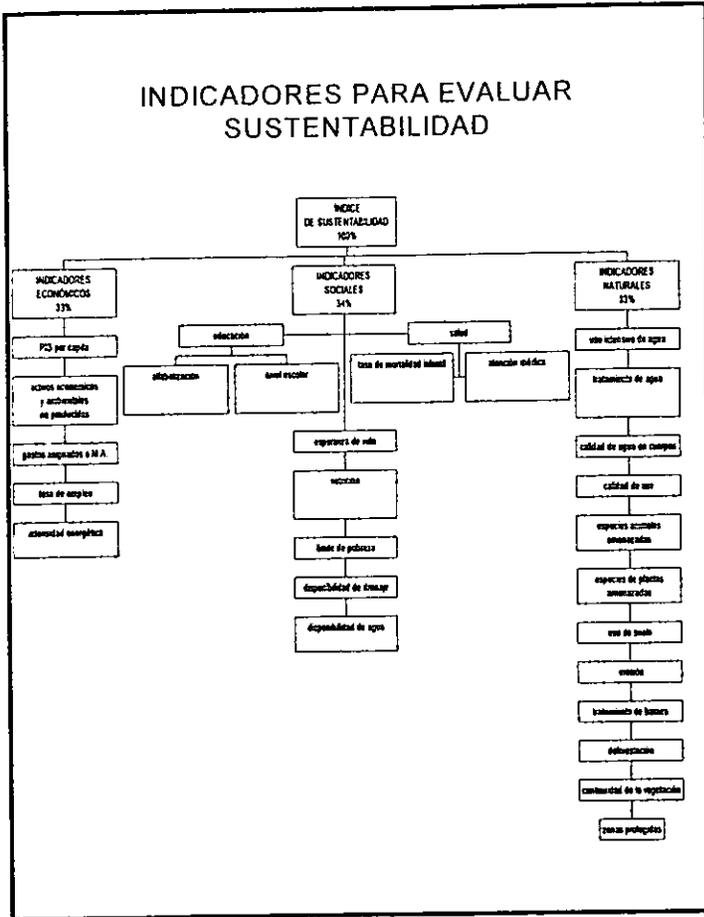
ANEXO A

TEORÍA DE DECISIONES DE ATRIBUTOS MÚLTIPLES

La metodología asociada a la Teoría de Decisiones de Atributos Múltiples desglosa el problema a analizar en un árbol de decisiones en el que el tronco principal se divide en criterios generales y éstos a su vez en criterios específicos o atributos que también pueden subdividirse. De esta forma el problema a evaluar se fracciona en aspectos cada vez más específicos que son más sencillos de valorar.

Para el diseño del árbol de decisiones, el primer paso, es definir los criterios generales, como son el económico, social y natural. A cada uno de los criterios generales se les debe asignar un factor de peso, de acuerdo con la importancia que tomen dentro del tema, esta jerarquización se muestra en la gráfica No. 1. En la esfera del desarrollo sustentable, la importancia dirigida a los aspectos social, económico y natural tiene que ser equitativa de tal suerte que para el caso de este estudio, las ponderaciones asignadas fueron de 34, 33 y 33 por ciento respectivamente. El sistema social recibió una cantidad relativamente mayor porque en la estructura de las sociedades surge gran parte del problema, pero también de soluciones.

A continuación cada uno de los criterios generales se subdivide en criterios específicos (o atributos), que precisamente son los indicadores que componen a cada sistema. A cada atributo se le asigna un factor de peso y una función de utilidad que da uniformidad en unidades y valores a los atributos. La función de utilidad de un atributo es la escala de valores con la que se califican el o los aspectos considerados por dicho atributo, en la región. La función asocia al parámetro considerado, por ejemplo, Producto Interno per cápita, esperanza de vida o calidad de agua, con una escala de valores adimensional de 0 a 1, (donde 0 expresa el grado más bajo de sustentabilidad y 1 el más alto). De esta manera se califica la "utilidad" de la región que se está evaluando. Esta función permite comparar entre sí parámetros que pertenecen a diferentes sistemas y tienen distintas unidades. Es decir la escala de valores con la que se califican los indicadores para la zona de estudio quedan entre un valor entre 0 y 1.



Gráfica No. 1. Árbol del Índice de Desarrollo Sustentable, con sus respectivos indicadores generales y específicos

La cuantificación del Índice de Desarrollo Sustentable (IDS), es el promedio ponderado de los tres indicadores Generales (Criterios Generales):

- Económico ----- A
- Social ----- B
- Natural----- C

Los factores de peso de las ponderaciones, cumplen las siguientes reglas: La suma de los factores de peso de los criterios generales debe ser igual a 100, es decir si A, B y C son las ponderaciones de los criterios seleccionados, entonces:

$$A + B + C = 100$$

A su vez la suma de las ponderaciones de los indicadores específicos de cada uno de los criterios generales es también igual a 100, esto es:

$$\begin{aligned} a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + \dots + a_n &= 100 \\ b_1 + b_2 + b_3 + b_4 + \dots + b_n &= 100 \\ \dots & \\ n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + \dots + n_n &= 100 \end{aligned}$$

Por lo tanto el Índice de Desarrollo Sustentable (IDS) se define como:

$$IDS = \sum_{j=1}^3 FIG_j \cdot \frac{1}{100} \sum_{i=1}^{n_j} VA_{ji} \cdot FI_{ji}$$

donde:

FIG_j = Factor de peso del j-ésimo Indicador General.

VA_{ji} = Valor agregado del i-ésimo Indicador específico del j-ésimo Indicador General.

FI_{ji} = Factor de peso del i-ésimo indicador específico perteneciente al j-ésimo Indicador General.

n_j = Número de Indicadores específicos del j-ésimo Indicador General.

Si un Indicador Específico está subdividido en Sub-Indicadores específicos, entonces:

$$VA_{ji} = \frac{1}{100} \sum_{k=1}^{n_{ji}} VSI_{jik} \cdot FSI_{jik}$$

donde

VSI_{jik} = Valor del k-ésimo Sub-Indicador específico del i-ésimo Indicador específico que está debajo del j-ésimo Indicador General.

FSl_{jik} = Factor de peso del k-ésimo Sub-Indicador específico perteneciente al i-ésimo Indicador específico que está debajo del j-ésimo Indicador General.

n_{ji} = Número de Sub-Indicadores específicos del i-ésimo Indicador específico que está debajo del j-ésimo Indicador General.

Con el IDS se puede:

- a) Identificar regiones (territorio, unidades geomorfoedafológicas, de gestión ambiental, municipios, etc.) con similares condiciones socio-económicas ;
- b) Identificar regiones con características similares y/o diferentes medioambientales ;
- c) Resolver la restricción de trabajar únicamente con variables a nivel municipal ;

El resultado final se expresa en términos de la cifra de mérito ó Índice de Desarrollo Sustentable, que es la calificación final obtenida en cada área de estudio y en la que están reflejados tanto aspectos objetivos como subjetivos de la valoración.

ANEXO B¹

INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD

1. INDICADORES ECONÓMICOS

La sustentabilidad requiere de un equilibrio dinámico entre todas las formas de capital, en donde se genere un crecimiento económico, como medio para alcanzar un nivel de bienestar "adecuado" con el mínimo impacto hacia el medio ambiente y los recursos naturales.

El comportamiento de los agentes económicos se encuentra estrechamente relacionado con lo que sucede en el entorno natural, de manera que con la interpretación de los instrumentos macroeconómicos es posible conocer los beneficios determinados por el uso de ciertos recursos, la distribución espacial de las actividades económicas y sociales, los incentivos para invertir y reinvertir en las actividades productivas, las ventajas comparativas y absolutas respecto al comercio internacional, la equidad a nivel nacional, y la eficacia de las políticas económica y ambiental. Por lo tanto, en esta sección, se han incluido los indicadores más importantes que permiten identificar las relaciones entre el sistema económico con el social y el natural.

1.A PIB Per cápita

El carácter esencial de la industrialización ha sido un aumento sostenido de la tasa de crecimiento del producto real y del producto per cápita. Sin embargo, en los últimos 30 años de crecimiento mundial, el ingreso se ha distribuido muy desigualmente pues de los 23 billones de dólares del PIB mundial de 1993, 18 billones corresponden a los países industrializados y sólo 5 billones a los países en desarrollo, aunque éstos tienen casi un 80% de la población mundial. (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Informe de Desarrollo Humano, 1996).

¹ Véase: 1) Correa, Adriana, Proyecto de Ordenamiento Ecológico del Territorio para la Cuenca Baja del Río Coatzacoalcos: Fase de Diagnóstico. México, IMP, 1997. 2) World Resource Institute, Recursos Humanos, New York 1992., 3) INEGI, Niveles de Bienestar en México, México 1993., 4) INEGI, Sistemas de cuentas económicas y ecológicas de México, México 1997., 5) Hassen Sautter, Introducción a la Teoría del Desarrollo, Buenos Aires 1977., 6) PNUD, Informe sobre desarrollo humano, España 1996.

Creer es equivalente a aumentar el producto social de una comunidad, (Hassen Sautter, 1977); ya sea con una mayor cantidad de recursos producidos o al generar una mayor producción por cada unidad de recursos utilizados. Pero en el contexto del desarrollo sustentable, el crecimiento económico no es un fin en sí mismo, sino que es un medio para lograr una meta: aumentar las opciones entre los individuos y las familias por medio de una productividad que tenga origen en un aprovechamiento sustentable. Esto significa "la utilización de los recursos naturales en forma que se respete la integridad funcional y las capacidades de carga de los ecosistemas de los que forman parte dichos recursos, por periodos indefinidos". (Art. 3º Fracción III, LEGEPA² 1997).

El ingreso per cápita depende de las cantidades de trabajo, capital y recursos naturales que los individuos y las familias ofrecen y de la tasa de salarios, de interés, de los dividendos y rentas que ellos reciben. El recurso que cada individuo tiene en idénticas cantidades es el tiempo. A pesar del precio en el cual cada persona puede vender su tiempo, la tasa de salario depende del producto marginal individual y a su vez el producto marginal vigente depende parcial o naturalmente de la habilidad, suerte u oportunidad y cantidad de capital humano que el individuo haya formado. Pero sin duda alguna la inequitatividad en la distribución del ingreso en todos los factores de la producción es un hecho. La distribución del ingreso se percibe mejor si la población se divide en estratos que contienen desde el 20% de familias pobres hasta el 20% de familias más ricas. Mientras que el ingreso medio per cápita se calcula por el cociente del PIB mundial entre la población mundial. Así pues el ingreso medio mundial para 1993 es de 5711 dólares.

I _{PIB} = Indicador de Producto Interno Bruto Per cápita	
VARIABLE	FÓRMULA PARA EVALUAR
PIB = Producto Interno per cápita PIB _{min} = Producto interno per cápita mínimo a nivel mundial PIB _{max} = Producto interno per cápita máximo a nivel mundial	$I_{PIB} = \begin{cases} 0, & \text{si } PB \leq PB_{min} \\ \frac{PB - PB_{min}}{PB_{max} - PB_{min}}, & \text{si } PB_{min} < PB < PB_{max} \\ 1, & \text{si } PB \geq PB_{max} \end{cases}$

² Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente

1.B Activos Económicos y Ambientales no producidos

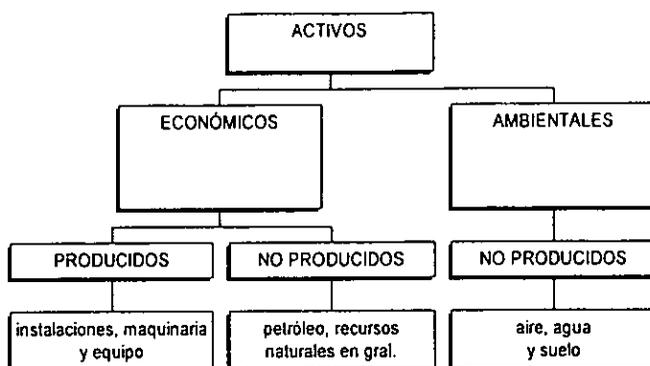
El medio ambiente ha sostenido a los seres vivos y las actividades humanas, sin embargo las condiciones de capacidad de carga, que la naturaleza otorga, se han rebasado a causa de un progreso económico retroalimentado por procesos productivos, cuya demanda no converge con las cantidades relativamente fijas en la disponibilidad de los recursos naturales. La cuestión está en que los recursos naturales no han adquirido un valor, de acuerdo con las condiciones del medio ambiente necesarias para que sigan perdurando.

El precio de los recursos naturales empleados como materia prima en el sistema productivo, por lo menos, ha sido determinado por el sistema de mercado. Pero cuando el medio ambiente funciona como receptor de residuos y desechos de toda clase, carece de precio. Por todo ello, el medio ambiente tiene ciertamente un valor intrínseco incluso desde una vertiente exclusivamente económica y que debe de analizarse con el resto de los indicadores económicos. Ante esta situación el INEGI(1994) ha desarrollado un enfoque mediante un conjunto de cuentas en unidades físicas y monetarias, que incorpora a la contabilidad nacional sin dislocar el núcleo central de ésta. Con este trabajo se vinculan aspectos ecológicos y económicos, mediante ajustes derivados de cambios en los recursos naturales y el medio ambiente, como consecuencia de afectaciones en la calidad y cantidad de los mismos.

La incorporación de los recursos naturales y el medio ambiente se inserta en los balances de los activos ya sea, por que incrementan o disminuyen la capacidad del crecimiento actual y futuro alterando su calidad y que finalmente repercuten en la economía. Por lo anterior, dejan de ser bienes libres y de oferta ilimitada para adquirir las categorías de bienes escasos. De manera que reciben un costo por agotamiento y degradación para ser integrados a los demás flujos monetarios del sistema de cuentas.

En el balance de activos los recursos naturales y el medio ambiente tienen la categoría de activos no producidos como se puede ver en la gráfica No. 1.

Clasificación de los activos



Gráfica No. 1. Clasificación de los activos (INEGI, 1996)

Los recursos son susceptibles de ser contabilizados cuando se conoce su disponibilidad total como activos. Por tal motivo, en este trabajo se emplea "El método de la Renta Neta" (INEGI;1996) que asigna un valor al recurso natural que es igual a la diferencia entre el ingreso que se genera por su utilización (valor de mercado), menos los gastos en los que se incurre para explotarlo a lo largo de su vida útil; es decir se calcula el valor presente de los ingresos netos esperados. El resultado de su aplicación se interpreta como el gasto que se requiere para mantener el recurso natural en condiciones tales que continúe generando ingresos. Pero en el caso de el aire y el agua superficial no se puede acotar la disponibilidad total de activos, por lo que se calculan los costos por degradación que se refiere al monto monetario requerido para evitar y/o disminuir su contaminación. Estas metodologías se utilizan para el caso de estudio, en el que se contabiliza el agotamiento de hidrocarburos, explotación de madera, sobreexplotación, agua subterránea, erosión de suelo, generación de residuos sólidos y contaminación del aire.

I _{ANP} = Indicador de Activos Económicos y Ambientales no producidos	
VARIABLES	FÓRMULA PARA EVALUAR
ANP = Total de Activos Económicos y ambientales no producidos $ANP = \sum_{i=1}^n ANP_i$ $i = HC, AS, CA, AIRE, E, RG.$ $R_{PIB} = (ANP/PIB)(100)$	$I_{ANP_i} = \begin{cases} 0, & \text{si } R_{HB} \geq R_{HB_{max}} \\ \frac{R_{HB_{max}} - R_{HB}}{R_{HB_{max}}}, & \\ \text{si: } R_{HB} < R_{HB_{max}} \end{cases}$

HC: Hidrocarburos, AS: Agua subterránea, CA: Contaminación del aire, E: Erosión, RG: Generación de residuos sólidos

I.D Gastos asignados al medio ambiente

Los esfuerzos por reducir las presiones de las actividades humanas incluyen un largo número de acciones individuales e instrumentos de políticas, uno de estos se refiere al abatimiento y control mediante la prevención o reducción de contaminantes que tienen un efecto negativo en el ambiente.

Los indicadores que presentan los gastos destinados con la finalidad de abatimiento de contaminantes y control de los mismos, son por lo general indicadores de los esfuerzos financieros, que provienen tanto del sector público como del sector privado, dirigidos a controlar y reducir las presiones ambientales de los contaminantes. Estos gastos son destinados a los recursos aire, agua y basura. En el largo plazo, la cobertura de gastos deberá expandirse para incluir gastos de preservación de recursos naturales. Un vínculo más cercano entre información monetaria y fiscal ayudará a trazar un análisis costo efectividad en el que se refleje la integración de los gastos y las respuestas en el medio ambiente.

La restauración y el restablecimiento del medio ambiente requieren de un fuerte financiamiento, sin embargo, el proceso evolutivo de asignar gastos al medio ambiente lleva aún todavía, un ritmo más lento en comparación con la velocidad de alteración en los ecosistemas y explotación en los recursos naturales con la que se está perjudicando.

I _{GPA} = Indicador de Gastos Protección Ambiental	
VARIABLE	FÓRMULA
GPA = Gastos en Protección Ambiental PIB = Producto Interno Bruto $R_{PA} = GPA/PIB$	$I_{GPA} = \begin{cases} R_{PA}, & \text{si: } R_{PA} \leq R_{ONU} \\ 1, & \text{si: } R_{PA} > R_{ONU} \end{cases}$

1.E Tasa de empleo

La forma y los medios que el hombre utiliza para satisfacer sus necesidades están íntimamente ligados al trabajo y organización social del mismo. Por ello la composición de la fuerza de trabajo mantiene una estrecha relación con el desarrollo económico de un país.

En la perspectiva del desarrollo sustentable, la generación de empleos constituye uno de los pilares para mejorar la calidad de vida y reducir la pobreza. El aumento en el empleo debe darse por la aceleración en el crecimiento del empleo rural que, simultáneamente, eleva los ingresos de los habitantes, resuelve el movimiento migratorio, mejora la posición de la mujer y disminuye las presiones en materia de recursos y ambiente. Por otro lado, el establecer políticas de precios que estimulen la producción agrícola, coadyuva al crecimiento de empleos, así como, a la descentralización de los programas gubernamentales, cuya aplicación depende de prioridades regionales y locales con una estrategia adecuada en creación de incentivos económicos y estabilidad política, para atraer flujos de capital oficial y privado, que contribuirían a aumentar la oportunidad de empleos.

Para entender en una justa dimensión el comportamiento y las peculiaridades del empleo en el país, es necesario partir de la población total, a fin de distinguir a los grupos de individuos que, por sus características, pueden desempeñar un trabajo, de aquéllos que no están en posibilidad de hacerlo.

Las diferencias entre ambos grupos se resumen fundamentalmente, en la posesión o carencia de los siguientes atributos: edad suficiente para desarrollar un trabajo y que en México -para fines de estadística laboral- se ha fijado en 12 años o más; aptitud física y mental requerida para trabajar y disponibilidad de tiempo para hacerlo.

La población económicamente activa se refiere a todas las personas de uno u otro sexo, mayores de 12 años, que aportan trabajo para la producción de bienes y servicios económicos, es decir, realizan algún tipo de actividad económica (población ocupada) o que buscan activamente hacerlo (población desocupada abierta) en los dos meses previos a la semana de referencia.

I _{TE} = Indicador de Tasa de Empleo	
VARIABLES	FÓRMULA PARA EVALUAR
PO = Población Ocupada PEA = Población Económicamente Activa	$I_{TE} = \frac{PO}{PEA}$

1.E Intensidad energética

La producción y uso de la energía son vitales para la economía y el medio ambiente de todos los países. Por lo que la combinación de fuentes de energía acarrea profundas consecuencias para la calidad ambiental; por ejemplo, la quema de combustibles fósiles contribuyen al calentamiento global.

Durante las dos últimas décadas, la producción mundial de energía ha crecido en aproximadamente 50%, los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) proporcionaron en conjunto 90% de dicha producción. Los países industrializados han utilizado alrededor del triple de energía comercial y cerca de diez veces más de energía per cápita que las naciones en vías de desarrollo. Sin embargo, tales

estadísticas no incluyen a los combustibles tradicionales, como la leña y el estiércol que continúan siendo fuentes importantes de energía en los países en desarrollo y la fuente principal en las naciones africanas importadoras de petróleo, energía y materiales.

En los países en vías de desarrollo, el consumo total de energía comercial casi se ha triplicado desde 1970; en estas naciones, el carbón y el petróleo han constituido las principales nuevas fuentes de energía. Empero en las aldeas del mundo en desarrollo, las poblaciones en aumento se ven precisadas a continuar dependiendo en alto grado de los bosques y de la vegetación como fuentes de combustibles.

La intensidad energética está referida para un país considerado aisladamente, donde la relación que en un momento dado existe entre el consumo total de energía primaria en el año, evaluada generalmente en unidades de energía, y el PIB evaluado en moneda constante, permiten dar una idea del papel de la energía en la actividad económica (al cociente entre tales variables se le ha llamado intensidad energética del PIB, contenido energético del PIB o coeficiente de energía). Sin embargo, se constata que tal cociente es a la vez muy variable tanto en tiempo para un país particular como en el espacio en un momento dado si consideramos varios países.

En general, puede afirmarse que ambas variaciones de la intensidad energética están fuertemente determinadas por dos tipos de factores:

- Factores estructurales, que conciernen a la estructura de la economía nacional, es decir, a la naturaleza o participación porcentual de las actividades económicas que componen el PIB. Esto es así por que el consumo de energía por unidad de productor es muy diverso según el sector de la economía de que se trate. (Agricultura, industria, transporte, servicios, etc.).
- Factores tecnológicos, que se refieren al tipo de tecnología consumidora de energía y a la forma en que es utilizada la energía por cada industria, sector económico o usuario personal.

El indicador de intensidad energética informa implícitamente el grado de aprovechamiento sustentable dentro del proceso productivo. Este dato revela también de manera indirecta la afectación que se tiene en el ambiente, ya que un consumo mayor de energía significa el aumento en el desprendimiento de contaminantes y en recursos naturales.

I_{IE} = Indicador de Intensidad Energética	
VARIABLES	FÓRMULA PARA EVALUAR
IE = consumo de energía/PIB	$I_{IE} = \begin{cases} 0, & \text{si: } IE \geq IE_{mala} \\ \frac{IE_{mala} - IE}{IE_{mala} - IE_{op}}, & \text{si: } IE_{op} \leq IE \leq IE_{mala} \\ 1, & \text{si: } IE \leq IE_{op} \end{cases}$

2. INDICADORES SOCIALES

A nivel general se considera que la condición más importante para un bienestar "adecuado" radica en ingresos per cápita razonables. Sin embargo, la magnitud del ingreso no permite responder unívocamente a la pregunta acerca de la medida en que se ha logrado un bienestar razonable y con él, la meta del desarrollo. Esto es por que el ingreso per cápita no siempre está suficientemente relacionado con los indicadores sociales que son considerados como medidas del bienestar de los habitantes y del nivel de desarrollo de un país. La opción de describir la sustentabilidad mediante una serie de indicadores sociales, entre otros, ha sido para FÓRMULAR apreciaciones más significativas sobre la dimensión y la calidad de desarrollo cuya información ponga en evidencia la situación de escasez o estrechez concreta en las áreas de estudio. Un escenario con indicadores sociales graves se traduce en un uso no apropiado de los recursos naturales y por consiguiente en efectos que alteran los ecosistemas.

El enfoque del desarrollo sustentable quiere decir progreso significativo hacia el logro de poblaciones estables con una utilización máxima de los recursos humanos para mejorar la educación y los servicios de salud, así como para combatir el hambre con modelos de consumo que respondan a un aprovechamiento sustentable en todo el sistema natural.

A continuación se mencionan los indicadores seleccionados de carácter social, que nos permitirán percibir el grado de sustentabilidad en una determinada zona de estudio.

2.A Educación

Las mejoras de oportunidades educativas no sólo son importantes en sí mismas, sino que también desempeñan un papel fundamental en el logro del desarrollo económico y la protección al ambiente. Sin embargo, los recursos destinados a inversión en los rubros de educación han declinado. La prioridad más urgente es ofrecer servicios básicos de educación a la mayoría empobrecida. La orientación del desarrollo sustentable necesita una población que cuente mínimamente, con los conocimientos básicos, pero que sobretodo, sus habitantes tengan conocimiento de la naturaleza que les rodea, en cuanto a su capacidad de carga, protección y remediación.

La concientización de proteger el ambiente se forma por medio del factor educación, mientras se continúe con población analfabeta y carente de medios para tener acceso a ésta, no se podrá llevar a cabo una actitud sustentadora. Los indicadores que informan sobre el aspecto de educación son la tasa de alfabetización y el nivel escolar.

2.A.1 Alfabetización

Las tasas de mujeres y hombres adultos alfabetizados aluden al porcentaje de personas de más de 15 años de edad que saben leer y escribir. La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura recomienda definir como analfabeta a la persona que no puede leer con comprensión ni escribir un enunciado corto o sencillo en su vida cotidiana. Si bien este concepto se acepta ampliamente, su interpretación y aplicación varía ya que no incluye a los habitantes que, aunque estén familiarizados con las bases de la lectura y escritura carecen de las destrezas necesarias para desenvolverse en un nivel razonable en su propia sociedad.

2.A.2 Nivel Escolar

El sistema educacional, particularmente a nivel de enseñanza básica, es un medio importante para modificar los valores y la conducta de la sociedad con respecto a la riqueza natural que les rodea. Así pues, para conocer los datos que indican sobre este factor social, se define la tasa de matriculación.

La matrícula registra los nombres de las personas que se han inscrito a los niveles de educación primaria, secundaria y terciaria. La enseñanza primaria es la educación de primer nivel según la clasificación Internacional Uniforme de la Educación (CIUE), cuya principal función consiste en impartir conocimientos básicos como los proporcionados en escuelas elementales y primarias. La enseñanza secundaria es la educación que incluye a los niveles 2 y 3 según la CIUE, después de haber recibido previamente cuatro años de instrucción como mínimo, en el primer nivel, e instrucción general o especializada o ambas cosas, como ocurre en escuelas

secundarias y secundarias superiores, escuelas normales de ese nivel para formación de docentes y escuelas de enseñanza de oficios o técnicas.

La enseñanza terciaria es la educación con los niveles 5, 6 y 7, según la CIUE; como la ofrecida en universidades, escuelas normales superiores o instituciones de formación profesional de nivel superior, que exigen como condición mínima de admisión haber egresado de las escuelas de segundo nivel o aprobar el dominio de conocimientos de un nivel equivalente. (PNUD; 1996)

I_A = Indicador de Alfabetización I_{NE} = Indicador de Nivel Escolar	
VARIABLES	FÓRMULA PARA EVALUAR
A = alfabetización PAN = Población Analfabeta P ₁₅ = Población mayor de 15 años	$I_A = 1 - \frac{PAN}{P_{15}}$
M = Matrícula en prim., sec. y bach. P ₆ = Población Mayor a 6 Años MC = $(M / P_6) \times 100$	$I_{NE} = \begin{cases} 0, & \text{si: } MC < MC_{\min} \\ \frac{MC - MC_{\min}}{100 - MC_{\min}}, & \text{si: } MC \geq MC_{\min} \end{cases}$

2.B Salud

En términos de salud, la población pobre tiene riesgos mayores de enfermarse y menor acceso a los servicios de atención a la salud; la accesibilidad se refleja en la demanda y utilización de los servicios. No existe una medida directa de la salud, el bienestar y el potencial productivo generales de una población. Ahora bien, a pesar de que las cifras de mortalidad sólo miden el resultado extremo de la mala salud -la muerte-, indican también la extensión de los problemas de salud en un conjunto de habitantes. Sin duda los problemas de salud diseminados pueden afectar adversamente

la productividad y el potencial del desarrollo de un país. En la esfera del desarrollo sustentable, la proporción de personas con cargas similares de enfermedad que demandan servicios de salud debe ser semejante para todos los estratos socio-económicos, con igual disponibilidad y acceso a los servicios preventivos, curativos y de rehabilitación. Asimismo es necesario integrar estrategias que eleven la calidad de vida para combatir la pobreza, la cual es causante de mayores riesgos de salud y una menor probabilidad de atención a su habitantes.

El nivel general del ingreso de una sociedad no es una información que revele las probabilidades de vida de sus miembros más jóvenes, según las medidas ofrecidas por las tasas de mortalidad de niños. Por ejemplo en el caso de Sri Lanka y de Brasil; con un promedio anual de ingreso per cápita de tan sólo 430 dólares, Sri Lanka posee una de las tasas más baja de mortalidad de niños en todo el mundo en vías de desarrollo (36 por cada 1000). Brasil con un ingreso promedio anual de ingreso per cápita cinco veces más alto que el de Sri Lanka, 2250 dólares tiene una tasa del doble de mortalidad de niños 77 por cada 1000. (Recursos Mundiales, 1993).

Se considera que las tasas de mortalidad, tanto infantil como de niños menores de 5 años, reflejan los niveles de nutrición (en especial los prevalecientes entre mujeres embarazadas, los infantes y los niños), de educación (sobre todo el alfabetismo femenino), de estatus generales socioeconómicos y de acceso a los servicios de salud. De ambas medidas se estima que la mortalidad de niños menores de 5 años es un mejor indicador técnico, por que es más eficiente la recopilación de datos y constituye uno de los pocos índices sociales para los cuales se dispone de series de largo plazo.

En los países en vías de desarrollo casi tres cuartas partes de los presupuestos en materia de salud se destinan a los hospitales urbanos, los cuales ofrecen tratamientos curativos costosos y occidentalizados a la minoría de la población. El Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia, calcula que la reducción de esa cantidad a 45 o 50% del desembolso gubernamental total en salud proporcionaría fondos suficientes para capacitar a un millón de trabajadores de la salud, quienes son necesarios en la prestación de servicios de salud a los 1,000 millones de habitantes más pobres del mundo en desarrollo, (Recursos Mundiales 1992-1993). Es decir, se necesitan trabajadores de la salud capacitados, de preferencia arraigados en la comunidad y que tengan la oportunidad de continuar tanto su educación como la prestación de la asistencia para poder manejar la mayoría de las situaciones que imperen. El acceso a tales trabajadores es esencial en el logro de una reducción importante en el número de defunciones de niños. Entonces, un dato relevante no precisamente es el gasto asignado al sector salud, sino el porcentaje de presupuesto asignado al sector salud que se dirige a los prestadores del servicio y el número de ellos por habitante.

Por consiguiente los indicadores que se consideran para el factor salud son por un lado la mortalidad infantil y el número de habitantes por médico y por el otro el acceso al sector salud que se define como el porcentaje de la población que puede recabar

servicios locales de salud, con un tiempo máximo de una hora de marcha a pie o de desplazamiento en medios de transportes locales.

I_{SAM} = Indicador de Salud: Atención Médica I_{MI} = Indicador de Mortalidad Infantil	
VARIABLES	FÓRMULA PARA EVALUAR
PAM= Población con atención médica PT= Población total	$I_{SAM} = \frac{PAM}{PT}$
MI = Mortalidad Infantil por cada 1000 niños	$I_{MI} = \begin{cases} 0, & \text{si: } MI > MI_{max} \\ \frac{MI - MI_{min}}{MI_{max} - MI_{min}}, & \text{si: } MI_{min} \leq MI \leq MI_{max} \\ 1, & \text{si: } MI < MI_{min} \end{cases}$

2.C Esperanza de vida

El desarrollo significa vivir en condiciones saludables, por lo tanto, una mayor esperanza de vida, refleja un país con niveles de bienestar dignos. La esperanza de vida al nacer es el número de años que viviría un recién nacido si las pautas de mortalidad imperantes en el momento de su nacimiento siguieran siendo las mismas a lo largo de toda su vida .

El indicador de esperanza de vida se basa en medir la longevidad en función de la esperanza de vida al nacer.

Ahora bien, aunque la esperanza de vida constituye un avance notable para un desarrollo humano, crea al mismo tiempo los problemas de aumento en necesidades

de servicios de salud y la generación de ingresos suficientes para sufragar una proporción en aumentos de jubilados. Pero, en un desarrollo sustentable se debe de reconocer que las personas mayores todavía pueden hacer una gran contribución a la sociedad y aprovechar mejor su experiencia y sus conocimientos, sobretodo para vivir en armonía con el sistema natural.

I_{EV} = Indicador de Esperanza de Vida	
VARIABLES	FÓRMULA PARA EVALUAR
<p>EV = Esperanza de vida de entre 63.0 - 79.6 años</p>	$I_{EV} = \begin{cases} 0, & \text{si: } EV < EV_{\min} \\ \frac{(EV - EV_{\min})}{(EV_{\max} - EV_{\min})}, & \text{si: } EV_{\min} \leq EV \leq EV_{\max} \\ 1, & \text{si: } EV > EV_{\max} \end{cases}$

2.D Nutrición

Cuando menos dos terceras partes de las muertes que ocurren cada año en nuestro planeta son atribuibles a la desnutrición. La situación nutricional en los países subdesarrollados está dada como consecuencia inevitable de la organización social, política y económica existente en los países. En países subdesarrollados la actual situación nutricional se debe a una polarización en el consumo de alimentos por las tendencias opuestas en el consumo de los mismos. Por un lado, la dieta monótona insuficiente en calidad y cantidad que se presenta principalmente en la población rural donde se realiza una gran actividad física que implica gasto calórico que rebasa el aporte consumido. Por el otro lado, una población con dieta exagerada en cantidad y no necesariamente adecuada en términos de calidad nutricional, esta situación es para las zonas urbanas donde la actividad física de la población tiende a ser sedentaria por lo que sobrepasa el ingesta calórica. Ambas situaciones desencadenan problemas de salud.

Dentro del contexto del desarrollo sustentable, la alimentación tiene que tener prioridad en cuanto a calidad y cantidad, donde la población tenga una accesibilidad igualitaria a los alimentos a través de una distribución social homogénea. Para ello se partiría de considerar a los alimentos como bienes de consumo y no de cambio para lograr una accesibilidad simétrica, a través del control de la dieta excesiva por precios diferenciales y una política de dieta mínima por subsidios directos. Así como también a través del control de la especulación alimentaria, la organización de productores y consumidores y principalmente de una educación sobre hábitos y prácticas adecuadas de educación alimentaria sobre la dieta idónea.

El alcance de la autosuficiencia alimentaria es menester dentro de una política de desarrollo sustentable, pero no sobreexplotando la capacidad de los suelos, sino a base del estímulo financiero y de la promoción que requieren la gran diversidad de plantas comestibles y nutritivas que no son conocidas en el mercado. Esta actitud conlleva a un aprovechamiento sustentable de los recursos.

La oferta calórica per cápita diaria, se refiere al equivalente en calorías del suministro neto diario de alimentos en un país, dividido por la población. Cabe señalar que el metabolismo humano demanda un mínimo de 2200cal/día por persona adulta, aunque los cálculos sobre los requerimientos diarios de calorías varían de un país a otro, de acuerdo con el nivel de edades y el nivel estimado de la actividad de la población. En lo posible, las necesidades, en particular energéticas, deben calcularse empleando datos nacionales sobre el peso corporal y niveles locales de actividad.

El indicador promedio per cápita de calorías disponibles como porcentaje de necesidad, hace referencia a las calorías derivadas de todas las fuentes alimentarias, la producción nacional, el comercio internacional, y el agotamiento de existencias.

I _{CC} = Indicador de consumo de calorías.	
VARIABLES	FÓRMULA PARA EVALUAR
CC = consumo de Calorías diarias per cápita	$I_{CC} = \begin{cases} \frac{CC}{CC_s}, & \text{si: } CC \leq CC_s \\ 1, & \text{si: } CC > CC_s \end{cases}$

2.E Límite de Pobreza

Los factores de problemas de empleo precario, desempleo, distribución de ingreso, condiciones salariales, de alimentación, salud, seguridad social, educación social y vivienda confluyen con el problema de la pobreza. El desarrollo sustentable se consolida cuando las personas gozan de una larga vida, disfrutan de una buena salud, establecen una variedad de relaciones, redes e interacciones sociales, tienen oportunidad de adquirir conocimientos, y participan activamente en la vida cívica.

El límite de pobreza está basado en el concepto de límite de pobreza "absoluta" expresado en términos monetarios: nivel de ingreso o de gasto por debajo del cual no puede costearse una dieta mínima suficiente para la nutrición. Las estimaciones de pobreza se basan en datos reales sobre el presupuesto o el ingreso de los hogares, o una encuesta sobre gastos de los hogares. (PNUD, 1996)

La pobreza es un ingreso medido por un índice calculado por "The Social Security Administration" en 1964. El índice se refiere a los requerimientos mínimos de consumo de acuerdo con la talla y composición de las personas. En 1989, el nivel de pobreza para dos personas de familia fue de \$8076 dólares anuales; para cuatro personas de familia \$12,675 dolares anuales.

En el caso de México, el indicador más propicio para establecer el límite de pobreza fue el precio de la canasta obrera diaria indispensable, cuyo precio para el 1° de Enero de 1997 era de \$82.93 y para adquirirla hacen falta \$56.49 adicionales ya que el salario mínimo del 1° de Enero de 1997 es de \$26.44 diarios. Los trabajadores de escasos recursos económicos consideran que para compensar el crecimiento de los precios y el deterioro de su nivel de vida, y cubrir sus necesidades básicas era urgente un ingreso diario de alrededor de 3 a 5 salarios mínimos de \$79.32 a \$132.20 diarios.

Para la canasta obrera indispensable su cotización es mensual y es el resultado de la ponderación de 35 artículos de mayor consumo, los cuales representan el consumo diario de una familia trabajadora de salario mínimo. La familia obrera es de cinco personas (dos niños, un joven y dos adultos) y el consumo es por día.

I _p = Indicador de Pobreza	
VARIABLES	FÓRMULA PARA EVALUAR
PP = Población con ingresos menores a 3 Salarios mínimos IPP = Promedio de ingreso de PP PEA = Población económicamente activa	$I_{PP} = \begin{cases} \left[1 - \frac{PP}{PEA} \right] \frac{IPP}{3S} & \text{si } PP > 0 \\ 1 & \text{si } PP = 0 \end{cases}$

2.F Disponibilidad de agua y drenaje

El acceso universal al agua potable inocua y la eliminación sanitaria de la materia fecal constituyen dos de los principales objetivos internacionales orientados hacia el mejoramiento de la salud y el bienestar de los niños. Ambas metas se establecieron durante el Decenio Internacional de Abastecimiento de Agua Potable y Saneamiento, verificado en la década de 1980 y se volvieron a sancionar en la Cumbre Mundial a Favor de la Infancia, celebrada en 1990. Hacia 1990, 81% de las áreas urbanas y 58% de las rurales tenían acceso al suministro de agua inocua; 71% de las áreas urbanas y 48% de las rurales tenían acceso al saneamiento a nivel mundial. (Recursos Mundiales 1993)

En 1990, una nueva inspección de 144 estudios de nivel comunitario concluyó que cuando el agua y el saneamiento son puestos a disposición de los habitantes, se pueden ejercer impactos substanciales en materia de salud. En particular la reexaminación halló que el agua y el saneamiento se asociaban a una reducción de la media de 55% en la mortalidad infantil. Asimismo, tales estudios comunitario sugieren que, sobre todo en el caso de la diarrea, las mejoras en la eliminación de materia fecal y en la cantidad de agua conllevan impactos de salud aún más significativos que las mejoras en la calidad de agua.

El efecto acumulativo de la reducción de numerosas enfermedades relacionadas con el agua y el saneamiento, pueden ser mucho más importante que lo señalado por la medida de cualquiera de estas afecciones; por ejemplo, la mortalidad infantil podría disminuir más que la ocurrencia de diarrea, además las mejoras en materia de agua y saneamiento podrían reducir aún más la severidad de la dolencia, que la ocurrencia de ésta.

Del mismo modo, existen beneficios indirectos derivados de los mejoramientos iniciales aunque difíciles de cuantificar, tales beneficios son significativos. Un desarrollo sustentable exige inversiones bien planeadas en agua y saneamiento que produzcan ganancias socioeconómicas, educativas y nutricionales. Además, en virtud de que disminuyen las enfermedades, mejoran la productividad y la capacidad de aprendizaje, lo que da por resultado un aumento del bienestar general. Las medidas adoptadas en materia de agua y saneamiento repercuten para disminuir los daños al medio ambiente.

<p>I_{DD} = Indicador de Disponibilidad de Drenaje</p> <p>I_{DAP} = Indicador de Disponibilidad de Agua Potable</p>	
VARIABLES	FÓRMULA PARA EVALUAR
<p>D = Población con disponibilidad de drenaje</p> <p>PT = Población total</p> <p>DD = disponibilidad de drenaje</p> <p>$DD = D/PT$</p>	$I_{DD} = \begin{cases} 0, & \text{si: } DD \leq DD_{min} \\ \frac{DD - DD_{min}}{1 - DD_{min}}, & \text{si: } DD_{min} < DD \end{cases}$
<p>AP = Población con disponibilidad de agua potable</p> <p>PT = Población total</p> <p>DAP = Disponibilidad de agua potable</p> <p>$DAP = AP/PT$</p>	$I_{DAP} = \begin{cases} 0, & \text{si: } DAP \leq DAP_{min} \\ \frac{DAP - DAP_{min}}{1 - DAP_{min}}, & \text{si: } DAP_{min} < DAP \end{cases}$

Para clasificar la información referente, se definen las áreas urbanas con acceso a saneamiento como las poblaciones urbanas servidas por conexiones a alcantarillas públicas o sistemas caseros tales como excusados de pozo, letrinas que accionan agua, cámaras sépticas, retretes de comunidades y otros servicios similares. Se definió a las poblaciones rurales con acceso, como aquéllas que cuentan con una eliminación adecuada, con excusados de pozo, letrinas que accionan agua y otros sistemas parecidos.

3. INDICADORES NATURALES

El desarrollo integral y el manejo sustentable de los recursos naturales es uno de los desafíos para preservar el medio ambiente. El proceso evolutivo hacia un equilibrio dinámico entre el patrimonio o capital natural y las transformaciones productivas sólo se puede dar, mientras exista una planeación fundamentada en el conocimiento de la interacción de los recursos naturales con los ecosistemas y sus cantidades. La carencia de dicho conocimiento significa actuar en discordancia con los ritmos con

que la naturaleza crea los recursos aparte de que no se procura el abastecimiento para las generaciones futuras. Por consiguiente en esta temática se describen los indicadores naturales más representativos que muestran el grado de alcance hacia la sustentabilidad del área en estudio. Cabe mencionar que la mayoría de los indicadores naturales no son factibles de ser cuantificados con precisión ya sea por cuestiones de difícil acceso, por ser cantidades en ocasiones infinitas o por el constante cambio de los comportamientos inevitables de la naturaleza. Por lo general, se emplean métodos indirectos para poder commensurar. No obstante la existencia de estas barreras, en dicho trabajo se incluye y se describe la importancia que contienen para llevar a cabo un análisis de sustentabilidad. Posteriormente, se realiza la FÓRMULACIÓN; aunque en ocasiones, por las razones antes mencionadas, basados en datos subjetivos. De esta forma al evaluar cada indicador e incorporarlo al conjunto de indicadores sociales y económicos se compone el índice de desarrollo sustentable.

3.A Uso intensivo de agua

El conocimiento en cuanto a existencia de recursos para una mejor administración y distribución es básico en la orientación de desarrollo sustentable. El agua es imprescindible para la vida, los recursos de agua potable son de mayor importancia biológica por que el agua es el elemento básico para la especie humana y los ecosistemas. El agua que se extrae es una presión para los mantos acuíferos. En las regiones áridas los recursos de agua en muchas ocasiones son limitados. Una condición necesaria para el uso sustentable de recursos de agua es que la extracción de agua no exceda los almacenamientos renovados sobre un determinado periodo.

El indicador presentado traza la intensidad del uso de recursos de agua. Este es definido como la totalidad de agua extraída dividido por el total de la disponibilidad del recurso renovable. El indicador comprende la precipitación neta en el país y el agua de afluencia en los ríos. La extracción anual como porcentaje de los recursos acuíferos alude al total de las extracciones de agua sin contar las pérdidas de las cuencas de almacenamiento por evaporación, como porcentaje de recursos hídricos de renovación interna y corrientes fluviales procedentes de corrientes de otros países.

I _{UIA} = Indicador de Uso Intensivo de Agua	
VARIABLES	FÓRMULA PARA EVALUAR
E A = Extracción anual R H = Recursos hídricos totales anuales.	$I_{UIA} = \begin{cases} 0, & \text{si: } E A \geq R H \\ 1 - \frac{E A}{R H}, & \text{si: } E A < R H \end{cases}$

3.B Tratamiento de aguas

El aprovechamiento sustentable del agua conlleva a la responsabilidad del tratamiento de las descargas, para reintegrarla en condiciones propias y así emplearla en otras actividades y al mismo tiempo mantiene el equilibrio de los ecosistemas. El desarrollo sustentable requiere de una visión completa, que en realidad prevenga la contaminación y no se continúe cambiando los contaminantes potenciales de una parte de la ecósfera a otra.

El agua pura es un recurso renovable; sin embargo, puede llegar a estar tan contaminada por las actividades humanas que ya no sea útil para muchos propósitos y sea nociva para los organismos vivos. Los orígenes y efectos de la contaminación del agua se clasifican en aguas municipales y agua industriales.

3.B.1 Municipales y domésticas

La urbanización influye mucho en la cantidad y calidad del agua debido a la escorrentía³ y a las aguas negras. Las superficies impermeables reemplazan a los suelos permeables y la vegetación, lo que origina una reducción del curso básico de los ríos, durante las temporadas secas, un incremento de la temperatura de las corrientes urbanas y una reunión de agentes contaminadores que varían desde la basura esparcida y los excrementos de mascotas, hasta tóxicos provenientes de la contaminación atmosférica.

El tratamiento inadecuado de las aguas negras de los asentamientos humanos introduce grandes cantidades de elementos nutritivos (fósforo y nitrógeno), agentes

³ Erosión producida por el agua al descender a lo largo de una pendiente más o menos pronunciada

patógenos, metales pesados y productos orgánicos sintéticos en las aguas superficiales. En los países industriales, la mayor parte de las aguas servidas⁴, que se generan en las áreas urbanas se recogen por el sistema de alcantarillas y pasan por diferentes grados de tratamientos antes de ser descargadas en ríos, lagos o aguas costeras. El tratamiento primario (físico) y secundario (biológico) de las aguas negras puede restar de 35% a 85%, respectivamente, de agentes contaminadores de dichas aguas pero elimina 30% del fósforo, 50% del nitrógeno y 70% de los compuestos más tóxicos. La construcción de plantas de tratamiento avanzado de las aguas servidas, que pueden reducir más los niveles de contaminantes específicos cuesta el doble y hacerlas funcionar el cuádruple que aquellas de tratamiento secundario. Sin un mantenimiento regular y un funcionamiento adecuado, las plantas de tratamiento primario, secundario y avanzado operarán por debajo de los estándares propuestos.

El tratamiento convencional de las aguas negras no suprime el problema de los agentes patógenos de dichas aguas. A fin de eliminar los elementos patógenos provenientes de los seres humanos, a veces se trata el agua que se descarga de las plantas de tratamientos de agua negras con cloro, el cual reacciona con los productos químicos orgánicos. El cieno⁵ producido por el tratamiento de aguas servidas puede contaminar también el agua, a menos que se le dé más tratamiento y se le incinere o se aplique adecuadamente a la tierra. (Recursos Mundiales, 1993).

La situación es peor en el mundo en desarrollo, donde más del 95% de las aguas negras urbanas se descarga en aguas superficiales sin someterse a tratamiento. Muchas ciudades de los países en vías de desarrollo carecen todavía de alcantarillado y con mayor razón de servicios de tratamiento de aguas negras. En realidad, los sistemas de saneamiento, sin tratamiento de aguas, pueden aumentar la contaminación del agua si se transfieren simplemente las aguas negras a ríos y lagos que otros utilizan como fuente de agua. En muchos países en desarrollo, las bacterias, los parásitos y virus existentes en los suministros de agua permanecen como un peligro más grave para la salud humana que los contaminantes tóxicos. (Organización de Cooperación y Desarrollo Económico; OCDE, 1996).

3.B.2 Industriales

La industria y la minería son las fuentes fundamentales de metales pesados y productos químicos orgánicos sintéticos del agua dulce. Los orígenes industriales de la contaminación con metales pesados comprenden: el polvo proveniente de la fundición y elaboración de metales; la descarga de soluciones de metales pesados utilizadas en planchar, galvanizar y limpiar químicamente metales; la utilización de metales y compuestos metálicos en pinturas, baterías y curtimientos y la lixiviación de basuras de desechos sólidos. Los metales pesados se bioacumulan en niveles más elevados de la

⁴ Aguas conectadas a una planta de tratamiento de agua.

⁵ Lodo blando

cadena alimenticia y así, plantean riesgos especiales para las personas que consumen cultivos o pescados contaminados que contienen dichos elementos.

La mayor parte de la contaminación por productos químicos orgánicos sintéticos se originan en fuentes industriales incluyendo las refinerías químicas y petroquímicas, la fabricación de productos farmacéuticos, las plantas de producción de hierro y acero, la fabricación de pasta de madera y papel y la elaboración de alimentos. Del mismo modo que los metales pesados, los compuestos orgánicos sintéticos y ciertos pesticidas, se concentran en los niveles más elevados de la cadena alimentaria; algunos provocan un incremento del riesgo de cáncer y anormalidades reproductivas en los peces, mamíferos acuáticos y seres humanos. Los costos de la contaminación del agua dulce por compuestos orgánicos sintéticos incluyen una reducción en la productividad de las pesquerías, restricción en el consumo de pescado proveniente de áreas contaminadas y alteración nociva del agua potable. (Recursos Mundiales 1993)

La industria responde en general por una parte más pequeña de la contaminación del agua dulce en los países en vías de desarrollo que en los desarrollados. Aunque plantea un problema serio en los países en desarrollo debido a que carecen con frecuencia del control de la contaminación. (OCDE, 1996)

I _{TA} = Indicador de Tratamiento de Aguas municipales e industriales	
VARIABLES	FÓRMULA PARA EVALUAR
VAT = Volumen de agua tratada de la Utilizada en la región. VAU = Volumen de agua utilizada	$I_{TA} = \frac{VAT}{VAU}$

3.C Calidad de agua

El deterioro de la calidad del agua de los diferentes sistemas hidrológicos continentales obedece básicamente a dos mecanismos. La sobreexplotación que reduce la capacidad depuradora y de disolución de los sistemas acuáticos y el vertimiento de aguas residuales de naturaleza diversa. Las grandes fuentes de contaminación de los sistemas acuáticos incluyen : aguas residuales urbanas, aguas residuales industriales y aguas de retorno agrícola. Por lo anterior es necesaria la organización de esfuerzos para sustentar la Tierra mediante el detenimiento de la sobrecarga en sus procesos naturales de limpieza y renovación, por medio de la reducción de aportes a la contaminación del agua.

El uso del agua en los niveles actuales de demanda, manifiesta efectos secundarios desfavorables que afectan la calidad, el ambiente y la salud humana. Las aguas para sus diferentes usos, así como la de las descargas, están reguladas según criterios de calidad. Para ello, la ley Federal de Aguas Nacionales y el Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales especifican los términos en que deben ser empleadas y retomadas. Las Normas Oficiales Mexicanas establecen los parámetros de calidad a que deben sujetarse tanto las aguas antes de consumo como previas a su disposición final. La variabilidad en la interpretación sobre los criterios de calidad del agua ha conducido a la FÓRMULA de un indicador de calidad del agua (ICA) que ha permitido agrupar los parámetros contaminantes de mayor representatividad.

I_{CA} = Indicador de Calidad de Agua	
VARIABLE	FÓRMULA PARA EVALUAR
I_{CA} = Índice de calidad de agua	$I_{CA} = \begin{cases} 0, & \text{si: } I_{CA} \leq I_{CA}_{min} \\ \frac{I_{CA} - I_{CA}_{min}}{I_{CA}_{op} - I_{CA}_{min}}, & \\ \text{si: } I_{CA}_{min} < I_{CA} < I_{CA}_{op} \\ 1, & \text{si: } I_{CA} \geq I_{CA}_{op} \end{cases}$

3.D Calidad de aire

El desarrollo sustentable enfatiza la prevención de la contaminación más que el control de la misma. Por tal motivo, la temática de la calidad de aire está muy relacionada con los tipos de energéticos usados y el empleo de tecnologías apropiadas a través de mejoramiento de eficiencias energéticas, la intensificación del reciclado y el reuso y la reducción de la producción de desechos.

Vista desde un objeto en órbita, la atmósfera de la Tierra es una capa de aire delgada y aparentemente frágil que protege al planeta contra la severidad del espacio. La atmósfera defiende de los rayos más dañinos del Sol, proporciona un clima moderado y estable y renueva y limpia por sí misma con objeto de suministrar aire puro para respirar. Sin embargo, el problema persistente y en aumento de la contaminación del aire ilustra el grado en el cual las actividades y prácticas humanas han trastornado tales procesos naturales. Asimismo, el aceleramiento de la degradación del ozono estratosférico protector de la Tierra, demuestra que la contaminación del aire ejerce efectos globales.

El efecto más amenazador de la contaminación mundial del aire es la alteración del clima de la Tierra. Las sociedades humanas modernas han experimentado climas moderados y estables. Sin embargo, la actividad humana está alterando de tal manera la composición de la atmósfera que podría causar cambios rápidos en el clima. (Recursos Mundiales, 1993).

Las áreas urbanas han constituido desde hace mucho tiempo un sitio propicio de contaminación grave del aire, debido a la densidad de las fuentes contaminantes (industrias, viviendas y vehículos). A partir de la década de 1970, las políticas nacionales en materia de contaminación atmosférica han tendido a centrarse en el control de seis de los más importantes contaminantes urbanos. Partículas (humo y hollín), bióxido de azufre (SO_2), óxidos de nitrógeno, (NO_x), ozono (smog fotoquímico); monóxido de carbono (CO) y plomo. En virtud de que se sabe que estas sustancias ejercen efectos perjudiciales en la salud y en el ambiente, la mayor parte de las naciones industrializadas -y muchos países en vías de desarrollo- han establecido estándares legales de calidad de aire para todas o algunas de tales sustancias.

Cuatro diferentes gases activos tienen efectos diferentes sobre el cambio de clima y son considerados responsables de un mayor peligro global: bióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), clorofluorocarbonos (CFCs) y óxido de nitrógeno (N_2O). Los CFCs son generalmente emitidos por las actividades humanas, mientras que (CO_2), (CH_4) y (N_2O) son emitidos tanto de fuentes naturales como antropogénicas. Las principales fuentes antropogénicas para el (CO_2) son, la combustión de fuentes fósiles y procesos de biomasa e industriales, tales como: la producción de cemento; para (CH_4), el uso de gas natural, la ganadería y la agricultura en arroz mojado (respiración anaeróbica en la tierra vegetal); y para (N_2O), la combustión de combustibles fósiles y biomasa, el uso de nitrógeno en fertilizantes y en tratamientos de agua (descomposición aeróbica de materia orgánica). Por lo que concierne al CO_2 se incluye a los que provienen del uso de energía y de procesos industriales.

Las emisiones de compuestos de nitrógeno junto con los componentes de sulfuros son las causantes de una acidificación. Los óxidos de azufre producidos por el hombre, emitidos por plantas productoras de energía siguen una combustión industrial y

posteriormente un proceso industrial. las emisiones de SO_x contribuyen tanto a una contaminación local como a una contaminación en distancias largas transportadas en la atmósfera.

La contaminación emitida a la atmósfera por las diferentes fuentes fijas (chimeneas) y móviles (automóviles), es dispersada por los agentes climatológicos (aire, lluvia y temperatura); de aquí la importancia de seguir el comportamiento de los parámetros meteorológicos.

- Dirección del viento
- velocidad del viento
- temperatura ambiental
- radiación solar
- presión atmosférica
- precipitación pluvial

La interpretación de la contaminación atmosférica en la ciudad de México se da a través del índice Metropolitano de Calidad del Aire (IMECA). El IMECA es un índice relativo de la calidad del aire, ya que únicamente da información sobre el contaminante de mayor presencia en el momento que se efectúa el muestreo. Por ejemplo en la Ciudad de México el índice IMECA normalmente está regulado por la presencia de ozono, dado el fuerte problema de smog fotoquímico, ideal para la formación de dicho gas oxidante. Éste no es el caso para las otras ciudades de México.

I_{CAR} = Indicador de Calidad de aire	
VARIABLE	FÓRMULA PARA EVULUAR
<p>CAR = Calidad del aire en IMECAS</p> <p>CAR_{max} = Calidad del aire en IMECAS máxima</p> <p>CAR_{norma} = Calidad del aire en IMECAS establecida por la norma oficial mexicana</p>	$I_{CAR} = \begin{cases} 0, & \text{si: } CAR \geq CAR_{max} \\ \frac{CAR - CAR_{norma}}{CAR_{max} - CAR_{norma}}, & \text{si: } CAR_{norma} < CAR < CAR_{max} \\ 1, & \text{si: } CAR \leq CAR_{norma} \end{cases}$

Según la norma mexicana, el nivel máximo de contaminación para que los ciudadanos se puedan desenvolver sin que su salud se vea afectada es de 100 IMECAS. A continuación se muestran los límites establecidos por la norma oficial mexicana, es decir, que cumplen con el tope de 100 IMECAS para los principales contaminantes atmosféricos, en unidades científicas.

CONTAMINANTE	LÍMITE
PST (partículas suspendidas totales)	275 ug/ m ³ microgramo por metro cúbico
SO ₂ (bióxido de azufre)	0.13 ppm (partes por millón)
CO (monóxido de carbono)	13 ppm
NO ₂ (bióxido de nitrógeno)	0.21 ppm
O ₃ (ozono)	0.11 ppm

Límites establecidos para los principales contaminantes atmosféricos en México.

3.E Especies amenazadas de animales y plantas.

El uso de recursos biológicos sin reducir la biodiversidad e impedir la degradación de hábitat naturales claves para preservar la salud en los ecosistemas, son parte también del desarrollo sustentable. La atención debe enfocarse en hallar un equilibrio entre las necesidades de la gente y las de la naturaleza en todas las actividades humanas. Para la conservación de la biodiversidad se requiere un crecimiento demográfico controlado que disminuya los patrones de consumo, estímulo financiero para el conocimiento sobre las formas de vida existentes en la Tierra y que los mercados otorguen el valor que merecen los recursos biológicos.

Uno de los indicadores que informa el estado en el que se encuentra la biodiversidad es por medio del número de especies amenazadas o en peligro de extinción con respecto al número de especies conocidas. "Amenazada" se refiere al número de especies en riesgo o peligro y de categorías vulnerables. Por ejemplo, especies en peligro de extinción y especies que probablemente desaparezcan en un futuro cercano.

I_{EAA} = Indicador de Especies Amenazadas de Animales I_{EAP} = Indicador de Especies Amenazadas de Plantas	
VARIABLES	FÓRMULA PARA EVALUAR
ECA = Especies conocidas de animales en la región EAA_i = Especies amenazadas de animales en la región	$I_{EAA} = 1 - \frac{EAA_i}{ECA}$
ECP = Especies conocidas de plantas en la región. EAP_i = Especies amenazadas de plantas en la región	$I_{EAP} = 1 - \frac{EAP_i}{ECP}$

3.F Uso de suelo

La reestructuración del medio ambiente a través del cambio en el uso de suelo ya sea por prácticas de agricultura o deforestación ha tenido mayores consecuencias sobre todo en paisajes, diversidad de tierras vírgenes que existen en el planeta y en la calidad del aire y del agua. Un uso insustentable significa el no darle la utilización apropiada de acuerdo con sus características para un determinado tipo de suelo. El uso no adecuado de suelo se da en las prácticas agrícolas y en las actividades humanas, que son los principales factores de erosión y desertificación y posiblemente son una amenaza a los ecosistemas con la consecuente pérdida de hábitat y cambios en el paisaje. Una de las tareas que tiene el Ordenamiento Ecológico es precisamente orientar hacia una administración sustentable en el uso de suelo.

I_{US} = Indicador de Uso de Suelo	
VARIABLE	FÓRMULA PARA EVALUAR
$AZUNA$ = Area de zonas de uso no adecuado. AT = Area total.	$I_{US} = 1 - \frac{AZUNA}{AT}$

Los indicadores presentados relatan los cambios que se han dado en el uso de suelo. Desde luego el análisis de esta información se complementa cuando se especifican las consecuencias de los cambios en uso de suelo así como erosión, desertificación y pérdida de hábitat.

3.G Erosión

La manera sustentable de usar el suelo es que cese el abuso en su empleo y se reemplace con su protección y rehabilitación, de tal suerte que estos recursos vitales, de lenta renovación, se mantengan con cubierta vegetal adecuada para disminuir la erosión.

La erosión del suelo es el movimiento de sus componentes, en especial del suelo superficial, de un lugar a otro. Las dos causas principales de la erosión del suelo son el flujo de agua y el viento. Siempre tiene lugar cierta erosión edáfica⁶ debido al flujo natural del agua y de los vientos; pero las raíces de las plantas protegen al suelo contra la erosión excesiva. La agricultura, la tala forestal, la construcción, los vehículos para campo y otras actividades humanas que eliminan la cobertura vegetal incrementan la tasa de erosión del suelo.

En la actualidad, el suelo superficial se está erosionando con mayor rapidez de la que se forma, en cerca de la tercera parte de las tierras cultivadas en el mundo. En algunos países más de la mitad de la tierra se encuentra afectada por la erosión del suelo.

I_E = Indicador de Erosión	
VARIABLES	FÓRMULA PARA EVALUAR
<p>E_i = Superficie de subregión i</p> <p>Ge_i = Grado de erosión de la subregión i</p> $E = \frac{\sum_{i=1}^n E_i (G E_i)}{\sum_{i=1}^n E_i}$	$I_E = \begin{cases} 0, & \text{si: } E \geq E_{\max} \\ \frac{E_{\max} - E}{E_{\max} - E_{\min}}, & \text{si: } E_{\min} \leq E \leq E_{\max} \\ 1, & \text{si: } E \leq E_{\min} \end{cases}$

⁶ Edáfica: Dícese de los factores relativos al suelo que influyen en la distribución de los seres vivos.

Desde el comienzo de la agricultura, la gente que habita en bosques tropicales ha utilizado con éxito la práctica de roza y quema desplazando los cultivos de un sitio a otro a fin de obtener alimento para poblaciones relativamente pequeñas. En décadas recientes, sin embargo, el crecimiento de la población y la pobreza han hecho que los agricultores en muchas áreas de bosque tropical reduzcan el período de barbecheado de sus campos a sólo dos años, en vez de los diez o treinta años que se necesitan para permitir que el suelo recupere su fertilidad. El resultado ha sido un marcado incremento en la tasa de erosión del suelo superficial y la disminución de nutrientes (Recursos Mundiales 1993.).

3.H Tratamiento de basura

Los desechos son generados en varias etapas de la actividad humana y su composición y cantidades dependen, en la mayoría de los casos, de los patrones de consumo y de las estructuras económicas e industriales. Es indispensable adoptar las tres "erres" para ayudar a sustentar y conservar la Tierra: Reducir, Reusar y Reciclar. La aplicación de una política con marco de referencia en el desarrollo sustentable, significa que todo está interrelacionado y que no hay lejanía si se trata de los desperdicios producidos y la dilución no extingue problemas de contaminación en la mayoría de los casos. Los desechos se deben manejar mediante sistemas de reciclado, (vidrio, metales) triturado (neumáticos) o incinerado en papel, plásticos y desechos de jardín para generar electricidad.

Muchos de los esfuerzos en gestiones ambientales han sido dirigidos a la parte municipal, industrial y de residuos nucleares, a causa de el potencial de impacto que ha tenido en la salud humana y en el ambiente, por ejemplo tierras cultivables, agua, aire y paisaje. El impacto real dependerá principalmente de dos cuestiones. La primera, es la disposición de gasto para prácticas de manejo de desechos y la segunda, la influencia que tiene de acuerdo con la composición y origen de los mismos. Este último punto está relacionado con los hábitos de consumo.

I_{MB} = Indicador de Basura Tratada	
VARIABLES	FÓRMULA PARA EVALUAR
MB= Cantidad de basura tratada anual TB= Total de Basura generada anual	$I_{MB} = \frac{MB}{TB}$

Los indicadores que se presentan relacionan la cantidad de desecho por habitante. Sin embargo, debe tenerse en consideración que ésta es de una de las diferentes presiones a las que se encuentra sometido el ambiente.

3.1 Deforestación

Actualmente la deforestación tropical es un importante problema ambiental y de desarrollo. La pérdida del bosque tropical reduce la biodiversidad; contribuye al cambio climático y frecuentemente resulta en grave degradación del suelo; algunas veces ocasiona que la tierra no sea apta para cultivo en el futuro. Sin embargo, la pobreza en los medios rurales no tiene otra alternativa que talar el bosque para cubrir sus necesidades de alimentación y ocupar esas áreas para sembrar cultivos. En este trabajo el término deforestación se refiere al cambio total del uso de la tierra de bosque a agricultura, incluyendo el cultivo itinerante y la pastura, o a uso urbano. No abarca los bosques que se han talado y abandonado para que vuelvan a crecer, aún en el caso de que se hayan derribado todos los árboles. La explotación forestal es frecuentemente precursora de la deforestación debido a que abre zonas boscosas al establecimiento de asentamientos. Los bosques tropicales fragmentados por áreas agrícolas o de pastura muestran una biodiversidad sustancial reducida y a menudo están degradados. En una dimensión de desarrollo sustentable la biodiversidad es un bien nacional con valor económico, ecológico y cultural. Por lo que la tala debe ser supervisada y selectiva. Esta situación, desde luego, significa altos costos y consumo de tiempo. Sin embargo, con estas acciones la Tierra deja de ser una mercancía, y se actúa de acuerdo con su capacidad de carga.

En ninguna parte del mundo el uso de recursos naturales, en este caso de árboles, se está dando conforme a los ritmos naturales, pues excede la capacidad de carga que brinda la naturaleza. Los datos reflejarían comportamientos sustentables si hubiera una tasa de cambio de cero o positiva.

3.1.1 Continuidad de la vegetación

El área con cubierta forestal se ha visto afectada por pastoreo excesivo, actividades agrícolas, explotación excesiva, deforestación e industrialización. Por lo anterior, una medida que indica en qué proporción se ha conservado o regenerado esa parte alterada del ecosistema, es el indicador de continuidad de la vegetación. Este indicador corresponde a los indicadores tipo respuesta que se refieren a la continuidad que presenta la vegetación propia de la zona en estudio, excluyendo a los pastizales. De manera que una cobertura mayor del 80% del área significa una ayuda para combatir la erosión del suelo y preservar en forma somera el hábitat, ya que el reestablecimiento, por ejemplo de una selva tropical necesita por lo menos de 40 a 50 años, con una mínima perturbación humana.

I_{CV} = Indicador de Continuidad Vegetal	
VARIABLES	FÓRMULA PARA EVALUAR
A_{DF} = Área deforestada de 1979, 1990, 1996. AT = Área total	$I_{DF} = 1 - \frac{A_{DF}}{AT}$
I_{CV} = Indicador de Continuidad Vegetal $I_{CV_{min}}$ = Indicador de Continuidad Vegetal mínimo a nivel mundial $I_{CV_{max}}$ = Indicador de Continuidad Vegetal máximo a nivel mundial	$I_{CV} = \begin{cases} 0, & \text{si: } I_{CV} < 30\% \\ \frac{I_{CV_{max}} - I_{CV}}{I_{CV_{max}} - I_{CV_{min}}}, & \text{si: } 30\% \leq I_{CV} \leq 80\% \\ 1, & \text{si: } I_{CV} > 80\% \end{cases}$

3.J Zonas Naturales Protegidas

Una de las medidas más importantes para medir la conservación de la biodiversidad y del paisaje es a través de la creación de áreas protegidas. Este indicador es un tipo de respuesta, por lo que el incremento en protección de áreas inmediatamente tendrá el efecto de disminuir sensibilidades y vulnerabilidades dentro de los ecosistemas y por consiguiente un reestablecimiento del hábitat.

La protección de la biodiversidad y del paisaje está clasificada en diferentes niveles de protección de acuerdo con el tipo de tierra y ecosistemas. La gestión en cuanto a categorías es de la I a la V, según "The International Union for the Conservation of Nature" (IUCN). Esta clasificación especifica diferentes niveles de restricción en actividades humanas :

CATEGORIAS DE PROTECCIÓN

- I.- Reservas científicas
- II.- Parques Nacionales
- III.- Monumentos Naturales
- IV.- Reservas Naturales
- V.- Paisajes

Las reservas científicas y los parques nacionales reflejan el más alto nivel en protección ambiental. Las áreas protegidas cambian a través del tiempo; de manera que, se han creado nuevas áreas en sitios que fueron destruidos por: desarrollo industrial, agricultura o desastres naturales. Los niveles de la protección real en las zonas son difíciles de evaluar, pues no solamente son asunto de un área y de un número categórico sino que también es una cuestión de efectividad de gestión y de actividades de protección programadas de acuerdo con los objetivos. (OCDE, 1994)

I_{ANP} = Indicador del Área Natural Protegida	
VARIABLES	FÓRMULA PARA EVALUAR
<p>ANP = Áreas naturales protegidas</p> <p>ANP_{op} = Áreas naturales protegidas óptimas</p>	$I_{ANP} = \begin{cases} \frac{1}{ANP_{op}} (ANP), & \text{si: } ANP \leq ANP_{op} \\ 1, & \text{si: } ANP > ANP_{op} \end{cases}$

ANEXO C

METODOLOGÍA PARA ELABORAR UN PROYECTO DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO DEL TERRITORIO (POET)

Con base en los antecedentes prácticos y documentales, se diseñó una metodología de trabajo para aprovechar al máximo los recursos y no duplicar esfuerzos en materia de planificación física, sino que aportara una nueva perspectiva de manejo de recursos y uso del territorio, la cual contribuya a lograr un desarrollo equilibrado y armónico con la naturaleza.

La Metodología está dividida en seis fases :

- Fase de Organización
- Fase Descriptiva
- Fase de Diagnóstico
- Fase de Pronóstico
- Fase Propositiva
- Fase de Ejecución

➤ Fase de Organización

Como primera actividad, se definen los alcances del POET para con ello establecer un equipo de trabajo, calendario de realización y presupuesto.

➤ Fase Descriptiva

En esta fase se delimitan y describen los aspectos físicos, bióticos, socioeconómicos y problemática ambiental del Área Sujeta a Ordenamiento Ecológico (AOE).

➤ Fase de Diagnóstico

Con la información de la fase anterior, se evalúan los fenómenos y procesos de deterioro y transformación de las Unidades Ambientales del AOE y se detectan sus

verdaderas causas. Es decir, el diagnóstico debe dirigirse a reconocer y cuantificar los daños causados por las actividades humanas en el Medio Ambiente del AOE, así como proporcionar suficiente información acerca de las formas con que son manejados y aprovechados los recursos naturales, con el fin de identificar aquellas prácticas que impliquen un uso inadecuado de los mismos.

Se deben escribir postulados o hipótesis acerca de cada uno de los procesos de deterioro o transformación ambiental identificados y documentados en la Fase Descriptiva y para cada una o varias de las Unidades Ambientales que componen el AOE.

Los postulados deben de cumplir con los siguientes aspectos:

- Suponer el origen o los orígenes de los procesos de deterioro ambiental, haciendo un análisis del desarrollo urbano y de cada una de las actividades productivas que se lleven a cabo en el AOE.
- Suponer los efectos causados a la Salud Pública, el desarrollo económico, los recursos naturales y el equilibrio ecológico del AOE.
- Suponer las posibles soluciones que controlen, prevengan o eliminen los procesos de deterioro de los ecosistemas del AOE.

Los postulados escritos deberán ser evaluados y comprobados a través del uso de *Índices y de Indicadores*⁷.

Las áreas que se toman en cuenta para el Ordenamiento Ecológico así como sus aspectos primordiales son:

1.- Aspecto Natural

- a) Agua
- b) Suelo
- c) Aire
- d) Vegetación
- e) Flora y Fauna relevante

2.- Aspecto Económico-Productivo

- a) Volúmenes de producción
- b) Evaluación de la problemática por generación de contaminantes (emisiones, residuos y descargas) y agotamiento de recursos por cada sistema productivo
- c) Evaluación de los impactos acumulativos en la región por las diferentes actividades productivas

3.- Aspecto Social

- a) Análisis derivado por el derecho de propiedad
- b) Tendencia de crecimiento

⁷ Los índices son valores subjetivos de comparación y se calculan con expresiones matemáticas que combinan dos o más indicadores. Los indicadores pueden ser parámetros de calidad o medidas directas sobre un factor ambiental.

- c) Análisis de la estructura y conflicto de las organizaciones sociales
- d) Calidad de vida

Es recomendable diseñar índices o indicadores que permitan cuantificar, aunque sea de manera parcial, fenómenos específicos del AOE. Estos pudieran ser porcentajes, promedios o combinaciones matemáticas.

➤ Fase de Pronóstico

El propósito de esta fase es el de estimar tendencias de comportamiento de los procesos de deterioro del AOE y las modificaciones ambientales que ésta pudiera sufrir por el crecimiento poblacional y el incremento o intensificación de las actividades productivas.

La estimación de tendencias debe ser selectiva. A partir del *diagnóstico* del AOE se especifican cuáles son los fenómenos de transformación o deterioro que se consideran críticos por presentar algunas de las siguientes características :

- Son procesos acelerados de deterioro de los ecosistemas, de pérdida de recursos naturales o de afectación a la salud.
- Son procesos de deterioro que implican transferencia fronteriza de contaminantes.
- Son procesos de transformación de ecosistemas en los que se pierde el patrimonio cultural y natural del AOE.
- Son procesos de deterioro ambiental que afectan la calidad de vida de la población del AOE y motivan su movilización por la demanda de una solución.

Las estimaciones deben de ser numéricas, por lo tanto se debe de realizar el esfuerzo de calcular cuál será el comportamiento de los *Índices e Indicadores* documentados en la Fase Diagnóstica y considerados como relevantes.

➤ Fase Propositiva

En esta fase se realiza un nuevo esquema de uso y manejo de los recursos naturales en el AOE, orientado a mejorar la Calidad de Vida de la población y a la protección del Medio Ambiente, sin disminuir las actividades productivas.

Un POET debe de contribuir en el logro del aprovechamiento racional y sostenido de los recursos naturales, por lo que sus propuestas deben considerar no solo criterios *ecológicos*, sino también *sociales, económicos y políticos*.

En base en las tendencias descritas en la Fase de Pronósticos, se establecen diversos *Escenarios Probables (alternos)*, dentro del AOE. En su formulación no existe la

dimensión temporal y la espacial queda reducida al nivel de concepto. Estos escenarios se deben obtener de un ejercicio sucesivo de análisis de pronósticos.

➤ Fase de Ejecución

Finalmente se establecen los instrumentos legales, administrativos y financieros aplicables al POET, y se define la forma en que éste se gestionará ante autoridades y población en general.

BIBLIOGRAFIA

1. BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO, Recursos Mundiales (1992-1993).
2. CARABIAS, Julia. ARIZPE, Lourdes, "El Deterioro Ambiental: Cambios nacionales, cambios globales". Desarrollo Sustentable. Hacia una política Ambiental. México, UNAM, 1994.
3. CARABIAS, Julia. PROVENCIO, Enrique, "La Política Ambiental Mexicana, antes y después de Río". La Diplomacia Ambiental. México, FCE/SER, 1994.
4. CORREA, Adriana. Proyecto de Ordenamiento Ecológico del Territorio para la Cuenca Baja del Río Coatzacoalcos: Fase de Diagnóstico. México, IMP, 1997.
5. DAGUM, Camilo. Introducción a la Econometría México, Ed. Siglo XXI, 1976.
6. DAMODAR, N Gujarati. Econometría México, Ed. McGraw-Hill, Segunda edición, 1995.
7. GONZÁLEZ, Casanova Pablo. Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Humanidades, UNAM, México, Volumen I, 1990.
8. HILLIER & Lieberman. Introducción a la Investigación de Operaciones. Cuarta Edición, México, Ed. MacGraw – Hill, 1989.
9. INEGI, Anuarios Estadísticos del Estado de Veracruz Edición 1970, 1990, 1992, 1993, 1994 1995, 1996.
10. INEGI, Niveles de Bienestar en México. México, 1997.

11. INEGI, Sistema de Cuentas Económicas y Ecológicas de México 1985-1992. México, 1996.
12. INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA, Manual de Ordenamiento Ecológico del Territorio. México, 1996.
13. INE, SEMARNAP, PROFEPA. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. México, 1997
14. INTRILIGATOR, Michael D. Modelos Econométricos : Técnicas y Aplicaciones. N.J, Ed. Fondo de Cultura Económica, 1978.
15. LEFF, Enrique. "La información ambiental en la perspectiva de la Cumbre de la Tierra y de la Agenda 21". Universidad y Medio Ambiente. Memoria del Congreso Iberoamericano de Educación Ambiental. México, Universidad de Guadalajara, 1993.
16. MADDALA, G.S. Introduction to Econometrics. Segunda Edición, New York, Ed. MacMillan, 1992.
17. MARTINE, George. "Población, Crecimiento y Modelo de Civilización: dilemas ambientales del desarrollo". Población y medio ambiente ¿Nuevas interrogantes a viejos problemas?. Soc. Mexicana de Demografía, El.Colegio de México, 1993.
18. MONTGOMERY, Douglas C. Introduction to Linear Regression Analysis Segunda Edición, New York, Ed. John Wiley & Sons, Inc., 1995.
19. NACIONES UNIDAS. COMISION ECONOMICA PARA AMERICA LATINA Y EL CARIBE. El Desarrollo Sustentable: Transformación productiva, equidad y medio ambiente. Santiago de Chile, 1991.
20. NEGRETE, María E., et.al. Población, Espacio y Medio Ambiente en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. México, Ed. Colegio de México, 1995.
21. OCDE. Desarrollo Sustentable: Estrategias de la OCDE para el siglo XXI. Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos, París, 1996.
22. ORGANITATION FOR ECONOMIC COPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). Enviromental Indicator. París, 1994.

23. PADILLA, José Felipe. Estadística Inferencial y Econometría. México, Ed. Instituto Politécnico Nacional, 1991.
24. PINDYCK, Robert S. RUBINFELD, Daniel L. Modelos Econométricos. Barcelona, Ed. Labor Universitaria, 1980.
25. PNUD, Informe sobre Desarrollo Humano 1996. España, Ed. Mundiprensa, 1996.
26. PROVENCIO, Enrique. Desarrollo Sustentable e instituciones publicas. Gaceta Ecológica no. 37. México, Instituto Nacional de Ecología, 1995.
27. PROVENCIO, Enrique. "Desarrollo Sustentable en las Ciudades". En Rev. Ciudades 34, México, RNUJ, 1997
28. PROVENCIO, Enrique. CARABIAS, Julia. "El Enfoque del Desarrollo Sustentable". Desarrollo Sustentable. Hacia una Política Ambiental. México, UNAM, 1996.
29. QUADRI DE LA TORRE, Gabriel. "La Política Ambiental en México. Necesidades y Prioridades". La Diplomacia Ambiental. México, FCE/SER, 1994.
30. RESTREPO, Iván. Desarrollo Sustentable en el Golfo y Caribe de México. México, Centro de Ecología y Desarrollo, 1995.
31. SALAS, Javier. Econometría Aplicada a los Países en Desarrollo. EL caso mexicano. México, Ed. Fondo de Cultura Económica, 1990
32. SALDIVAR V., Américo, et. al. XII Conferencia: "Perspectiva para el Desarrollo Económico en América Latina", Desarrollo Sustentable. Asociación de Facultades, Escuelas e Institutos de Economía en América Latina. 14,15,16 Octubre 1996, México D.F.
33. SAUTTER, Hassen. Introducción a la Teoría del Desarrollo. Buenos Aires, Ed. Macchi, 1977.
34. SELDON, Arthur. Pennance, F. G. Diccionario de Economía. Barcelona, Ed. Hyspamérica, 1983.
35. SEMARNAP. "El modelo de desarrollo". El Desarrollo Sustentable. Una alternativa de Política Institucional. México, Cuadernos/SEMARNAP, 1996.

36. SEMARNAP, "Prever el futuro: el Desarrollo Sustentable". El Desarrollo Sustentable. Una alternativa de Política Institucional. México, Cuadernos/SEMARNAP, 1996.
37. Tratado de Educación Ambiental para Sociedades Sustentables y Responsabilidad Global. Foro Global. Río de Janeiro 1992.
38. WORLD RESOURCE INSTITUTE. Recursos Mundiales. New York, Ed. Instituto Panamericano de Geografía e Historia, 1992.
39. WYNN, R.F. & HOLDEN, K. Introducción al Análisis Económico Aplicado. Barcelona, Ed. Ariel, 1978.

GLOSARIO

ANÁLISIS DE REGRESIÓN: Es un conjunto de técnicas, gráficas o analíticas, para tratar de encontrar la relación entre una variable dependiente Y , y una serie de variables independientes X_1, X_2, \dots, X_n .

ESCENARIO: Conjunto de circunstancias en torno a un suceso.

ESCENARIO ALTERNO: Modifican las estructuras y procesos en la dinámica del área de estudio.

ESCENARIO OPTIMO: Se obtienen de una selección de los escenarios alternativos y representa la Imagen Objetivo a lograr en el AOE considerando un estado Ideal de desarrollo sin destrucción del ambiente, ponderado con las condiciones políticas y socioeconómicas imperantes.

ESCENARIO TENDENCIAL: Analiza la continuidad del modelo de desarrollo actual a lo largo del tiempo.

ESTIMACIÓN: Valor numérico obtenido de una operación.

ESTIMADOR: Procedimiento expresado a manera de regla o de fórmula por medio del cual se obtiene un valor numérico.

MODELO: Es una representación simplificada de un proceso del mundo real

MODELO ECONOMÉTRICO: Es una relación que permite explicar, describir o pronosticar el comportamiento de un sector y el comportamiento de los agentes participantes de la actividad en un sistema o sector; basándose en la ayuda de herramientas matemáticas y estadísticas.

MODELO MATEMÁTICO: Es la representación de un proceso del mundo real, expresado en términos matemáticos a través de funciones o relaciones funcionales entre variables determinísticas.

MUESTRA: Parte representativa de una población.

ORDENAMIENTO ECOLÓGICO: Es el instrumento de Política Ambiental cuyo objetivo es regular o inducir el uso del suelo y las actividades productivas, con el fin de lograr la protección del medio ambiente y la preservación y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, a partir del análisis de las tendencias de deterioro y las potencialidades de aprovechamiento de los mismos.

POBLACIÓN: Conjunto de valores de alguna variable aleatoria relacionada con un conjunto de entidades.

REGIÓN: Es el espacio geográfico compuesto por estructuras y procesos que determinan las interacciones de los sistemas naturales, sociales y económico-productivo.

VARIABLE: Es el conjunto de características de las entidades que interesan en una investigación científica.

VARIABLE ALEATORIA: Valores numéricos provenientes de factores fortuitos y sin un determinado valor y no se puede predecir exactamente con anticipación.